

УРОВЕНЬ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ КАК ФУНКЦИЯ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

**А.В. Линдиман, аспирант, *С.А. Буймова, инженер, *Л.В. Шведова,
доцент, *А.П. Куприяновская, доцент, *А.В. Невский, профессор
Ивановский государственный химико-технологический университет

e-mail: nevsky@isuct.ru

Преложен подход к оценке уровня антропогенного воздействия на экосистемы в качестве функции свойств растительных сообществ. В ходе исследования установлено, что об увеличении степени антропогенного воздействия на экосистему можно судить по: увеличению доли рудеральных видов растений в общем составе растительного сообщества; увеличению количества рудеральных растений, произрастающих на одном квадратном метре поверхности (густота стояния); увеличению содержания свинца и кадмия в наземной части растений. Установлена достаточно высокая способность извлечения свинца из почвы такими растениями-аккумуляторами, как крапива двудомная и овсяница луговая.

Ключевые слова: родники *springs*, биоразнообразие *biodiversity*, биологическое поглощение *biological absorption*, тяжелые металлы *heavy metals*, фиторемедиация *phytoremediation*

В Экологической доктрине Российской Федерации [1] отмечено, что устойчивое развитие, высокое качество жизни и здоровья нашего населения, а также национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных экосистем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. В этой связи решение эколого-экономических вопросов охраны природы, вопросов экономии природных ресурсов, мониторинга состояния природных экосистем и сохранения экологического равновесия имеет в настоящее время первостепенное значение.

Одной из актуальных экологических проблем является проблема антропогенного загрязнения водного бассейна. Загрязнение природных вод наносит огромный экономический и экологический ущерб. В результате функционирования предприятий различных отраслей промышленности (энергетики, металлургии, химической, машиностроительной, пищевой и др.) происходят серьезные, нередко, необратимые изменения в развитии биоценозов водных и наземных экосистем. Загрязненные водоёмы становятся непригодными не только для хозяйственно-питьевого водопотребления и рыбохозяйственного водопользования, но и для рекреационных целей и орошения сельскохозяйственных угодий. Вода нередко становится источниками инфекционных заболеваний человека и животных.

Родниковую воду издавна считали эталоном качества с присущими ей не только хорошими вкусовыми свойствами, но и, зачастую, целебным действием. Однако под влиянием антропогенного воздействия во многих случаях качество воды родников не только ухудшилось, но уже свидетельствует об опасности воды из-за поступления в нее различного рода веществ-ксенобиотиков. К таким веществам относятся тяжелые металлы (ТМ), которые обладают кумулятивными свойствами и, накапливаясь по пищевым цепям, могут представлять угрозу для здоровья живых организмов, включая человека. ТМ загрязняют не только воду родников, но и почву вокруг них. Из почвы ТМ за счет корневого питания попадают в растительность, произрастающую вокруг родников, влияя на такие свойства растительных сообществ, как видовое разнообразие, накопление биомассы растениями, густоту стояния и т.д. Дальнейшее развитие методов мониторинга окружающей среды, особенно их биотестовых вариантов [2], представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Целью настоящей работы является установление взаимосвязи между изменением свойств растительных сообществ, произрастающих вокруг природных родников, и уровнем антропогенного воздействия на экосистемы.

Для решения поставленной цели были выбраны похожие по своим свойствам природные родники. Все они находятся в

Ивановской области в поймах рек – Уводи, Талки и Тезы, и относятся к родникам нисходящего типа. Уровень антропогенного воздействия на родниковые экосистемы оценивали экспертным путем, принимая во внимание близость их расположения к автомобильным дорогам, селитебным зонам, неорганизованным свалкам, степень посещаемости их людьми и т.п.

Родник № 1 находится в городе Иванове в пойме р. Уводь. В непосредственной близости от него расположены дома частного сектора. Большое количество людей использует эту родниковую воду для хозяйственно-питьевых целей. Родник № 2 расположен в городе Кохме, также в пойме р. Уводь, недалеко от оживленной автомобильной дороги и несанкционированных свалок и тоже пользуется популярностью среди жителей. В рекреационной зоне на окраине города Иванова, в пойме р. Талка, находится родник № 3. Посещаемость его людьми средняя. Родники № 4 и № 5 расположены на экологически «чистых» территориях, в пойме р. Тезы, вдали от дорог и жилого сектора около мало населенных деревень в Шуйском районе Ивановской области. Посещаемость их людьми незначительная.

