

УДК 581.1: 581.5

БИОАККУМУЛЯЦИЯ АЗОТА И ФОСФОРА ГАЗОННЫМИ РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

М.Г. Половникова¹, О.Л. Воскресенская², Е.А. Алябышева²

¹Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Краснодар

²Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В условиях городской среды в биомассе онтогенетических групп газонных растений (ежа сборная, мятлик луговой) определяли содержание азота и фосфора, а также биоаккумулятивную способность ценопопуляций видов. В работе использовались растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g2) и субсенильные (ss). По мере усиления загрязнения среды и в ходе онтогенеза уменьшалось содержание общего азота и общего фосфора в биомассе газонных растений. При оценке биоаккумулятивной способности ценопопуляций изученных видов установлено, что ценопопуляции ежи сборной накапливали большее количество общего азота и общего фосфора во всех местообитаниях.

Ключевые слова: ежа сборная, мятлик луговой, онтогенез, урбанизированная среда, загрязнение, биоаккумуляция.

DOI: 10.26456/vtbio162

Введение. Как утверждал В.И. Вернадский (1977), между косными природными телами биосферы и живыми существами, ее населяющими, идет непрерывный материальный и энергетический обмен. Этот обмен в ходе времени пронизывает всю биосферу. Геологические процессы и совместная деятельность живых организмов в экосистемах обеспечивают биогенные круговороты, благодаря которым в состав живых клеток включаются минеральные элементы и химические соединения, происходят процессы метаболизма и выводятся в окружающую среду органические вещества. В дальнейшем в результате деструкции минеральные элементы высвобождаются и вновь включаются в биогеохимические циклы. «Биоценозам принадлежит ведущая роль в протекании биохимических круговоротов в любом участке биосферы, так как они являются мощными биохимическими фильтрами... и при этом частные круговороты отдельных элементов обусловлены видовыми популяциями» (Тимофеев-Ресовский и др., 1959).

Размеры аккумуляции элементов в растительных тканях и освобождение их из живой и разлагающейся фитомассы характеризует

динамику биогенных циклов и подвижность отдельных элементов в биотопах (Carpenter, Adams, 1977; Дикиева, Петрова, 1983).

Биогеохимический круговорот азота сложен и охватывает все области биосферы. Растения и животные после своей гибели возвращают азот в почву, откуда он поступает в состав новых поколений растений и животных. Круговорот фосфора – типичный осадочный биогеохимический цикл, легко нарушающийся при различного рода воздействиях. Фосфор в отличие от других биогенных элементов в процессе миграции не образует газовой фазы. После неоднократного потребления фосфора организмами на суше и в водной среде он, в конечном счете, выводится в донные осадки.

Для оценки роли ценопопуляций растений в биогенных круговоротах необходимо рассчитать их продуктивность. В качестве основного показателя продуктивности растительного покрова используется величина фитомассы, характеризующая общее количество органического вещества в пределах сообщества, накопленное растительными организмами на единицу площади к единице времени. Также используется и другой показатель – продукция, определяемая как ежегодно создаваемое растительное органическое вещество на единицу площади в пределах одной ценопопуляции. С учетом онтогенетической структуры популяций вида можно рассчитать динамику содержания химических элементов в биомассе каждой онтогенетической группы (Воскресенская и др., 2006).

Методика. В ходе работы исследования физиолого-адаптационного процесса у растений в онтогенезе, экологическая толерантность по отношению к экологическим и антропогенным факторам базировались на концепции дискретного описания онтогенеза (Жукова, 1995).

Объектами изучения являлись газонные растения: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – рыхлодерновинное многолетнее травянистое растение, мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – плотнодерновинно-длиннокорневищное многолетнее травянистое растение, представители семейства Poaceae.

В онтогенезе данных растений выделяют четыре периода с десятью возрастными состояниями: латентный (семена), прегенеративный (проростки, ювенильные, имматурные, виргинильные растения), генеративный (молодые, средневозрастные, старые генеративные растения) и постгенеративный (субсенильные, сенильные растения). В нашей работе использовались растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g₂) и субсенильные (ss). Определение онтогенетических состояний проводили на основе признаков-маркеров онтогенетических

состояний: форма и размер листовой пластинки, ветвление побеговой и корневой систем (Жукова, 1995).

