

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 581.1: 581.5
DOI: 10.26456/vtbio312

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ ГАЗОННЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

М.Г. Половникова¹, О.Л. Воскресенская²

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

²Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В условиях городской среды в вегетативных органах газонных растений (клевер луговой, мятлик луговой, ежа сборная, овсяница луговая) определяли содержание кадмия. В работе использовались растения трех возрастных состояний: виргинильные (v), средневозрастные генеративные (g₂) и субсенильные (ss). Характер распределения металла по органам и тканям изменялся как в зависимости от видовой принадлежности и условий обитания, так и в течение онтогенеза. При этом проявлялся акропетальный характер распределения кадмия в вегетативных органах мятлика лугового и ежи сборной, т.е. максимальное содержание металла отмечено в корнях, а минимальное в листьях. Тогда как для особей клевера лугового и овсяницы луговой накопление кадмия осуществлялось базипетально – содержание элементов уменьшалось от листьев к корням.

Ключевые слова: клевер луговой, мятлик луговой, ежа сборная, овсяница луговая, онтогенез, городская среда, загрязнение, кадмий, тяжелые металлы.

Введение. В последнее время в окружающей среде высокими темпами идет техногенное накопление тяжелых металлов, в том числе и кадмия (Cd), который относится к группе токсичных металлов, оказывающих вредное воздействие на организм растений, животных и человека. Антропогенные источники поступления кадмия в среду можно разделить на две группы: локальные выбросы, которые связаны с промышленными комплексами, производящими или использующими кадмий, и диффузно рассеянные по Земле источники разной мощности, начиная от тепловых энергетических установок и моторов и заканчивая минеральными удобрениями и табачным дымом (Башмаков, Лукатки, 2009).

Поступивший в почву кадмий, в основном присутствует в ней в

подвижной форме, что имеет негативное экологическое значение. Подвижная форма обуславливает сравнительно высокую миграционную способность элемента в ландшафте и приводит к повышенной загрязненности потока веществ из почвы в растения. Загрязненные растения могут содержать даже до 400 мг/кг Cd и более. Подвижность кадмия будет определяться растворимостью его карбонатов и фосфатов, а также pH почвы. Кадмий наиболее подвижен в кислых почвах при pH=4,5-5,5. Он не входит в число необходимых для растений элементов, но эффективно поглощается. Кадмий в основном локализуется в корнях и в меньших количествах – в стеблях, черешках и главных жилках листьев. Когда количество кадмия в среде резко повышается, концентрация элемента в корнях в несколько раз превышает его концентрацию в надземной массе (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Покровская, 1995; Титов, Казнина, Таланова, 2012).

Высокая фитотоксичность кадмия объясняется его близостью по химическим свойствам к цинку. Поэтому кадмий может замещать цинк во многих биохимических процессах, нарушая работу большого количества ферментов. Фитотоксичность кадмия также проявляется в тормозящем действии на фотосинтез, нарушении транспирации и фиксации углекислого газа, а также в изменении проницаемости клеточных мембран. Кадмий – эффективный и специфичный ингибитор биологического восстановления. Видимые симптомы, вызванные повышенным содержанием кадмия в растениях, – это хлороз листьев, красно-бурая окраска их краев и прожилок, а также задержка роста и повреждения корневой системы (Серегин, Иванов, 2001; Казнина, Лайдинен, Титов, 2006; Воскресенская, Половникова, 2009).

Поэтому выявление различий в устойчивости растений к кадмию в зависимости от их видовой принадлежности и возрастных особенностей для дальнейшего их использования в озеленении городской среды является весьма актуальной в современных условиях техногенного загрязнения.

Методика. Объектами исследования служили газонные растения – овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.).

Изучались 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).

Исследования проводились на территории города Йошкар-Олы (Республика Марий Эл) в условно чистой (контроль) – ООПТ

«Сосновая роща», среднезагрязненной (парк им. XXX-летия ВЛКСМ) и загрязненной (ЗАО «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 по данным Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл.

Растительный материал собирался с пяти учетных площадок размером 1 м² в каждом районе исследования. С площадки брали по 10-15 особей каждого онтогенетического состояния. Отбор проб почвы осуществлялся на этих же участках согласно ГОСТам 17.4.3.01-83, 17.4.4.02-84.