В течение пяти лет (2003-2007 г.) в осенне-летний период проводилась бонитировка растительности на территории в радиусе 15 м – вокруг выбранных родников. Она включала в себя идентификацию видов растений, распределение их по группам, определение среднего количества экземпляров отдельных видов растений на единицу площади (густоту стояния), степень угнетенности растений и т. п. [3] Отдельные экземпляры растений, которые встречались вокруг всех исследуемых родников, были выкопаны с корнями вместе с почвой. После высушивания и отделения корневой части растений от почвы, почва и растения взвешивались, что позволило в дальнейшем определить коэффициент биологического поглощения металлов растениями. Навески воздушно-сухой почвы и растений подвергались «мокрому» озолению по методике [4], и в полученных растворах определялась концентрация тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Сатурн.

В таблице указаны виды растений, которые были идентифицированы по определителю [5]. У родников № 4 и № 5 видовое разнообразие растений практически иден-

тично, поэтому сведения о видах растений около этих родников представлены в таблице в одном столбце.

Анализ результатов показывает, что четкой зависимости между количеством видов идентифицированных нами растений и уровнем антропогенной нагрузки нет. Так у экологически «чистых» родников № 4 и № 5 общее количество видов растений оказалось меньше, чем у родников, расположенных на урбанизированных территориях. По-видимому, видовое разнообразие растений в около родниковых растительных сообществах, не может служить репрезентативным показателем степени антропогенной нагрузки.

В просмотренной литературе [6] не были найдены сведения о характерном видовом составе растительности, произрастающей вокруг природных родников средней полосы России (аборигенах). Такие сведения имеются лишь для пойм рек средней полосы России, для которых характерны растения, произрастающие в условиях достаточно увлажненной почвы и воздуха: герань болотная, белоус торчащий, щучка душистая, гравилат речной, поручейник широколистный, звездчатка дубравная и др.

В данной работе в качестве растений (аборигенов) для исследуемых родников, условно принимались растения, характерные для притеррасных и центральных пойм рек, с учетом их произрастания вокруг экологически «чистых» родников № 4 и № 5.

Растения вокруг исследуемых родников были распределены по таксонам: местные - аборигены (растения в основном произрастающие около родников № 4 и № 5), сорно-луговая растительность и рудеральные виды (см. табл. 1). Из полученных данных видно, что наблюдается тенденция к снижению местных видов растений у родников № 1 и № 2, расположенных на урбанизированных территориях, и увеличению пришлых (сорно-луговых и рудеральных). На рис. 1 приведены процентные соотношения местных, сорно-луговых и рудеральных видов растений к общему количеству идентифицированных растений, произрастающих вокруг исследуемых родников.

Анализ результатов показывает, что количество местных растений уменьшается с увеличением степени антропогенной нагрузки, а пришлых, особенно рудеральных, увеличивается в общем растительном сообществе. Эта закономерность может быть использована для оценки степени антропогенной нагрузки на экосистемы природных родников.

Таблица 1. Видовое разнообразие растительности вокруг природных родников.