Район исследования. Исследования проводились на территории города Йошкар-Олы Республики Марий Эл. Для анализа были взяты пробы в условно чистой (ООПТ «Сосновая роща»), среднезагрязненной (парк им. XXX-летия ВЛКСМ) и загрязненной (АО «Завод Искож») зонах. Выбор районов исследования основывался на данных химического анализа атмосферного воздуха и почвы, которые были проведены нами на базе филиала Центра лабораторного анализа и технических измерений по Республике Марий Эл и на данных Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл.

Метод отбора проб. В каждом местообитании закладывалось десять площадок размером 1×1 м. На этих площадках отбиралось по 5-10 растений каждого онтогенетического состояния, которые в дальнейшем использовались в физиолого-биохимических исследованиях.

Метод сухого озоления. Перед озолением навеску растительного образца измельчали и взвешивали в тиглях на аналитических весах (навеска 0,2 г). Тигли помещали в муфельную печь при температуре 60-80 °С на 1-1,5 часа. Далее для полного озоления тигли выдерживали при температуре 400-450 °С в течение 4-5 ч. Полученную золу растворяли в 2 мл концентрированной соляной кислотой и данную вытяжку использовали для определения макроэлементов (Большой практикум..., 2006).

Методы определения общего азота и фосфора. Содержание общего азота определяли фотоколориметрическим методом с помощью реактива Несслера, общего фосфора – фотоколориметрическим методом по «синему» фосфорномолибденовому комплексу. Содержание общего азота и общего фосфора в растительном материале вычисляли в мг на г сухого вещества по соответствующим формулам (Большой практикум..., 2006).

Определение биомассы надземных и подземных органов газонных растений. Биомассу надземных и подземных органов, общую биомассу растений определяли методом учетных площадок (Гришина, Самойлова, 1971).

Определение биоаккумулятивной способности ценопопуляции вида. С учетом онтогенетической структуры популяций видов определялась динамика содержания химических элементов в биомассе каждой онтогенетической группы (с) по формуле (Алябышева, 1998):

$$B_i = m_i \cdot n_i \cdot x_i,$$

где m_i – среднее значение содержания элемента в одном растении одного онтогенетического состояния (мг/г); n_i – биомасса онтогенетической группы (г); x_i – количество особей онтогенетической группы.

Оценив демографические показатели (биомасса, плотность) онтогенетических групп особей определялась биоаккумулятивная способность ценопопуляции вида в целом (B , кг/га) по формуле (Большой практикум..., 2006):

$$B = \sum B_i.$$

В таблице представлены средние арифметические из 3 независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 3-кратной биологической повторности, и их стандартные отклонения. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

Результаты и обсуждение. С учетом онтогенетической структуры ценопопуляций видов определялась динамика содержания химических элементов (общего азота, общего фосфора) в биомассе каждой онтогенетической группы, произрастающих в различных условиях местообитания. Оценив демографические показатели (биомасса, плотность) онтогенетических групп особей определялись биоаккумулятивные способности ценопопуляций вида в целом.

При оценке накопления азота в биомассе различных онтогенетических групп изученных растений было установлено (табл. 1), что данный элемент минерального питания у исследуемых видов в максимальном количестве накапливался у особей средневозрастного генеративного состояния в условно чистом местообитании. При этом содержание азота в биомассе особей ежи сборной генеративного периода было в 1,6 раза больше, чем у особей мятлика лугового. Постгенеративные растения изученных видов по сравнению с генеративными содержали в 1,5 раза меньше азота, тогда как у прегенеративных особей эта разница была существенной – в 3,8-5,9 раза.

Та же самая тенденция с максимумом изучаемого параметра сохранилась и в остальных исследуемых районах (табл. 1). Более выраженное превосходство было характерно для мятлика лугового. В городском парке существенное различие в показателе выявлено для виргинильных особей по сравнению с g_2 -растениями, разница составила 11,3 кг, а для ss -особей – 5 кг.

