

УДК 574.9; 57.054

DOI: 10.29039/2413-1733-2024-39-34-45

Распространение, опасность и морфологическая изменчивость борщевика Сосновского в промышленно-развитых городах Мурманской области

Дмитрук А. А.¹, Жиров В. К.²

¹ Федеральный Исследовательский Центр «Кольский Научный Центр Российской Академии Наук» Апатиты, Россия

² Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра РАН
Апатиты, Россия
anastasiaterez@yandex.ru, v_zhirov_1952@mail.ru

Опасность борщевика Сосновского заключается в высоком содержании токсических соединений – фуранокумаринов, повышающих чувствительность человека к УФ–излучению, вызывающего ожоги и системные аллергические реакции, нарушающих митотическую активность клеток, обладающих мутагенным действием; потенциально способных усиливать токсическое действие на человека вредных химических соединений в промышленно-развитых регионах, в результате дополнительной стимуляции процессов СРО. Для оценки потенциальной угрозы борщевика в центральных населенных пунктах Мурманской области, различающихся по суммарной величине загрязнения отходами промышленных предприятий, но при близких значениях загрязнения выхлопными газами главных автомагистралей, исследовали места наибольшего скопления его зарослей в городах Мурманск, Мончегорск, Кировск и Кандалакша. Определены площади зарослей и их расстояние до наиболее загрязненных перекрестков автомагистралей, и главных промышленных предприятий. Изменчивость формы листьев и плотности зарослей борщевика свидетельствуют, по теории Циклического старения растений Н. П. Кренке, об ускорении процессов старения. Это позволяет предполагать, что синергетические эффекты его токсичности в большей степени обусловлены взаимодействием его летучих метаболитов с промышленными выбросами, чем с выхлопными газами автотранспорта. Морфологический анализ борщевика Сосновского вблизи промышленных предприятий позволит более полно оценить экологическое состояние промышленных городов в Заполярье.

Ключевые слова: Борщевик Сосновского, фуранокумарины, токсичность, СРО, антропогенное загрязнение, комплексное действие, морфотип, физиологический возраст, кластеризация, аллелопатическое воздействие, оценка, мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое распространение растений борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) и близких к нему видов на территориях северных регионов России уже сейчас создает реальную угрозу для качества жизни и здоровья их населения. Представители этого вида способны аллелопатически подавлять рост и развитие других растений (Песня и др., 2011; Лунева, 2013; Меньшакова, Хрущева, 2013).

Принимая во внимание то, что токсичность этого растения способна значительно варьировать, усиливаясь при действии неблагоприятных естественных и антропогенных факторов, можно предполагать, что в промышленно-развитых центрах Крайнего Севера это растение более опасно, чем в условиях умеренного или теплого климата (Песня и др., 2011; Лунева, 2013).

Для Мурманской области характерна высокая концентрация добывающих и перерабатывающих предприятий горно-металлургического комплекса. В Мурманске расположен АО «Завод по термической обработке твердых бытовых отходов» (АО «Завод ТО ТБО»), АО «Мурманский морской торговый порт». В Мончегорске – комбинат «Североникель», входящий в состав ГК «Норильский Никель», в Кандалакше – Кандалакшский алюминиевый завод. В Кировске работают крупнейшие в России предприятия по производству апатитового и нефелинового концентрата и

фосфоросодержащих удобрений. На долю вышеуказанных предприятий приходится порядка 70 % всех выбросов загрязняющих веществ.

Загрязнение атмосферного воздуха значительно увеличивают выхлопные газы автотранспорта.

В Мурманске они составляют 70 % от общего количества выбросов стационарных источников. Отмечаются случаи загрязнения атмосферного воздуха по единичным показателям, главным образом, в 30-40 км зоне основных промышленных предприятий.