NN n/n	Вид растений (латинское название)	Номера источников			
		N 1	N 2	N 3	N 4,5
1. Рудеральные растения					
1.1	Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i> L.)	+	+	+	+
1.2	Лопух большой (<i>Arctium lappa</i> L.)	+	+	—	—
1.3	Мать – и – мачеха (<i>Tussilago farfara</i> L.)	+	+	+	—
1.4	Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i>)	+	+	+	+
1.5	Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	+	+	+	—
1.6	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i> L.)	+	+	+	—
1.7	Подорожник большой (<i>Plantago major</i> L.)	+	+	+	+
1.8	Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	+	+	+	—
1.9	Сныть (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)	+	+	+	+
1.10	Чертополох курчавый (<i>Carduus crispus</i> L.)	+	+	+	—
1.11	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i> L.)	+	+	—	—
	Всего рудеральных	11	11	9	4
2. Сорно-луговые растения					
2.1	Белоус торчащий (<i>Nardus stricta</i> L.)	—	+	+	—
2.2	Вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i> L.)	—	—	+	+
2.3	Герань луговая (<i>Geranium pratense</i> L.)	+	+	+	—
2.4	Дымянка лекарственная (<i>Fumaria officinalis</i> L.)	+	—	+	—
2.5	Ежа скрученная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	+	+	—	—
2.6	Икотник седоватый (<i>Berteroa incana</i> DC.)	—	+	—	—
2.7	Кульбаба осенняя (<i>Leontodon autumnalis</i> L.)	+	+	+	—
2.8	Манник наплавающий (<i>Glyceria fluitans</i> R. Br.)	+	—	+	—
2.9	Метлица обыкновенная (<i>Apera spica venti</i> P. B.)	—	+	—	—
2.10	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	+	+	+	+
2.11	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	+	+	+	+
2.12	Паслён чёрный (<i>Solanum nigrum</i> L.)	—	+	—	—
2.13	Полевица обыкновенная (<i>Agrostis vulgaris</i> With.)	+	—	+	+
2.14	Пырей ползучий (<i>Triticum repens</i> L.)	+	+	—	—
2.15	Ромашка ободранная (<i>Matricaria chamomilla</i> L.)	+	—	+	—
2.16	Сурепица обыкновенная (<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.)	—	+	+	—
2.17	Тысячелистник (<i>Achillea millefolium</i> L.)	+	+	+	—
2.18	Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.)	+	+	+	—
2.19	Черноголовка обыкновенная (<i>Prunella vulgaris</i> L.)	—	+	+	+
2.20	Щавель кислый (<i>Rumex acetosa</i> L.)	—	+	+	+
2.21	Ярутка полевая (<i>Thlaspi arvense</i> L.)	+	+	—	—
	Всего сорно-луговых	13	16	15	6
3. Аборигенные растения					
3.1	Василёк фригийский (<i>Centaurea phrygia</i> L.)	—	—	+	+
3.2	Вербейник обыкновенный (<i>Lysimachia vulgaris</i> L.)	—	—	+	+
3.3	Водяная сосенка (<i>Hippuris vulgaris</i> L.)	—	—	+	+
3.4	Горец змеиный (<i>Polygonum bistorta</i> L.)	—	—	—	+
3.5	Гравилат речной (<i>Geum rivale</i> L.)	+	—	+	+
3.6	Звездчатка болотная (<i>Stellaria palustris</i> Ehrh.)	+	—	+	—
3.7	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	+	+	+	+
3.8	Лапчатка средняя (<i>Potentilla intermedia</i> L.)	+	—	—	+
3.9	Лапчатка белая (<i>Potentilla alba</i> L.)	—	+	+	—
3.10	Манжетка обыкновенная (<i>Alchimilla vulgaris</i> L.)	—	—	+	+
3.11	Манник водяной (<i>Glyceria aquatica</i> Wahib.)	—	—	+	+
3.12	Осока круглая (<i>Carex globularis</i> L.)	—	—	+	+
3.13	Поручейник широколистный (<i>Sium latifolium</i> L.)	+	+	+	+
3.14	Подмаренник болотный (<i>Galium palustre</i> L.)	—	—	—	+
3.15	Скерда болотная (<i>Crepis paludosa</i> Moench.)	—	—	+	—
3.16	Таволга вязолистная (<i>Filipendula</i> L.)	—	—	+	+
3.17	Тростник (<i>Phragmites communis</i> Trin.)	—	—	—	+
3.18	Черёда трехраздельная (<i>Bidens tripartite</i> L.)	—	—	—	+
	Всего аборигенов	5	3	13	15
	Всего растений всех видов	29	30	37	25

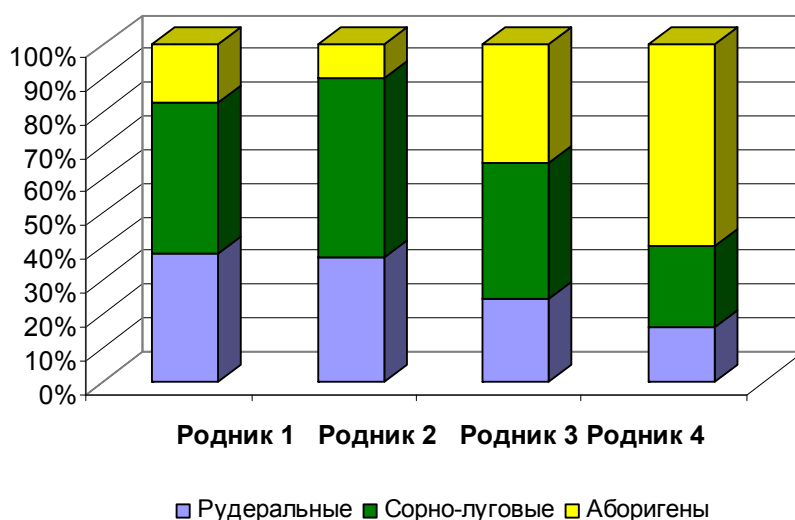


Рис. 1. Видовой состав растений, произрастающих в районе исследуемых родников.