В почвенных и растительных образцах содержание кадмия анализировали методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии (ИСО 11047:1998).

Содержание кадмия в анализированных материалах рассчитывали по формуле:

$$\omega_M = \frac{(\rho_1 - \rho_0) \cdot f \cdot V}{m},$$

где ω_M – массовая доля анализируемого элемента в образце, мг/кг; ρ_1 – концентрация элемента, соответствующая величине поглощения анализируемого раствора, мг/л; ρ_0 – концентрация элемента, соответствующая величине поглощения холостого раствора, мг/л; f – фактор разбавления; V – объем анализируемого раствора, л; m – масса анализируемого образца, обработанного по ИСО 11466, с поправкой на содержание воды по ИСО 11465, кг.

Оценку степени опасности загрязнения почвы химическими веществами осуществляли на основе коэффициента превышения (K_o) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) (Экологический мониторинг..., 2003):

$$K_o = \frac{C_{\text{факт}}}{\text{ПДК}},$$

где $C_{\text{факт}}$ – фактическая концентрация химического вещества в почве, мг/кг; ПДК – соответствующий этому веществу норматив, мг/кг.

$$Z_c = \sum Kc_i - (n - 1),$$

где n – число определяемых химических загрязнителей; Kc_i – коэффициент концентрации i -го химического вещества, который равен отношению фактической концентрации определяемого вещества в почве (мг/кг) к его региональной фоновой концентрации (мг/кг).

Корневое поступление элементов из почвы определяли с помощью коэффициента накопления (K_n) (Осипова, 2000), который выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почвах:

$$K_n = \frac{K_{\text{корни}}}{K_{\text{почва}}},$$

где $K_{\text{корни}}$ – содержание элемента в корнях; $K_{\text{почва}}$ – содержание элемента в почве.

Для характеристики процессов передвижения химических элементов использовали коэффициент передвижения (K_p) (Коваленский, 1969), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях:

$$K_p = \frac{K_{\text{листья}}}{K_{\text{корни}}},$$

где $K_{\text{листья}}$ – содержание элемента в листьях; $K_{\text{корни}}$ – содержание элемента в корнях.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTICA». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

Результаты и обсуждение. Загрязнение почвенного покрова города Йошкар-Олы в основном осуществляется солями тяжёлых металлов, которые поступают в него в результате работы теплоэлектростанций, промышленных предприятий, автомобильного и железнодорожного транспортов.

Проведенный анализ проб почвы в районе ЗАО «Завод Искож» выявил превышение ПДК (санитарно-гигиенического) по кадмию – в 2,4, свинцу – в 2,3, цинку – в 3,5 и меди – в 8,7 раз. При этом ПДК для растений была превышена по свинцу примерно в 1,5 раза, по меди – в 1,3 раза, по кадмию и цинку превышения для растений не обнаружено.

Анализ почвы в парке им. XXX-летия ВЛКСМ и лесопарке «Сосновая роща» не показал превышения ПДК ни по одному из исследуемых веществ.

Также нами был рассчитан комплексный показатель загрязнения городских почв тяжелыми металлами (Z_c). По суммарному показателю загрязнения почвы ТМ, рассчитанному относительно содержания веществ в почвах контрольной зоны (ООПТ «Сосновая роща»), которые в минимальной степени подвергаются техногенному воздействию, почвы парковой ($Z_c=0,7$) зоны имеют допустимый уровень загрязнения и почвы промышленного района города отнесены к категории умеренно опасных ($Z_c=21,02$).

