

---

---

*Н. В. Крутских, О. В. Лазарева*

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЫЛЬЦЫ ШИПОВНИКА МОРЩИНИСТОЛИСТНОГО КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА**

### **Введение**

Основной особенностью эколого-геологических исследований является взаимосвязанный анализ абиотических и биотических компонент изучаемых экогеосистем. Рассматриваемая абиотическая компонента эколого-геологической системы г. Петрозаводска включает почвы, приповерхностные отложения, донные отложения; в качестве биотических компонентов ЭГС изучается растительность, которая относится к базовой ступени экологической пирамиды (Косинова, Небольсина, 2003) и является наиболее чувствительной к техногенному воздействию. Биоиндикатором может служить пыльца растений. Для этого используется анализ, основанный на определении процента стерильности и тератоморфности (уродливости) пыльцевых зерен.

Морфологическая изменчивость пыльцевых зерен зависит от многих факторов, включающих загрязнение окружающей среды. Отмечено, что количество измененных пыльцевых зерен значительно увеличивается вблизи и на территории крупных промышленных центров. Территория Петрозаводска, являющегося промышленным городом, испытывает значительную экологическую нагрузку. При этом растения могут продуцировать большое количество стерильной, неспособной к прорастанию, а также тератоморфной пыльцы, в то время как в экологически чистых (фоновых) условиях количество их мало, что можно считать физиологической нормой для данного растения.

### **Материалы и методы исследований**

На территории города и за его пределами был проведен отбор 24 образцов пыльцы шиповника морщинистого (*Rosa rugosa*) с параллельным отбором проб почв на химический анализ. Выбор растения обусловлен тем, что этот вид шиповника произрастает как в искусственных, так и в естественных насаждениях, встречается во всех районах города, его биология хорошо изучена (Лантратова, 1991). Отбор образцов производился во всех функциональных зонах города:

промышленные зоны, зоны интенсивного движения автотранспорта, селитебные зоны, а также в пределах удаленных территорий. Пыльники отбирались с юго-восточной стороны куста на высоте 1 м с полностью распустившихся 4–5 цветков и фиксировались в 70%-м спирте. Окрашивание препарата происходило по йодной методике, которая основана на окрашивании внутреннего содержимого пыльцевого зерна йодом (Паушева, 1988). Фертильные зерна окрашиваются в яркий темно-фиолетовый цвет, стерильные окрашиваются не полностью либо остаются прозрачными. Производился подсчет более 500 пыльцевых зерен каждой пробы. Геохимические пробы отбирали непосредственно под растением, с которого была отобрана пыльца. Взятые образцы почвы максимально освобождены от крупных включений и в лабораторных условиях высушены до воздушно-сухого состояния. Далее пробу, в соответствии с ГОСТом, растирали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм (ГОСТ 17.4.4.02-84). Изучаемые образцы представляют собой преимущественно почвы песчано-супесчаного состава. По данным опробования в аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН проведен химический анализ методом ICP-MS. Состояние почв по геохимическим данным оценивалось на основании их сравнения с ПДК, кларковыми и контрольными значениями. Контрольная проба взята в пределах пос. Ледмозеро. Данная территория относится к селитебным районам, однако техногенная нагрузка здесь исключает воздействие крупных промышленных предприятий, влияние автомобильного транспорта минимально.

### **Результаты исследований**

Анализ геохимических данных выявил основные элементы, характеризующиеся повышенными концентрациями в почвах города. К ним относятся Pb, Zn, Co, Mo, Sb, Cu, Ni, Cr, Sn, W, V. Основные статистические характеристики данных химического состава почв представлены в табл. 1. В связи с тем что выборочная медиана является состоятельной характеристикой концентрации элемента, особенно при

Таблица 1

## Описательная статистика концентраций некоторых элементов в почве

	Стерил., %	Pb	Zn	Co	Mo	Sb	Cu	Ni	Cr	Sn	W	V
$x_{cp}$	21,84	39,94	117,86	10,38	1,03	1,12	50,67	20,34	32,67	2,45	1,97	82,74
Me	11,5	27,32	94,14	9,08	1,06	1,1	51,31	20,03	31,4	1,8	1,74	75,96
S	26,08	28,73	59,24	4,09	0,37	0,53	16,60	4,97	8,91	1,76	1,13	30,58
$x_{min}$	2,25	12,39	49,65	5,22	0,02	0,46	21,44	13,53	21,12	1,12	0,84	34,56
$x_{max}$	95	109,59	269,30	19,18	1,87	2,78	77,64	37,95	57,18	9,66	4,77	149,20
N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
ПДК		30	100	50		4,5	55	85				150
Кларк		16	83	18	1,1	0,5	47	58	83	2,5	1,3	90
пос. Ледмозеро	1,7	32,8	197,4	4,9	0,4	0,8	27,9	12,8	34,6	6,9	0,5	41,57

Примечание.  $x_{cp}$  – среднее арифметическое значение, Me – медиана, S – стандартное отклонение; кларк по: Справочник по геохимии, 1990.