На следующем этапе работы определяли густоту стояния – среднее количество растений, произрастающих на одном квадратном метре родниковой территории. Для этого выбирали растения, обнаруженные у всех исследуемых родников, и относящиеся к разным структурным группам: из рудеральных – крапива двудомная (*Urtica dioica*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) и подорожник большой (*Plantago major*), из сорно-луговых – овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.) и мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), из местных – клевер ползучий (*Trifolium repens*) и лапчатки средняя (*Potentilla intermedia*) и белая (*Potentilla alba*).

На рис. 2 представлены данные по густоте

стояния отдельных представителей растений разных структурных групп, произрастающих около исследуемых родников.

Анализ полученных результатов показывает, что, хотя около экологически «чистых» родников встречаются растения рудерального типа, это лишь отдельные экземпляры, тогда как около родников, расположенных на урбанизированных территориях, они занимают значительное место в общем около-родниковом растительном сообществе. Следовательно, густоту стояния представителей отдельных групп растений (особенно рудеральной группы) можно использовать для оценки уровня антропогенного воздействия на родниковые экосистемы.

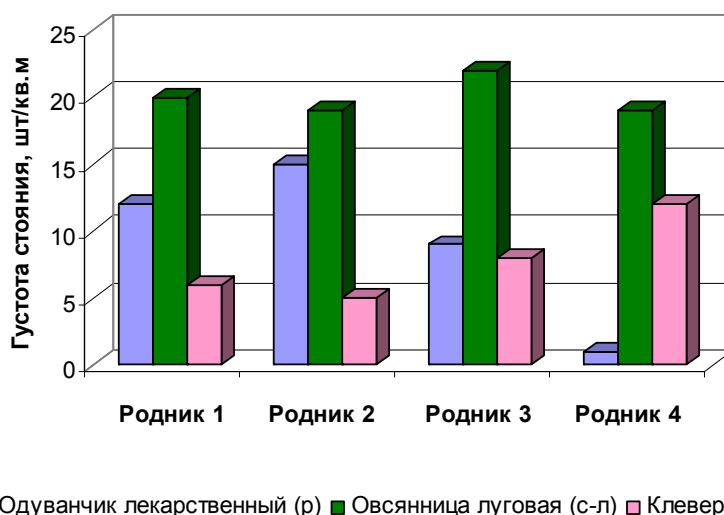


Рис. 2. Густота стояния растений в районе исследуемых родников.

Часто оценка степени антропогенной нагрузки проводится по содержанию в компонентах экосистем тяжелых металлов, причем многие из них являются маркерами

[7]. В данной работе в сухой массе растений и в почве определялись концентрации цинка, меди свинца и кадмия. При этом были выбраны представители разных структурных

групп растений (рудеральных, сорно-луговых и местных), которые произрастали вокруг всех исследуемых нами родников.

На рис. 3, 4 представлены результаты определения концентрации цинка и меди в

растениях представителей разных групп, собранных у всех исследуемых родников. У экологически «чистых родников» № 4, 5 перечисленные металлы определялись только в крапиве, мятлике и поручейнике.

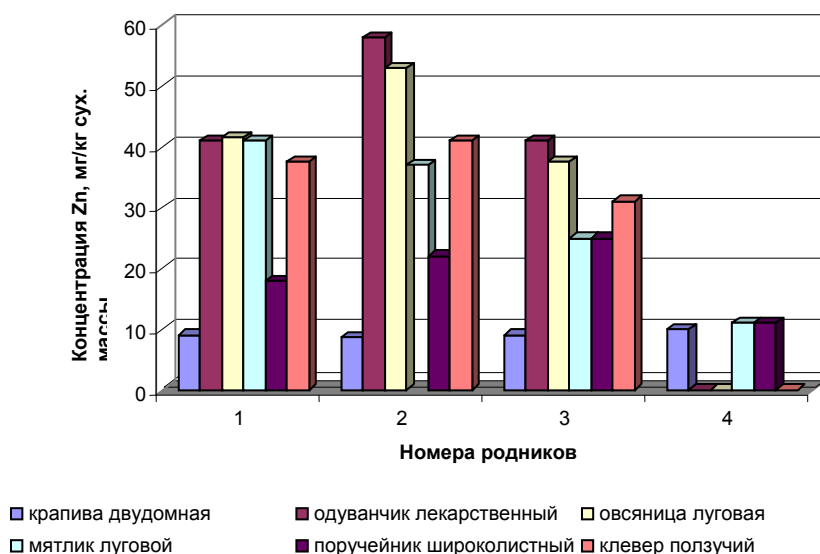


Рис. 3. Концентрация цинка в сухой массе растений.