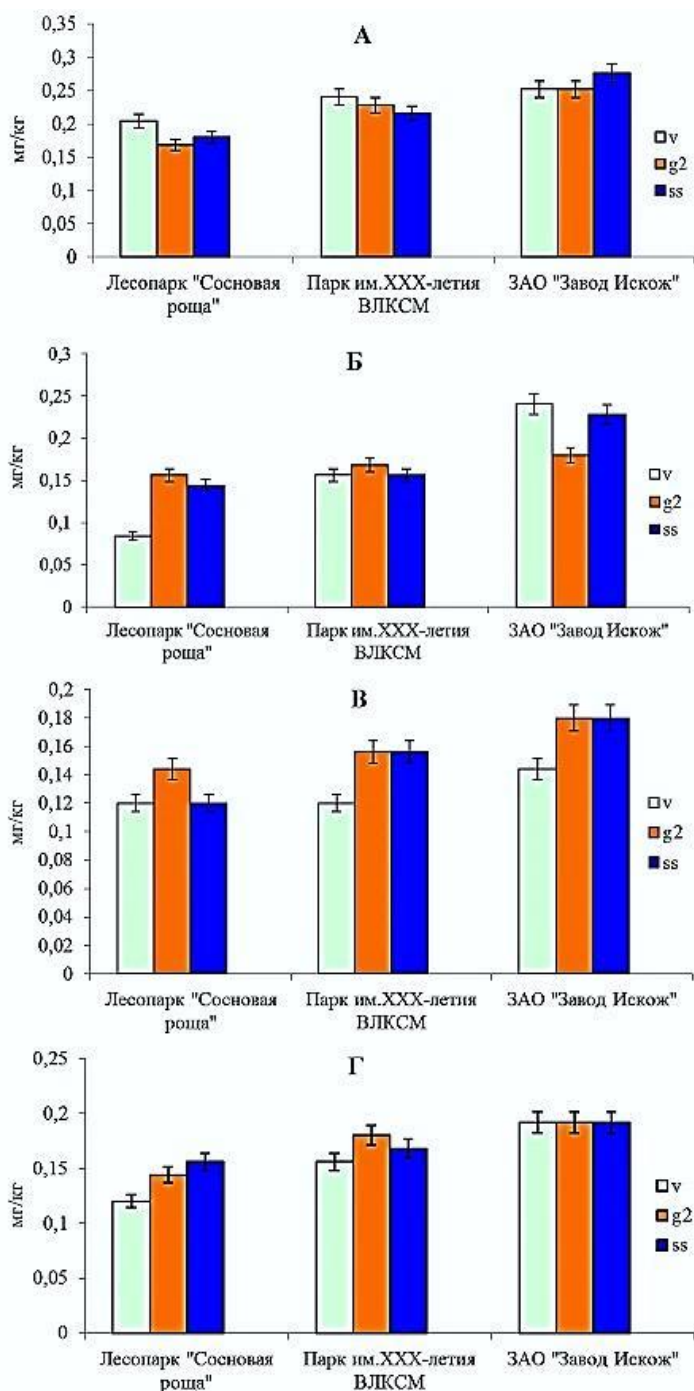


Рис. 1. Содержание кадмия в листьях газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды (А – клевер луговой, Б – мятлик луговой, В – ежа сборная, Г – овсяница луговая)

В ходе нашей работы установлено, что во всех местообитаниях наибольшей металлоаккумулирующей способностью листьев по

отношению к кадмию обладали особи клевера лугового (рис. 1). Содержание кадмия у особей разного онтогенетического состояния в условно чистом (0,18-0,2 мг/кг) и среднезагрязненном (0,22-0,24 мг/кг) районах варьировало незначительно. Тогда как увеличение техногенной нагрузки на среду вызывало изменение концентрации металла в онтогенетическом ряду: наблюдалось увеличение содержания кадмия от виргинильных особей к субсенильным, которые в свою очередь характеризовались максимальными значениями (0,28 мг/кг).

У растений, произрастающих в условно чистом местообитании, металлоаккумулирующая способность листьев по сравнению с особями загрязненного района была ниже в 1,5 раза, а у растений среднезагрязненного района – в 1,2 раза.

Злаковые растения по сравнению с клевером луговым характеризовались более низким содержанием кадмия в листьях, но при этом наблюдалась аналогичная картина: концентрация металла в листьях повышалась по мере увеличения техногенной нагрузки на среду (рис. 1). Содержание Cd в листьях у мятлика лугового, ежи сборной и овсяницы луговой находилось примерно на одном уровне на разных этапах онтогенетического развития. Так, для виргинильных особей этот показатель в условно чистом местообитании составил 0,08-0,12 мг/кг, для средневозрастных генеративных – 0,14-0,16 мг/кг, для субсенильных – 0,12-0,16 мг/кг. В среднезагрязненном районе наблюдалось незначительное повышение концентрации кадмия в листьях. У молодых особей злаковых растений этот показатель возрос в 1,3-2 раза, у средневозрастных и стареющих – 1,1-1,3 раза. Тогда как в загрязненном районе наблюдалось повышение содержания кадмия в листьях исследуемых растений. У v-особей данный показатель возрос в 1,5-3 раза, у g2-особей – 1,2-1,4 раза, а у ss-особей 1,2-1,6 раз. При этом биоаккумулятивная способность мятлика лугового была выше по сравнению с ежой сборной и овсяницей луговой.