неизвестном законе распределения, при анализе средних содержаний элементов в почвах предпочтительнее отдавалось этой характеристике.

Высокий уровень загрязнения свинцом ( $K_{пдк} > 2$ ) имеют пробы, отобранные в районе промышленных зон города (участок ж/д ст. Товарная, торгово-промышленный комплекс на ул. Коммунистов), в селитебных зонах – в двух точках наблюдения в микрорайоне Древянка, а также в центре города (Антикайна, 2). Значение медианы для концентрации свинца в почвах г. Петрозаводска составляет 27,3, что превышает кларковые значения, но находится в пределах ПДК. Для почв контрольного образца из пос. Ледмозеро характерно повышенное содержание свинца относительно кларка ( $C_{pb} = 32,8$ ). Содержание цинка в пробах по медиане соответствует ПДК, однако по некоторым точкам имеются превышения. Так, например, в пробе с зоны ж/д ст. Товарная и на ул. Антикайна  $K_{пдк} = 2,6$ . По содержанию кобальта территория города является незагрязненной, все значения ниже ПДК и находятся на уровне кларковых значений. Однако все образцы превышают ледмозерские контрольные значения в 2–3 раза. Содержание меди в почвах в среднем по городу не превышает ПДК, но почти в 2 раза больше контрольных значений. Наиболее высокие содержания Cu наблюдаются в образцах со ст. Товарная и точки наблюдения 27 (селитебная зона, ул. Сусанина). По содержанию никеля почвы являются незагрязненными, средние концентрации Ni в почвах города 20,3 мг/кг, что ниже ПДК. Но по всем пробам содержание никеля превышает контрольные значения в 1,5–2 раза. Наиболее высокое содержание Ni наблюдается в селитебных зонах Древянки, Ключевой, а также ст. Товарная. Медиана содержания вольфрама в изучаемых пробах составляет 1,7 мг/кг, что в 1,3 раза превышает значения кларка. По сравнению с контрольными образцами в пределах города наблюдается повсеместное увеличение концентраций W в 1,7–9,7 раза. Максимальное содержание W выявлено в промышленной зоне ул. Коммунистов, в селитебной зоне – в точках наблюдения 15, 17 и 41. По медиане содержания ванадия в почвах города не превышают кларковых значений, относительно ледмозерских данных V в 1,0–3,5 раза больше. Наибольшие концентрации выделены

для проб, взятых на ул. Сусанина, ул. Матросова, пр. Карельском, ш. Соломенском.

Полученные палинологические данные представлены в табл. 2, которая наглядно показывает качество пыльцы.

Наиболее низкий показатель стерильности пыльцы выявлен в образце, взятом в 420 км от г. Петрозаводска, в пос. Ледмозеро Муезерского р-на, в экологически чистой зоне. Количество стерильных зерен здесь составило 1,68%. Содержание в нем тератоморфных зерен также невелико и составляет 3,78%. Этот образец был принят за контрольный.

Самое низкое качество пыльцы в Петрозаводске обнаружено в пробе, взятой в районе ЗАО «Петрозаводскмаш» и ООО «Севербуммаш», наиболее крупных из действующих на территории города предприятий. Кроме того, в данном районе отмечается высокая интенсивность автомобильного движения (Елькина, Марковская, 2008).

В пределах города, по нашим данным, самое низкое качество пыльцы отмечено в образцах № 13 и 27, в них количество стерильной пыльцы достигает 95%. Образец № 13 отобран в центре города на перекрестке улиц с большим автомобильным потоком (пр. Ленина и ул. Антикайна). Здесь зафиксировано частое торможение автотранспорта на светофоре и работа автодвигателей в холостом режиме, при котором в атмосферу выбрасывается максимальное количество загрязняющих веществ. Образец № 27 взят в районе Ключевой (ул. Сусанина) с клумбы на территории придомовой автостоянки, с двух сторон огороженной бетонными стенами, препятствующими выходу выхлопных газов с автостоянки, что образует «газовую» камеру. Очень высоко содержание стерильной пыльцы в образцах № 16, 17, 41, отобранных вдоль автомобильных дорог с большой пропускной способностью, кроме того, образцы № 16, 17 близко расположены к территории Авторемзавода и железной дороге. Самое высокое качество пыльцы на территории города было отмечено в образце № 37 из жилого района Древянки – 2,25% стерильных зерен и 3,04% тератоморфных. Образцы № 6 и 39 с наибольшим количеством тератоморфных зерен (13,80% и 15,01% соответственно) отобраны в двух районах города (Пятый поселок и Кукковка).