Известно [8], что цинк и медь относятся к микроэлементам. Медь входит в состав ферментов, которые стабилизируют процесс фотосинтеза. Недостаток цинка нарушает липоидный и углеводородный обмен, что, в конечном

итоге, замедляет процесс образования хлорофилла. Как видно из рис. 3, 4 явной зависимости между степенью антропогенного воздействия и содержанием цинка и меди в растениях разных групп не наблюдается.

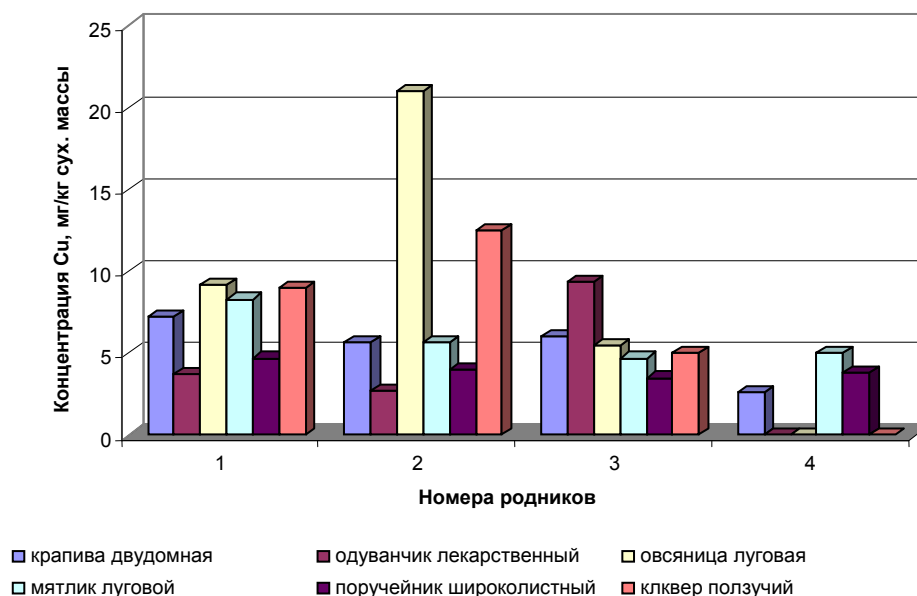


Рис. 4. Концентрация меди в сухой массе растений.

Свинец и кадмий, практически при любом содержании, как в почве, так и в растениях, оказывают токсическое действие, как на почвенную фауну, так и на рост и развитие растений. Они в основном поступают в

компоненты экосистем в результате хозяйственной деятельности человека. Полученные результаты содержания свинца и кадмия в растениях разных групп, представленные на рис. 5 и 6, показывают, что

с увеличением степени антропогенной нагрузки на экосистемы родников, увеличивается содержание свинца и кадмия в наземной части растений. Содержание свинца и кадмия определялось во всех растениях, представленных на рис. 5 и 6. Отсутствие этих металлов в отдельных растениях, собранных у разных родников, связано с их не обнаружением в аналитических пробах атомно-абсорбционным методом.

Значительные концентрации свинца в растениях, собранных около родника № 2, по-видимому, связаны с близостью автомобильной магистрали с интенсивным движением машин и выхлопными газами, содержащими соединения свинца.

Свинец в большей степени проникает в растения, относящиеся к группе рудеральных

(крапива двудомная) и сорно-луговых растений (овсяница луговая), собранных на урбанизированных территориях. Накопление свинца в крапиве двудомной и овсянице луговой при значительном уровне загрязнения почвы (3 ПДК_п около родника № 2 и 1,5 ПДК_п около родника № 1), по-видимому, обусловлена приспособительными возможностями этих растений. Толерантность указанных растений к накоплению иона свинца, возможна, связана с образованием мало-подвижных хелатных комплексов свинца со специфическими для этих растений органическими соединениями и белками, их депонированием в вакуолях клетки, что уменьшает степень негативного воздействия свинца на физико-биологические свойства растения.