Трехфакторный дисперсионный анализ показал, что на содержание кадмия в листьях газонных растений влияют факторы: вид ($p=0,0015$) и местообитание ($p=0,04$).

Наибольшей металлоаккумулирующей способностью корней обладали особи мятлика лугового и ежи сборной (рис. 2). Содержание ионов кадмия в корнях увеличивалось по мере усиления техногенной нагрузки на среду. Максимум содержания Cd в корнях у мятлика лугового (0,86 мг/кг) и у ежи сборной (0,58 мг/кг) было обнаружено в районе ЗАО «Завод Искож», что превысило контрольные значения в 1,5-3,2 раза.

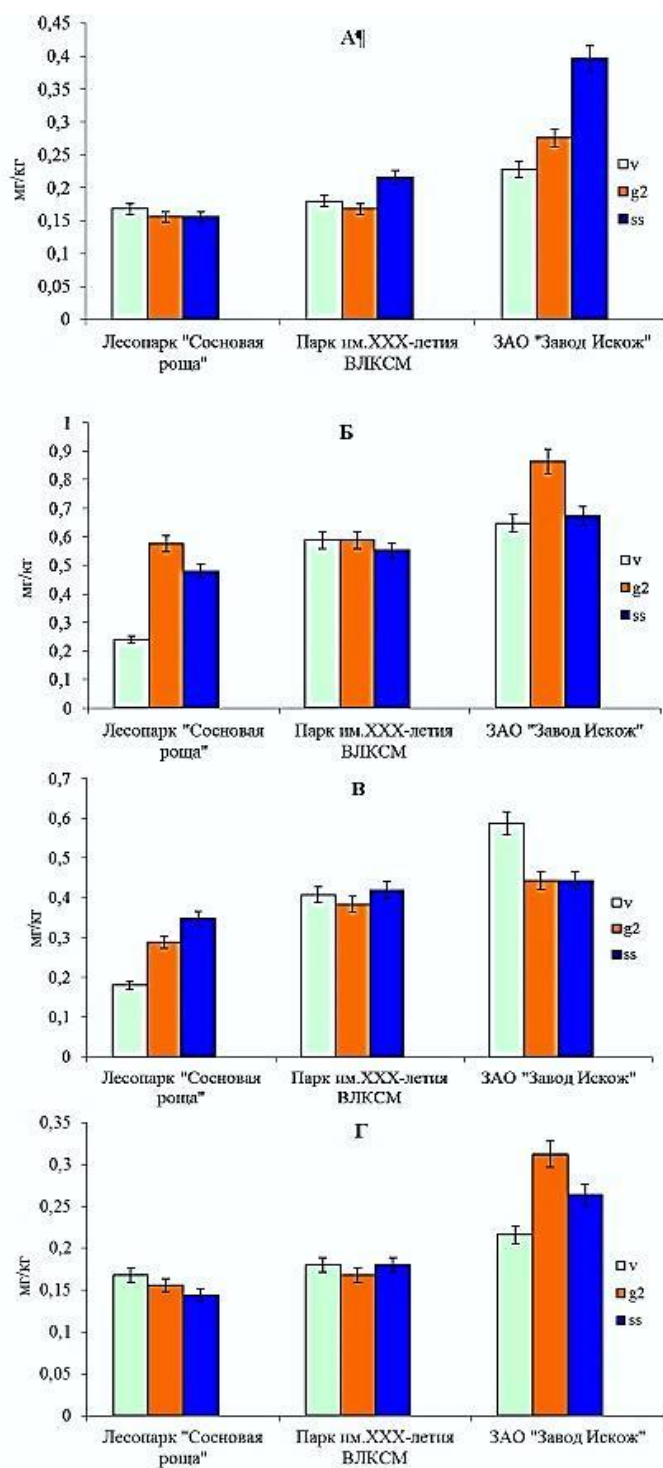


Рис. 2. Содержание кадмия в корнях газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды (А – клевер луговой, Б – мятлик луговой, В – ежа сборная, Г – овсяница луговая)

При рассмотрении онтогенетических состояний ежи сборной обнаружено, что наибольшая концентрация кадмия в корнях характерна для виргинильных растений – 0,18-0,58 мг/кг, у средневозрастных генеративных и субсенильных растений концентрация кадмия была примерно одинакова (0,28-0,44 мг/кг). Максимальное содержание кадмия в корнях мятлика лугового приходилось на средневозрастное генеративное состояние и составляло 0,57-0,86 мг/кг, в виргинильном и субсенильном состояниях концентрация Cd была ниже примерно в 1,3 раза.