В значительной степени, рассеиванию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Мурманской области способствует активная циклональная деятельность, с умеренными и сильными ветрами, особенно продолжительными, направленными в жилую зону со стороны промышленных предприятий. По многолетним климатическим данным, максимальное количество дней, с неблагоприятными метеорологическими условиями, способствующими накоплению вредных соединений в атмосфере, приходится, как правило, на холодное время года (ноябрь-март). В периоды неблагоприятных метеоусловий в городах Мурманской области отмечаются максимальные разовые концентрации: диоксида серы 3 – 5 предельно-допустимых концентраций (ПДК) в Мончегорске, диоксида азота и оксида углерода 2 – 4 ПДК в Мурманске, бенз(а)пирена 2 – 3 ПДК в Кировске и в Кандалакше.

Мурманская область в большей степени, чем другие регионы России, подвержена потенциальной опасности радиоактивного загрязнения. На территории области находится более 200 ядерных реакторов, четыре из которых принадлежат Кольской атомной станции, значительное количество отработанного ядерного топлива, твердых и жидких радиоактивных отходов.

Хотя на территории Мурманской области эффекты негативного воздействия антропогенных нагрузок обнаружены во всех экосистемах, нельзя утверждать, что они находятся в критическом состоянии. Объективно можно констатировать кризисные явления на отдельных территориях вблизи (30-40 км) крупнейших промышленных предприятий, в первую очередь, предприятий цветной металлургии. В настоящее время экологическая ситуация в регионе остается устойчиво стабильной (Статья ФГБУ «Мурманское УГМС»).

В связи с этим Мурманская область привлекает особое внимание, так как представители данного вида борщевика широко распространены на ее территории (Богданов, 2010), значительная часть которой, загрязняется углеводородами в результате транспортной деятельности и отходами горно-обогадательной промышленности. В связи с этим, для планирования комплексных мер борьбы с этим растением (Далькэ, Чадин, 2008), необходимы не только сведения о масштабах и скорости его распространения по территории региона, но и о возможных изменениях его токсических свойств (Андреева, 2020) в антропогенно-измененной среде.

Поскольку токсичные метаболиты борщевика по отношению к самим растениям выполняют адаптогенную функцию (Шретер, 2002), не исключено, что, повышая активность их синтеза, антропогенное загрязнение способно увеличивать опасность этого растения для человека. Вместе с тем, взаимоусиливающий эффект совместного действия антропогенных загрязнителей и продуктов вторичного метаболизма борщевика может быть обусловлен, сходством механизмов токсической активности этих факторов, в основе которых лежат окислительные повреждения клеточных мембран (Владимиров, Арчаков, 1972; Прайор, 1979; Жиров и др., 2007).

Несмотря на то, что токсичность метаболитов борщевика Сосновского давно известна и подтверждена результатами многочисленных исследований (Лунева, 2013), ее зависимость от внешних условий и возможности усиления при действии других антропогенных факторов все еще практически не изучены. Кроме того, отсутствие такой информации осложняет архитектурное планирование жилых кварталов и проведение необходимых профилактических и лечебных мероприятий. Для Мурманской области, в наиболее крупных городах которой, токсическое действие борщевика (Андреева, 2020), сочетается с техногенным загрязнением на общем фоне экстремальных арктических условий, эта проблема имеет особенно важное значение.

Обследованные городские территории подвергаются комплексному антропогенному воздействию не только со стороны обычно расположенных за пределами городской территории промышленных предприятий, но и продуктами сгорания автомобильного топлива. Последнее, основным источником которого являются автотранспортные магистрали, могут представлять с этой точки зрения основную опасность для городского населения, поскольку их сети охватывают всю городскую территорию, включая и районы жилищного фонда.