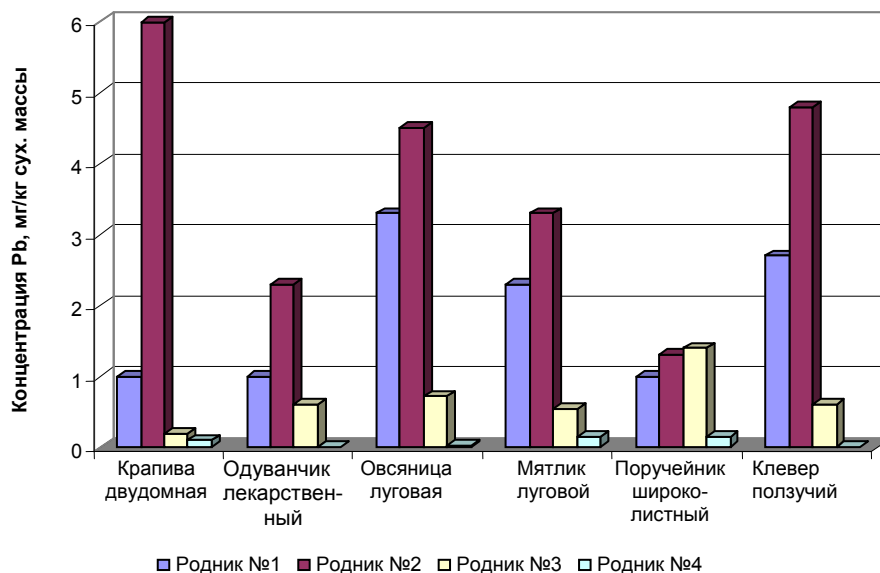


Рис. 5. Концентрация свинца в сухой массе растений.

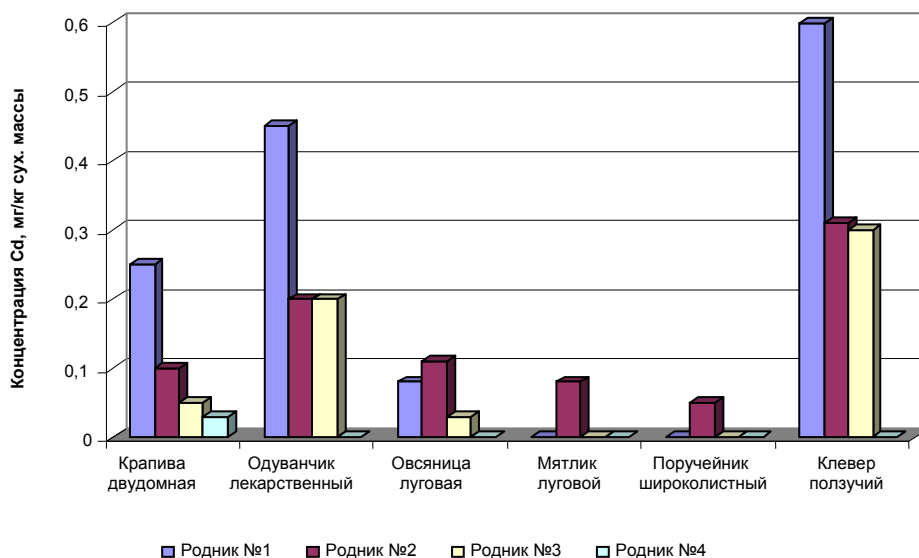


Рис. 6. Концентрация кадмия в сухой массе растений.

Что касается кадмия, то повышенные его концентрации в крапиве, одуванчике и в клевере у родника № 1, по-видимому, связано с близостью родника к частному жилому сектору с антропогенными источниками загрязнения, такими, как печное отопление и использование минеральных удобрений на огородных участках. В литературе приводятся данные, что накапливают значительные количества кадмия такие растения, как табак, рожь, рис. Высокая способность листьев табака накапливать кадмий определяет его содержание в табачном дыме и содействует повышению содержания этого металла в среде обитания человека.