У клевера лугового и овсяницы луговой с повышением степени загрязнения среды концентрация ионов кадмия в корнях увеличивалась (рис. 2).

Однако этот показатель для них был ниже, чем для ежи сборной и мятлика лугового и находился примерно на одном уровне (0,14-0,39 мг/кг). Так, для клевера лугового максимальная концентрация кадмия в корнях в промышленной части города была равна 0,39 мг/кг, а для овсяницы луговой – 0,31 мг/кг.

В ходе работы установлено, что в листьях и корнях всех изученных нами газонных растений кадмий содержится в концентрациях, не превышающих ПДК (1,1-6,4 мг/кг сухого вещества).

При использовании трехфакторного дисперсионного анализа было установлено, что на содержание кадмия в корнях газонных растений влияют все три фактора: вид ($p < 10^{-2}$), местообитание ($p < 10^{-2}$) и онтогенетическое состояние ($p < 10^{-2}$). Также значимо взаимодействие факторов вид-местообитание ($p < 10^{-2}$), вид-онтогенетическое состояние ($p < 10^{-2}$), местообитание-онтогенетическое состояние ($p < 10^{-2}$) и вид-онтогенетическое-состояние-местообитание ($p < 10^{-2}$).

Для характеристики биогенной миграции тяжелых металлов в системе «почва-растение» гораздо большее значение имеет оценка интенсивности вовлечения изучаемого металла в биологический круговорот. Эта оценка решается с помощью универсальных геохимических показателей интенсивности биологического поглощения элементов растительностью. На основании полученных данных по содержанию кадмия в почве, а также в различных частях растений нами были рассчитаны индексы биоаккумуляции. Корневое поступление элементов из почвы определяли с помощью коэффициента накопления (Кн), предложенного Н.В. Тимофеевым-Ресовским (1959), который выражается в отношении содержания элемента в корнях к таковому в почве.

Так, по коэффициенту накопления кадмия (рис. 3) исследуемые нами виды можно расположить в следующий убывающий ряд: мятлик луговой → ежа сборная → клевер луговой → овсяница луговая.

Максимальная накопительная способность в корнях была характерна для мятлика лугового и ежи сборной во всех местообитаниях и на всех стадиях развития. При этом у особей *Poa pratensis* больше всего кадмия накапливалось в корнях в среневозрастном генеративном состоянии ($K_n=0,71-2,22$), а у *Dactylis glomerata* – субсенильном ($K_n=0,37-1,49$). Меньшей биоаккумулятивной способностью к кадмию обладали особи *Festuca pratensis* и *Trifolium pratense*. У этих видов также как у ежи сборной интенсивнее всего кадмий накапливался в ss-состоянии ($K_n=0,22-0,6$).

Согласно классификации дифференцирования химических элементов по величинам коэффициента биологического поглощения, предложенной В.Ю. Осиповой (2000) (1 группа (100-10) – энергичного накопления; 2 группа (10-1) – сильного накопления; 3 группа (1-0,01) – слабого накопления и среднего захвата; 4 группа (0,1-0,01) – слабого захвата; 5 группа (0,01-0,001) – очень слабого захвата), кадмий относится к группе элементов сильного накопления для мятлика лугового и ежи сборной, а для овсяницы луговой и клевера лугового – к группе элементов слабого накопления и среднего захвата.