В связи с этим целями данного исследования были:

1) проанализировать распространение борщевика Сосновского на территориях наиболее крупных населенных пунктов Мурманской области, в зависимости от близости к перекресткам главных автомагистралей;

2) рассчитать расстояние зарослей борщевика Сосновского до основных источников техногенного загрязнения;

3) оценить морфологическую изменчивость растений борщевика, отражающей возрастное состояние и эффективность адаптации растений к антропогенным изменениям условий внешней среды (Жиров и др., 2007).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа проводилась в июне 2022 года на территориях промышленно-развитых городов Мурманской области – Мурманска, Мончегорска, Кировска и Кандалакши. Санитарная обработка городских территорий (выкашивание растений борщевика) проводится согласно установленным правилам, в конце июля, до начала его цветения.

Определяли местоположение и площади наиболее крупных зарослей борщевика, и расстояние их до перекрестков автодорог регионального и местного значения, находящихся в пределах городской черты, так как загрязнение выхлопными газами и нефтепродуктами наиболее высоко именно вблизи перекрестков. С этой целью проводили анализ зарослей, находящихся на расстоянии ближе 100 м от перекрестков, в 3–10 метрах от дорожного полотна. Местоположение зарослей наносили на карту и рассчитывали их абсолютные и относительные площади, в пересчете на общую площадь населенного пункта.

Условную и фактическую площади листьев исследованных морфотипов растений борщевика (УПЛ и ФЛП, соответственно) определяли, как площади описанных вокруг границ листовой пластинки геометрических фигур, в первом случае, и весовым методом (Дорофеева, Бонецкая, 2020) – во втором.

Для морфометрического анализа исследовали не менее 10 листьев каждого морфотипа для каждой экспериментальной площадки. Измерения каждого из анализируемых параметров проводили в 10-кратной повторности.

Различия между сравниваемыми характеристиками считались достоверными при уровне значимости $\geq 5\%$.

В тексте размещены фотографии наиболее типичных для данного населенного пункта форм листовой пластинки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Локализация зарослей борщевика Сосновского в городах Мурманской области

В четырех городах Мурманской области Мурманске, Мончегорске, Кировске и его микрорайоне Кукисвумчорр, а также в Кандалакше были определены места наибольшего скопления зарослей борщевика Сосновского (рис. 1).

В пределах городской черты Мурманска было выявлено 19 основных мест произрастания борщевика Сосновского; в Мончегорске, Кировске, микрорайоне Кукисвумчорр Кировска, Кандалакше – 12, 12, 10, 9, соответственно.

Проведена оценка площадей распространения растений борщевика Сосновского (м²).

На территории Кировска и его микрорайона Кукисвумчорр множественные скопления борщевика Сосновского занимают небольшие площади прилегающих территорий и скверов, а также вдоль автомагистралей. В Мончегорске борщевик Сосновского преимущественно растет вблизи границ города. В Кандалакше в черте города борщевик Сосновского отмечается в небольшом количестве, но его достаточно часто отмечается в промышленной зоне. В Мурманске борщевик Сосновского встречается только вблизи границ города.

Можно предположить, эта особенность распространения борщевика обусловлена более высокой устойчивостью к загрязнению, чем, в частности, саженцев рябины Городкова, березы пушистой, обычно используемых для озеленения городов Мурманской области. По-видимому, оптимальным для борщевика Сосновского является диапазон концентраций промышленных отходов, не выходящих за пределы его собственной устойчивости, но угнетающих рост и повреждающих растения, способные составить ему конкуренцию. Кроме того, у борщевика такие уровни загрязнения могут стимулировать синтез фуранокумаринов, тем самым, усиливая его неблагоприятное аллелопатическое воздействие на другие растения и, облегчая ему распространение и дальнейшее расширение ареала.

Распространение борщевика Сосновского вдоль городских автомагистралей

Все обследованные городские территории, кроме отходов индустриальных производств, загрязняются продуктами сгорания автомобильного топлива. Интенсивность этого воздействия для определенных местообитаний может быть сопоставима и даже превышать первую, поскольку сеть автомагистралей покрывает большую часть городской территории, а промышленные предприятия в большинстве случаев располагаются с учетом преобладающего направления ветровых потоков (как в Мончегорске), за пределами городской черты.