Таблица 2

Показатели качества пыльцы *Rosa rugosa* г. Петрозаводска

№ образца	Местонахождение образца	Кол-во исследуемых пылевых зерен	Содержание стерильных пылевых зерен, %	Содержание тератоморфных зерен, %
5	Антикайна, 2	715	9,73	0,84
13	Антикайна, 30	1183	95	1,44
20	Красноармейская, 46	846	6,16	11,82
22	Ленина, 15	1723	6,99	2,03
42	Красная, 47	760	9,09	3,03
3	Разина, 3	716	11,03	1,26
15	Мост на р. Неглинке, район кинотеатра «Калевала»	1155	3,48	5,63
21	Первомайский, 10	887	13,31	10,26
33	Московская, 11	1198	8,13	5,51
41	Кирова, 46	1361	34	2,79
34	Островского, 6	802	19,26	11,97
16	Путейская, 3	743	27	11,84
17	Матросова, 3	1608	60	1,12
6	Коммунистов, 50	790	19,23	13,80
8	Кооперативная, 8	974	15,51	4,00
43	Мерецкова, 3	1253	11,78	5,99
38	Карельский пр., 18	770	14,74	10,26
39	Питкярантская, 2	946	8,58	15,01
40	Ровио, 1	1104	11,5	4,08
36	Сыктывкарская, 25	670	11,5	3,88
37	Лесной пр., 11	823	2,25	3,04
44	Соломенское шоссе, 16	1267	9,31	1,50
27	Сусанина, 30	521	95	11,13
	Средние значения		21,84	6,18
	Медиана значений		11,5	4,08
	Стандартное отклонение		26,08	4,66
	Минимальные значения		2,25	0,84
	Максимальные значения		95	15,01
	Размер выборки		23	23
1	Контрольный образец, пос. Ледозеро	556	1,7	3,78

Для определения влияния тяжелых металлов в почве на стерильность пыльцы шиповника морщинистого (*Rosa rugosa*) проведен линейный корреляционный анализ на основе логарифмов содержания тяжелых металлов и процентного содержания стерильных зерен. Значимые значения коэффициента корреляции выявлены для Co, Cu, W, V ( $r = 0,48-0,58$  при  $n = 24$  и  $\alpha = 0,95$ ,  $r_{крит} = 0,40$ ). Для остальных элементов корреляция является незначимой. Также рассчитаны коэффициенты корреляции для рассеянных и редкоземельных элементов. В пределах значимости находятся Sc, Ti, Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta ( $r = 0,40-0,51$ ,  $r_{крит} = 0,40$  для  $\alpha = 0,95$ ).

Анализ взаимосвязи между тератоморфностью и геохимическим составом почв выявил прямую зависимость морфологии пыльцы от содержания свинца ( $r = 0,41$ ,  $r_{крит} = 0,40$  для  $\alpha = 0,95$ ). Образцы № 6 и 39 с наибольшим количеством тератоморфных зерен (13,80% и 15,01% соответственно) были отобраны в двух районах города (Пятый поселок и Кукковка). Содержание свинца в почвенных пробах этих образцов в 2 раза превышает ПДК. Свинцовое загрязнение характерно для городских территорий и в большей мере отражает вклад автомобильного транспорта в общую нагрузку на природную среду. Для других загрязняющих элементов такая связь прослеживается в меньшей мере и определяется на-

личием других факторов, оказывающих влияние на морфологию пыльцы.

## Выводы

Таким образом, в ходе исследований установлена зависимость стерильности и тератоморфности пыльцы шиповника морщинистого от уровня химического загрязнения. Данный вид шиповника имеет четко выраженную количественную и качественную реакцию на отклонение свойств среды обитания от экологической нормы.

В значительной мере наблюдается реакция пыльцы в виде увеличения стерильных зерен на повышенные содержания Co, Cu, W, V. Эти превышения концентраций могут быть как естественного, так и техногенного происхождения. Также стерильность зависит от естественного фона, выражаемого в содержании некоторых рассеянных и редкоземельных элементов. Быстрее наблюдается отклик на изменение параметров среды в виде тератоморфности пыльцы шиповника. Наиболее активно пыльца реагирует на высокие содержания в почвах свинца, который в значительной мере отражает загрязнение от автотранспорта.

Метод оценки уровня стерильности и тератоморфности пыльцы шиповника чувствителен и может быть рекомендован для экомониторинга урбоэкосистем.

## ЛИТЕРАТУРА

*ГОСТ 17.4.4.02-84.* Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М., 1984. 13 с.

*Елькина Н. А., Марковская Е. Ф.* Результаты аэропалеонтологического мониторинга в г. Петрозаводске в 2005–2007 гг. // Палинология: стратиграфия и геоэкология. СПб., 2008. Т. 1. С. 156–160.

*Косинова И. И., Небольсина М. А.* Биоиндикационные методы наблюдений как элемент геоэкологического мони-

торинга зон влияния горнодобывающих предприятий (на примере Михайловского ГОКа) // Вестник Воронежского ГУ, сер. Геология. 2003. № 1. С. 149–152.

*Лантратова А. С.* Деревья и кустарники Карелии: Определитель. Петрозаводск, 1991. 232 с.

*Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений. 4-е изд. М., 1988. 271 с.

*Справочник по геохимии* / Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е. и др. М., 1990. 480 с.