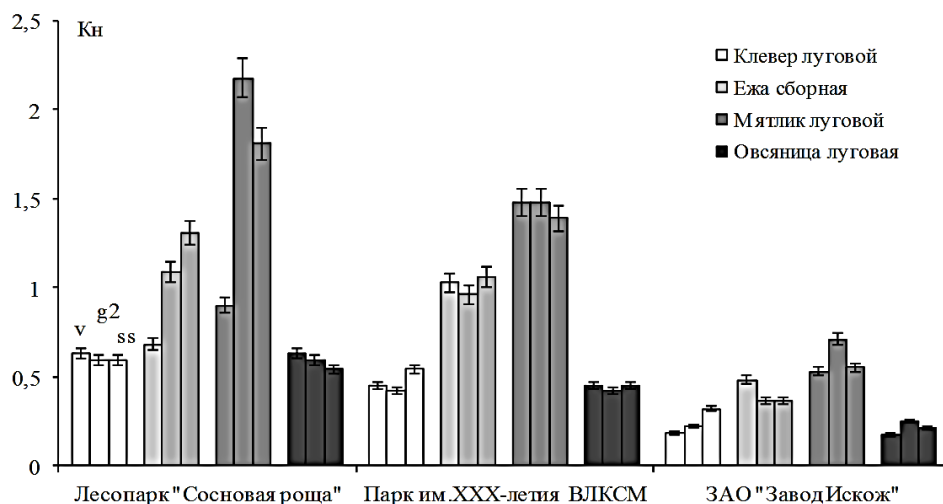


Рис. 3. Коэффициенты накопления кадмия
Онтогенетическое состояние растений: v – виргинильное, g₂ – средневозрастное генеративное и ss – субсенильное

Разницу в поглотительной способности кадмия исследуемыми видами можно объяснить неодинаковой способностью растений поглощать тяжелые металлы, то есть разной чувствительностью к токсическому действию металла (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Башмаков, Лукаткин, 2009; Прасад, 2003; Титов, Казнина, Таланова, 2012). Избирательность поглощения кадмия в зависимости от видовых

особенностей растений, а также от условий конкретного климата района, проявляется четко и бесспорно. Следовательно, единственным объективным показателем наличия в почве соответствующего участка доступного для растений количества тяжелого металла является только конкретный вид растения. По накоплению в фитомассе элемента можно судить об экологически значимом его содержании в почве.

Различная аккумуляция минеральных элементов в надземных и подземных органах растений может служить показателем их разной абсорбционной емкости. Так, А.Л. Коваленский (1969) предложил использовать для характеристики процессов передвижения химических элементов количественный показатель – коэффициент передвижения ($K_{п}$), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях.

Для характеристики аккумуляционной способности исследуемых видов был рассчитан коэффициент передвижения кадмия в различных местообитаниях и проанализированы изменения показателя в ходе онтогенеза. Мятлик луговой и ежа сборная во всех исследованных районах и во всех возрастных состояниях имели коэффициент равный меньше 1, что свидетельствует о большой накопительной способности их корней и хорошо развитых адаптационных механизмах, препятствующих поступлению тяжелых металлов в надземную часть (рис. 4).

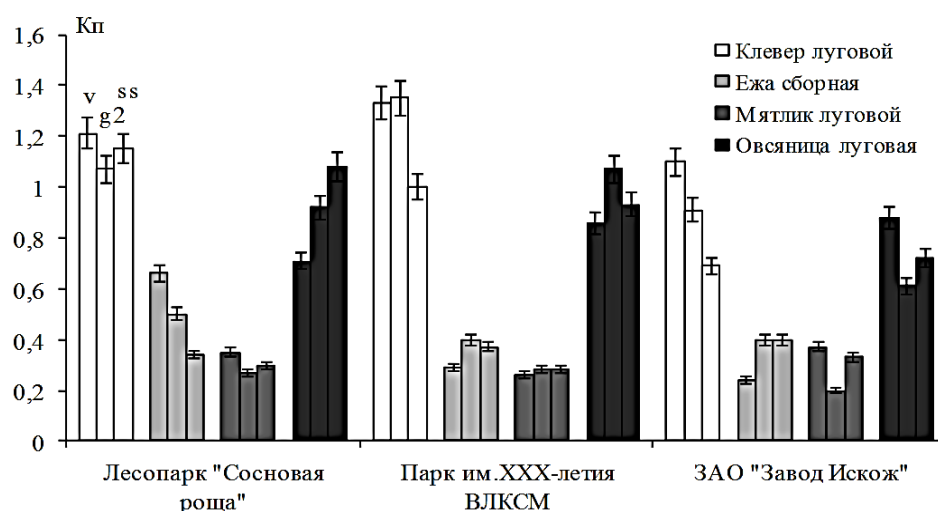


Рис. 4. Коэффициент передвижения кадмия
Онтогенетическое состояние растений: v – виргинильное, g₂ – средневозрастное генеративное и ss – субсенильное