Таблица 1

Содержание азота в биомассе онтогенетических групп газонных растений в условиях городской среды (V_i , кг)

Вид	Условно чистый район			Среднезагрязненный район			Загрязненный район		
	v	g_2	ss	v	g_2	ss	v	g_2	ss
Ежа сборная	10,8± 0,54	40,5± 0,72	26,8± 0,23	10,6± 0,12	12,4± 0,13	9,7± 0,09	1,5± 0,01	4,1± 0,02	3,9± 0,02
Мятлик луговой	4,2± 0,02	25,1± 0,54	17,1± 0,14	3,0± 0,01	14,3± 0,56	9,3± 0,32	1,3± 0,01	4,8± 0,02	3,5± 0,01

Минимальным было количество азота в биомассе растений промышленного района г. Йошкар-Олы (табл. 1). Наибольшие значения имели средневозрастные генеративные особи *D. glomerata* и *P. pratensis* – 4,1 и 4,8 кг соответственно. У прегенеративных растений этих видов содержание азота в биомассе было самым низким по сравнению с особями других онтогенетических состояний (1,3-1,5 кг). Количество азота в биомассе субсенильных растений было в 1,1-1,3 раза ниже содержания макроэлемента в массе генеративных особей, но в 2,6 раза выше, чем у виргинильных растений.

Изучение накопления фосфора (табл. 2) в биомассе растений различных онтогенетических состояний имело аналогичную с азотом картину. Максимальное содержание фосфора также было в группе средневозрастных генеративных растений, а минимальное – в биомассе виргинильных особей различных исследованных видов (особенно в промышленном районе города).

Таблица 2

Содержание фосфора в биомассе онтогенетических групп газонных растений в условиях городской среды (V_i , кг)

Вид	Условно чистый район			Среднезагрязненный район			Загрязненный район		
	v	g_2	ss	v	g_2	ss	v	g_2	ss
Ежа сборная	7,0± 0,04	30,1± 0,17	21,3± 0,12	13,5± 0,76	22,9± 0,14	17,5± 0,45	1,1± 0,01	3,7± 0,01	3,4± 0,01
Мятлик луговой	3,2± 0,01	24,5± 0,65	17,4± 0,63	2,7± 0,01	19,6± 0,44	11,6± 0,97	0,8± 0,02	4,4± 0,02	2,8± 0,02

При использовании трехфакторного дисперсионного анализа было установлено, что на содержание азота и фосфора в биомассе онтогенетических групп газонных растений влияют все три фактора: вид ($p < 10^{-6}$), местообитание ($p < 10^{-6}$) и онтогенетическое состояние ($p < 10^{-6}$).

Оценка биоаккумулятивной способности ценопопуляций газонных растений по отношению к азоту показала (табл. 3), что в лесопарке «Сосновая роща» эта величина у всех видов растений была самой высокой – 46,4 кг/га у мятлика лугового и 78,0 кг/га у ежи сборной (различия по сравнению с другими районами исследований статистически значимы, $p < 10^{-7}$).

Ценопопуляции *P. pratensis* и *D. glomerata* в городском паре обладали меньшей способностью накапливать азот по сравнению с контрольной зоной на 43-58% соответственно. Популяции газонных растений, изученные вблизи промышленных предприятий, отличались еще более низкой способностью к биоаккумуляции азота (9,6 кг/га). По-видимому, на накопление азота растениями данных районов исследования могло сказаться более интенсивное антропогенное воздействие, снизившее усвояемость элементов минерального питания. С другой стороны, могли повлиять неблагоприятные почвенные условия, которые, как известно, отмечаются на почвах урбанизированных территорий.

Таблица 3

Биоаккумуляция азота газонными растениями в условиях урбанизированной среды (В, кг/га)

Вид	Условно чистый район	Среднезагрязненный район	Загрязненный район
Ежа сборная	78,0±2,52	32,8±1,43	9,6±0,65
Мятлик луговой	46,4±1,32	26,7±1,15	9,6±0,65

При изучении способности ценопопуляций газонных растений к биоаккумуляции фосфора (табл. 4), была установлена аналогичная тенденция по способности накопления данного макроэлемента у изученных растений. Максимальная аккумуляция фосфора наблюдалась у особей, произраставших в условно чистом местообитании ($p < 10^{-7}$). При этом наибольшая видовая биоаккумулятивная способность была характерна для ежи сборной (58,5 кг/га). Данный параметр для мятлика лугового был ниже в 1,3 раза по сравнению с *D. glomerata*.

В среднезагрязненном районе накопительная способность по этому макроэлементу у исследованных видов существенно не отличалась от контрольной зоны, разница составила 4,6-11,2 кг/га. Тогда как в загрязненном районе эти различия были достаточно велики, значения были ниже на 82-84%.