Косвенно степень воздействия углеводородного загрязнения на прилегающих к автомагистралям территориях можно оценить по напряженности автомобильного движения, которая коррелирует с шириной дорожного полотна и плотностью автодорожной сети.

Обобщенные результаты – оценки вероятной опасности зарослей борщевика Сосновского в основных городах Мурманской области представлены в таблице 1.

Судя по данным, представленным в таблице 1, в Мончегорске наибольшее распространение борщевика, произрастающего возле автомагистралей, наблюдается вдоль ул. Грузовая и проспекта Кирова (площади их зарослей составляют 2,1 и 1,9 м² в пересчете на 1 км придорожной полосы, вследствие); в Мурманске – вблизи проспекта Героев-Североморцев (12,0), улицы Старостина (6,91), а также проспектов Ленина и Кольского (4,81 и 4,07, соответственно). Среди всех обследованных местообитаний борщевика Сосновского в городах Мурманской области преобладающее положение по его распространению занимают улицы Солнечная в Кировске (196,0 м² / км) и Данилова в Кандалакше (86,1 м² / км).

Так как на автомагистралях наиболее высоким уровнем углеводородного загрязнения отличаются перекрестки – в связи с тем, что транспортные средства вблизи их снижают скорость или останавливаются, переходя на пониженные передачи, в режиме которых возрастает расход топлива и объем выхлопных газов – предположительно, в частичной близости к ним токсичность метаболитов борщевика будет возрастать. В связи с этим, определили, в качестве способного ее увеличить фактора, близость местообитаний борщевика к перекресткам городских автодорог (таблица 2).

В среднем, по нашим данным, транспортная нагрузка улицы с двухполосным движением в этих городах (кроме Мурманска), в рабочее время будних дней, составляет в среднем 4±2 грузовых и 7±3 легковых автомашин/час. В Мурманске интенсивность выше, особенно за счет легковых машин и дорог с трехполосным движением (5-7 грузовых и 15-17 легковых автомашин/час). В Мурманской области водители обычно не выключают работу двигателя при остановке на перекрестках, невысокой в целом экологической культуре. Кроме того, интенсивность движения оценивали косвенно, по числу полос магистралей, которая