Для клевера лугового и овсяницы луговой коэффициент передвижения был достаточно высоким относительно двух других

исследуемых видов во всех местообитаниях и во всех онтогенетических состояниях. При этом самые высокие показатели коэффициента имели виргинильные особи *Trifolium pretense* ($K_p=1,2-1,3$). Тогда как у овсяницы луговой максимальные значения были характерны для генеративных и стареющих особей ($K_p=0,6-1$).

Если рассматривать аккумуляционную способность исследуемых видов растений по отношению к кадмию в целом, то различия в коэффициенте передвижения во всех районах исследования существенные. Таким образом, повышение доли металла в корневой системе газонных растений может являться приспособительной реакцией, ослабляющей токсическое действие металла и предохраняющей фотосинтезирующие и генеративные органы от ее воздействия. Первым барьером на пути поступления тяжелых металлов из почвы в надземную часть является покровная ткань корней, обладающая значительной избирательно адсорбирующей способностью (Титов, Казнина, Таланова, 2012). Катионнообменная емкость клеточных стенок служит селективным фильтром, контролирующим минеральный состав растений. Большая емкость поглощения корневой системы устойчивых форм может смягчать условия конкуренции, антагонизм ионов и способствовать большей стабильности минерального состава при неблагоприятных условиях (Серегин, Иванов, 2001). При проникновении токсичных элементов в цитоплазму растительных клеток корня более вероятным механизмом задержки металлов следует считать их иммобилизацию. Формы иммобилизации могут быть различными. Во-первых – это образование труднорастворимых фосфатов, силикатов и сульфидов или прочное связывание металлов клеточными оболочками. Во-вторых – связывание тяжелых металлов в виде прочных растворимых комплексов с органическими кислотами, аминокислотами, углеводами и другими органическими соединениями. При этом, хотя металл и находится в растворимой форме, концентрация его в наиболее физиологической ионной форме может быть очень мала (Покровская, 1995; Воскресенская, Половникова, 2009). Некоторую защитную роль могут выполнять клетки пояса Каспари (Титов, Казнина, Таланова, 2012). Следовательно, корневая система является довольно мощным барьером, препятствующим поступлению токсических количеств металлов в надземную часть.

Толерантность к тяжелым металлам у растений генетически контролируется и имеет определенную емкость. Поэтому растения могут в определенной степени с помощью физиологических барьеров ограничивать передвижение токсичных металлов из корней в надземную часть. На это указывают представленные данные. Однако, при избытке металлов в окружающей среде защитные

авторегуляторные механизмы корневой системы «срываются», избыточные ионы поступают в корень и надземную часть растений (Покровская, 1995; Серегин, Иванов, 2001; Прасад, 2003; Титов, Казнина, Таланова, 2012).

Заключение. В целом поступление кадмия в растения представляет собой сложный и комплексный процесс, зависящий от многих факторов: почвенных, экологических, биологических. Можно предположить, что повышенное содержание металла в растениях, произрастающих на урбанизированных территориях, связано с большим поступлением его из почвы. Поскольку верхний горизонт почв загрязнен кадмием более всего, то этот источник накопления имеет, по-видимому, большое значение для травянистых растений с поверхностной корневой системой. Другим источником кадмия для растений служит загрязненный воздух. Попадающие из атмосферного воздуха на листья соединения металлов частично проникают внутрь тканей в результате пассивной диффузии или активного транспорта, частично остается в виде поверхностного отложения.

В ходе исследования установлено, что у разных видов газонных растений (клевера лугового, ежи сборной, овсяницы луговой, мятлика лугового) наблюдалась различная аккумулярующая способность по отношению к кадмию. Характер распределения металла по органам и тканям изменялся как в зависимости от видовой принадлежности и условий обитания, так и в течение онтогенеза. При этом отчетливо проявлялся акропетальный характер распределения кадмия в вегетативных органах мятлика лугового и ежи сборной, т.е. максимальное содержание металла отмечено в корнях, а минимальное в листьях. Тогда как для особей клевера лугового и овсяницы луговой накопление кадмия осуществлялось базипетально – содержание элементов уменьшалось от листьев к корням.