Таким образом, наряду со структурными характеристиками растительных сообществ вокруг природных родников, содержание этих металлов, особенно свинца, в растениях может служить репрезентативным показателем состояния родниковых экосистем.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования по поиску растений аккумуляторов тяжелых металлов для фиторемедиации – методу очистки почвы от загрязнений с помощью растений. Крапива двудомная и овсяница луговая могут быть рекомендованы в качестве растений –

аккумуляторов свинца. Определение содержания тяжелых металлов не только в растениях, но и в почве, где они произрастали, позволило нам рассчитать коэффициент биологического поглощения (A_x) по уравнению [9]:

$$A_x = \frac{C_p \times G_p}{C_{\Pi} \times G_{\Pi}},$$

где: C_p , C_{Π} – концентрация свинца в растении и почве соответственно, мг/кг; G_p , G_{Π} – массы воздушно-сухого растения и части почвы, в которой это растение произрастало, соответственно, кг.

Полученные результаты значений коэффициента биологического поглощения меди (рис. 7) и свинца (рис. 8) для растений из разных структурных групп растительных сообществ приведены для родника № 2, подверженного значительной антропогенной нагрузке, и родника № 3, расположенного в рекреационной зоне города Иванова. Наибольшей степенью извлечения как свинца, так и меди обладают представители рудеральных (крапива двудомная) и сорно-луговых (овсяница луговая) групп растительных сообществ.

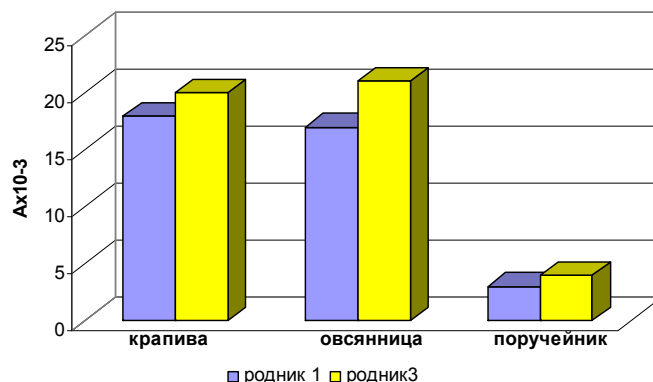


Рис. 7. Коэффициент биологического поглощения меди растениями (район родников № 1 и № 3).



Рис. 8. Коэффициент биологического поглощения свинца растениями (район родников № 1 и № 3).

Таким образом, результаты работы позволяют установить, что исследуемые природные родники по усилению степени антропогенного воздействия на их экосистемы можно расположить в ряд: **родники №4, №5 < родник №3 < родник №1 < родник №2.**

К методологически важным, на наш взгляд, выводам можно отнести следующее. В ходе исследования установлено, что об увеличении степени антропогенного воздействия на экосистему можно судить по увеличению:

1) доли рудеральных видов растений в общем составе растительного сообщества;

2) количества рудеральных растений, произрастающих на одном квадратном метре поверхности (густота стояния);

3) содержания свинца и кадмия в наземной части растений.

Кроме того, в работе установлена достаточно высокая способность по извлечению свинца из почвы такими растениями – аккумуляторами, как крапива двудомная и овсяница луговая.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Экологическая доктрина Российской Федерации. – Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002г. № 1225-р (2002,5).
2. Невский, А. В. Анализ и синтез водных ресурсосберегающих химико-технологических систем / А. В. Невский, В. П. Мешалкин, В. А. Шарнин. – М. : Наука, 2004. – 212 с.
3. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М. : Гидрометеоиздат, 1981. – 108 с.
4. Методические рекомендации по спектрометрическому определению тяжелых металлов в объектах окружающей среды, полимерах и биологических материалах. – Одесса : Изд. Одесского филиала НИИ гигиены водного транспорта, 1986. – 132 с.
5. Определитель высших растений Ярославской области. – Ярославль : Верх.- Волж. изд., 1986 – 182 с.
6. Жизнь растений. В 6 т. Т. 5. Цветковые растения. В 2 ч. / Под ред. А. Л. Тахтаджяна. – М. : Просвещение. Ч. 1. – 1980. – 432 с., Ч. 2. – 1982. – 512 с.
7. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. Майкла Тришоу. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 535 с.
8. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов 1-4-й групп. / Под ред. В.А. Филова. – Л. : Химия, 1988. – 512 с.
9. Барсукова, В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам / В. С. Барсукова. – Новосибирск : Изд. Ин-та почвоведения и агрохимии, 1987. – 63 с.