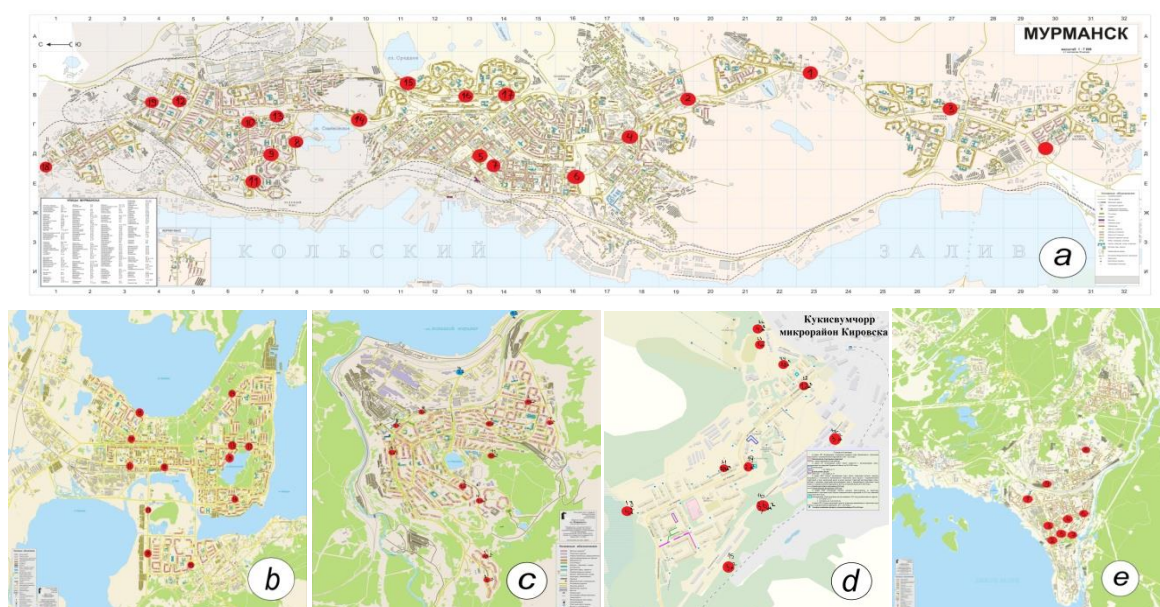


Рис. 1. Локализация основных зарослей борщевика Сосновского в Мурманске (а), в Мончегорске (b), на территории центральной части Кировска (с), на территории микрорайона Куисвумчорр Кировска (d), в Кандалякше (e)

предусматривается при планировании города, в зависимости от будущей напряженности движения транспорта.

Согласно приведенным выше рассуждениям, проводилась оценка не только общих и относительных, в пересчете на общую площадь города, площадей зарослей этих растений, но и долю расположенных на расстоянии ≤ 100 м от перекрестков основных автомагистралей.

Таблица 1

Расположение основных скоплений борщевика Сосновского в промышленных городах Мурманской области и условия произрастания, способные повлиять на его токсичность

Название города и его площадь, км ²	Название улицы	Номера мест сбора растений на городских планах	Общая суммарная площадь, м ²	Расстояние до ближайшего перекрестка, км	Длина улицы, км / число полос магистрали
1	2	3	4	5	6
Мончегорск, 113,0	Комсомольская	1	3,0	0,12	1,9 / 2
		2			
		3			
	Проспект Metallургов	4	2,0	0,75	3,1 / 2
		5			
	Проспект Кирова	6	4,0	0,20	2,1 / 2
	Кондрикова	7	2,0	0,02	1,4 / 2
	Бредова	8	3,0	0,02	1,25 / 2
Грузовая	9	4,0	0,15	1,95 / 2	
10					
Набережная Клементьева	11	1,0	0,20	1,6 / 2	
Площадь Пять углов	12	1,0	0,10	0,4 / 2	

Распространение, опасность и морфологическая изменчивость
борщевика Сосновского в промышленно-развитых городах Мурманской области

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
Мурманск, 154,4	Кольский проспект	1	35,0	0,17	8,6 / 3
		2			
		3			
	Проспект Ленина	4	20,2	0,15	4,2 / 3
		5			
	Воровского	6	3,0	0,10	0,25 / 2
		7			
	Александрова	8	5,0	0,10	1,3 / 2
		9			
Аскольдовцев	10	2,0	0,10	2,3 / 2	
	11				
Чумбарова- Лучинского	12	3,0	0,10	1,5 / 2	
	13				
Проспект Героев- Североморцев	14	20,4	0,05	1,7 / 2	
	15				
Старостина	16	15,2	0,17	2,2 / 2	
	17				
Лобова	18	3,2	0,20	2,8 / 2	
	19				
Кандалакша, 26,7	Новая	1	1,5	0,01	0,6 / 2
		2			
	Данилова	3	60,3	0,28	0,7 / 2
		4			
	Первомайская	5	4,0	0,10	2,6 / 2
		6			
	Аэронавтов	7	3,0	0,10	0,4 / 2
8					
Парк Уверова	9	4,0	0,10	0,35 / 2	
	10				
Фрунзе	11	1,5	0,25	1,1 / 2	
	12				
Путепроводная	13	2,0	0,10	2,0 / 2	
	14				
Кировск, 36,0	Солнечная	15	9,8	0,03	0,05 / 2
		16			
	Ленинградская	17	2,4	0,03	1,9 / 2
		18			
	Шилейко	19	1,5	0,75	0,3 / 2
		20			
	Олимпийская	21	3,1	0,11	0,9 / 2
22					
Проспект Ленина	23	6,0	0,14	2,4 / 2	
	24				
50 лет Октября	25	9,6	0,20	0,5 / 2	
	26				
Санаторий Тирвас, 5,0	Ботанический сад	27	18,2	0,20	2 / 2
		28			
	Апатитовое шоссе	29	6,0	0,20	2 / 2
		30			
Микрорайон Кукисвумчорр, 3,0	Комсомольская	31	9,6	0,40	2 / 2
		32			
		33			
	Кирова	34	7,2	0,02	2,1 / 2
		35			
	Пронченко	36	2,4	0,02	0,3 / 2
37					
Чуйкина	38	7,8	0,05	0,3 / 2	
	39				
				0,05	