Изученные газонные растения относятся к достаточно высокотолерантным видам безбарьерного типа, способные формировать высокую урожайность вегетативной массы и обеспечивать большой вынос элементов-токсикантов. Поэтому они могут успешно произрастать на урбанизированных территориях. Кроме того, эти растения способны улучшать структуру и химический состав почвы, что очень важно при фиторемедиационном способе очистки техногенно загрязненных почв, так как этот метод направлен не только на наибольший вынос тяжелых металлов растениями, но и в то же время на возможность улучшения физико-химических свойств почвы.

Список литературы

- Башмаков Д.И., Лукаткин А.С.* 2009. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений. Саранск: Изд-во Мордовского университета. 236 с.
- Воскресенская О.Л., Половникова М.Г.* 2009. Динамика содержания тяжелых металлов в *Festuca pratensis*, *Dactylis dlomerata* (Poaceae) и *Trifolium pratense* (Fabaceae) в условиях города Йошкар-Олы // Растительные ресурсы. Т. 45. №1. С.77-85.
- ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82)* Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб 1984. М. 3 с.
- ГОСТ 17.4.4.02-84* Охрана природы. Почва. Методы отбора и подготовки проб почвы для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. 1985. М. 11 с.
- Жукова Л.А.* 1995. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола: РИИК «Ланар». 224 с.
- ИСО 11047:1998.* Качество почвы. Определение содержания кадмия, хрома, кобальта, меди, свинца, магния, никеля и цинка в водных экстрактах почв. Пламенные и электротепловые спектрометрические методы атомной абсорбции.
- ИСО 11466:1995.* Охрана почвы. Экстракция микроэлементов, растворимых в царской водке.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 440 с.
- Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф.* 2006. Влияние кадмия на апикальные меристемы стебля растений ячменя // Онтогенез. Т. 37. № 6. С. 444-448.
- Коваленский А.Л.* 1969. Основные закономерности формирования химического состава растений // Тр. Бурятского ин-та ЕН БФСО АН СССР. Сер. биохимия. Вып. 2. С. 6-28.
- Осипова В.Ю.* 2000. Характер распределения микроэлементов в органах деревьев елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл: дис. ... канд. хим. наук. Казань. 144 с.
- Покровская С.Ф.* 1995. Регулирование поведения свинца и кадмия в системе почва-растение. М.: Наука. 51 с.
- Прасад М.Н.* 2003. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. Т. 50. № 5. С. 768–780.
- Серегин И.В., Иванов В.Б.* 2001. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. Т. 48. № 4. С. 606–630.
- Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В.* 2012. Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства злаков): учебное пособие. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 55 с.
- Экологический мониторинг.* 2003. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Н. Новгород. Ч. V. 399 с.

TRAITS OF CADMIUM ACCUMULATION BY LAWN PLANTS AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS IN AN URBANIZED ENVIRONMENT

M.G. Polovnikova¹, O.L. Voskresenskaya²

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

²Mari State University, Yoshkar-Ola

The content of cadmium in the vegetative organs of lawn plants (*Trifolium pratense* L., *Poa pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds.) in the urban environment was determined. Plants of three age states were used in the work: virginal (v), middle-aged generative (g₂), and subsenile (ss). The nature of the distribution of metal in organs and tissues changed both depending on the species and habitat conditions, and during ontogenesis. At the same time, the acropetal nature of the distribution of cadmium in the vegetative organs of meadow bluegrass and hedgehog of the national team was manifested, i.e. the maximum metal content is noted in the roots, and the minimum in the leaves. Whereas for individuals of meadow clover and meadow fescue, the accumulation of cadmium was carried out basipetally – the content of elements decreased from the leaves to the roots.

Keywords: *Trifolium pratense, Poa pratensis, Dactylis glomerata, Festuca pratensis, ontogenesis, urban environment, pollution, cadmium, heavy metals.*

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: marinapmg19@mail.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.

Половникова М.Г. Особенности накопления кадмия газонными растениями на разных этапах онтогенеза в условиях урбанизированной среды / И.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. № 2(70). С. 149-162.

Дата поступления рукописи в редакцию: 24.10.22

Дата подписания рукописи в печать: 03.06.23