Таблица 4

Биоаккумуляция фосфора газонными растениями в условиях урбанизированной среды (В, кг/га)

Вид	Условно чистый район	Среднезагрязненный район	Загрязненный район
Ежа сборная	58,5±1,26	53,9±1,24	8,2±0,74
Мятлик луговой	45,2±1,51	34,0±1,37	8,0±0,74

В условно чистой и среднезагрязненной зонах биоаккумуляция азота и фосфора была высокой у ежи сборной, а в промышленном районе способность накапливать данные элементы уравнилась у обоих видов.

Заключение. У всех исследованных растений содержание азота, изученное в биомассе каждой онтогенетической группы, варьировало в значительных пределах. Однако во всех районах исследования максимальное количество азота накапливалось в генеративных растениях. Аналогичная тенденция обнаружена для динамики накопления фосфора – этот элемент также в большей степени содержался в биомассе средневозрастной онтогенетической группы.

При оценке биоаккумулятивной способности ценопопуляций изученных видов установлено, что ценопопуляции ежи сборной накапливали большее количество азота и фосфора во всех местообитаниях.

Таким образом, изучение особенностей аккумуляции азота и фосфора на разных этапах онтогенеза газонных растений позволяет охарактеризовать процессы передвижения данных элементов по растению и их накопление. Можно предположить, что ценопопуляции газонных растений в естественных условиях произрастания (лесопарк «Сосновая роща») вносят более существенный вклад в биогенные круговороты экосистем, чем в антропогенно-трансформированных экосистемах городов.

Список литературы

Алябышева Е.А., Воскресенская О.Л. 1998. Эколого-физиологические особенности популяций гигрофитов // Экология и генетика популяций. С. 173-174.

Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие. 2006. / О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева, М.Г. Половникова. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. Ч.1. 107 с.

- Вернадский В.И.* 1977. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетарное явление. М.: Наук. Кн.2. 191 с.
- Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В.* 2006. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях: монография. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. 126 с.
- Дикиева Д.Н., Петрова Н.А.* 1983. Химический состав макрофагов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях // Гидробиологические процессы в водоемах. С. 107-213.
- Жукова Л.А.* 1995. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола: РИИК «Ланар». 224 с.
- Тимофеева-Ресовская Е.А.* 1959. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов: о коэффициентах накопления различных радионуклидов тремя видами водных растений // Бюл. МОИП. Т. 64. С. 117-131.
- Carpenter S.R.* 1977. The macrophyte tissue nutrient pool of a harwater eutrophic lake // *Aquqt. Bot.* V. 3. P. 239-255.

BIOACCUMULATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS BY LAWN PLANTS IN URBAN ENVIRONMENT

M.G. Polovnikova¹, O.L. Voskresenskaya², E.A. Alyabysheva²

¹Kuban State University of Physical Education, Sport and Tourism, Krasnodar

²Mari State University, Yoshkar-Ola

In the urban environment, the biomass of ontogenetic groups of lawn plants (*Dactylis glomerata* L., *Poa pratensis* L.) was determined by the content of nitrogen and phosphorus, as well as the bioaccumulative ability of species coenopopulations. We used plants of three ages: virginil (v), middle-aged generative (g₂), and subsenile (ss). As pollution increased and during ontogenesis, the nitrogen and phosphorus content in the biomass of lawn plants decreased. In assessing the bioaccumulative capacity of the coenopopulations of the studied species, it was found that the coenopopulations of *Dactylis glomerata* accumulated more nitrogen and phosphorus in all habitats.

Keywords: *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, ontogenesis, urban environment, pollution, bioaccumulation.

Об авторах:

ПОЛОВНИКОВА Марина Григорьевна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», 350015, Краснодарский край, Краснодар, ул. им. Буденного, 161, e-mail: marinapmg@rambler.ru.

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии, директор института естественных наук и фармации, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424002, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 60, e-mail: voskres2006@rambler.ru.

АЛЯБЫШЕВА Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424002, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 60, e-mail: e_alab@mail.ru.

Половникова М.Г. Биоаккумуляция азота и фосфора газонными растениями в условиях урбанизированной среды / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2020. № 3(59). С. 86-94.