Таблица 2

Абсолютные и относительные площади зарослей борщевика Сосновского в городах Мурманской области

Название города и общая площадь его территории, км ²	S_3 , м ²	$S_{3 \leq 100}$, м ²	S_3 / S_T , км ² (*10 ⁴), %	$S_{3 \leq 100} / S_3$ (*10 ⁴), %
Мурманск, 154,4	106,0	72,0	7,0	5,0
Мончегорск, 113,0	20,0	10,0	2,0	1,0
Кировск, 36,0	83,4	41,6	20,0	12,0
Кандалакша, 26,7	76,0	48,0	30,0	18,0

Примечание к таблице: S_3 – суммарная площадь зарослей борщевика; $S_{3 \leq 100}$ – сумма площадей зарослей, расположенных ближе 100 м до перекрестков основных автомагистралей; S_T – общая площадь города.

Как видно, наибольшими абсолютными площадями зарослей борщевика Сосновского отличается Мурманск, затем, в порядке убывания, – Кировск и Кандалакша. Минимальные абсолютные размеры площадей наблюдались в Мончегорске. Этой зависимости подчинялись и относительные площади зарослей борщевика, расположенных ближе 100 м от перекрестков основных автомагистралей.

Данные о площадях, занятых борщевиком Сосновского, относительно общей площади городской территории и расстояния до каждого из промышленных центров, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Площади зарослей борщевика Сосновского и их расстояние до основных промышленных предприятий городов Мурманской области

Название города и его общая площадь, км ²	Основной источник техногенного загрязнения	Абсолютная площадь зарослей, м ²	Относительная площадь зарослей к площади города, %	Расстояние от источника загрязнения, км
Мурманск 154,4	АО «Завод ТО ТБО»	106,0	0,07	4,2
Мончегорск 113,0	АО «Кольская ГМК»	20,0	0,02	1,8
Кировск 36,0	Апатит-нефелиновая фабрика № 3 «ФОСАГРО»	83,4	0,20	8,1
Кандалакша 26,7	АО Кандалакшский алюминиевый завод	76,0	0,30	5,6

Из таблицы 3 следует, что из обследованных городов Мурманской области минимальные площади зарослей борщевика были обнаружены в Мончегорске, при сравнительно малом расстоянии от основного источника промышленных отходов (АО «Кольской ГМК»).

Изменчивость формы листьев и плотности зарослей борщевика в городах Мурманской области

Листья этих растений были собраны в Мурманске (ул. Воровского), Мончегорске (ул. Комсомольская), Кировске (пр. Ленина), и Кандалакше (ул. Новая) в июне 2022 года (рис. 2) для последующего морфометрического анализа (табл. 4).



Рис. 2. Типичные формы листьев борщевика Сосновского в городах Мурманской области: Мурманск, ул. Воровского (a); Мончегорск, ул. Комсомольская (b); Кировск, проспект Ленина (c); Кандалакша, ул. Новая (d)

На фотографиях листья борщевика показаны в масштабе: Мурманск 1:4; Мончегорск 1:2; Кировск 1:6; Кандалакша 1:3.

Таблица 4

Сложность листовой пластинки у растений борщевика Сосновского в различных по уровню промышленного загрязнения городах Мурманской области

Название города	Название улицы	Условная площадь листа, (УПЛ), см ²	Фактическая площадь листа, (ФПЛ), см ²	УПЛ/ФПЛ *100, %
Мурманск	Воровского	314	242	130
Мончегорск	Комсомольская	108	89	120
Кировск	Проспект Ленина	572	547	104
Кандалакша	Новая	133	95	140

Примечание к таблице: УПЛ – площадь правильной геометрической фигуры, описанной вокруг границы листовой пластинки; ФПЛ – площадь листа, рассчитанная весовым методом (Дорофеева, Бонецкая, 2020).

Как следует из таблицы 4, усложненность формы листьев борщевика, оцениваемая по величине отношения УПЛ/ФПЛ, уменьшалась в ряду местообитаний в городах: Кандалакша > Мурманск > Мончегорск > Кировск, а фактическая площадь листьев – в ряду: Кировск > Мурманск > Кандалакша > Мончегорск.

Для оценки усложненности структуры последующего уровня организации растений борщевика Сосновского – локальных зарослей – была проведена оценка их площади и плотности, которая оценивалась по отношению к ней числа генеративных побегов (табл. 5).

Таблица 5

Плотность зарослей представителей морфотипа борщевика Сосновского в различных по загрязненности городах Мурманской области

Город	Название улицы	Общая площадь зарослей, м ²	Общее число генеративных побегов, шт.	Число генеративных побегов на 1 м ²
Мончегорск	Комсомольская	3	5	1,7
Кировск	Проспект Ленина	6	12	2,0
Кандалакша	Новая	1,5	4	2,7

Примечание к таблице: число генеративных побегов на 1 м² = общее число генеративных побегов, шт. / общую площадь зарослей, м².

Генеративные побеги в начале вегетации (июне – июле) значительно различаются по высоте и хорошо заметны, поэтому их легче подсчитывать: их число в одной ассоциации соответствует степени кластеризации целых зарослей борщевика. Судя по данным таблицы 5, концентрации зарослей борщевика изменялись в ряду городов: Кандалакша > Кировск > Мончегорск, а общая площадь зарослей – в ряду: Кировск > Мончегорск > Кандалакша.

Сравнивая данные таблиц 2, 4 и 5 можно отметить, что наибольшая фактическая площадь листьев борщевика, при малой сложности формы, сочеталась с заметной общей площадью и высокой концентрацией, то есть низким уровнем кластеризации их зарослей (Кировск, проспект Ленина), а в наиболее неблагоприятных условиях произрастания (минимальном расстоянии до главного промышленного объекта) растения этого вида, в Мончегорске, отличались минимальными размерами листьев и высокой кластеризацией зарослей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам исследований различных авторов, загрязнение окружающей среды продуктами сгорания автомобильного топлива повышает активность свободнорадикального окисления (СРО) в липидной фазе мембран клеток человека и растений (Белишева, 2019). В связи с этим, логично предположить, что на перекрестках городских автомагистралей, при пересечении которых водители чаще используют увеличивающие расход топлива пониженные передачи, эти эффекты более выражены, а заросли борщевика Сосновского возле перекрестков и расположенных поблизости дворовых территорий, могут быть более токсичны.

Поскольку вредные для здоровья человека метаболиты борщевика, в частности, фенольной природы, обеспечивают этим растениям повышенную устойчивость к действию неблагоприятных факторов внешней среды и конкурентоспособность по отношению к другим индивидам растительных сообществ (Гельтман, 2009).

В экстрактах борщевика идентифицированы фурукумарины ангелицин, ксантотоксин, бергаптен, псорален, императорин, а также кумарин умбеллиферон. Среди фурукумаринов, идентифицированных в экстрактах мерикарпиев зеленых и зрелых плодов, количественно преобладает ангелицин, затем, в порядке уменьшения содержания, бергаптен и ксантотоксин (Ламан, Копылова, 2019). Полученные экспериментальные результаты косвенно подтверждают предположение, высказанное ранее в работе М. Ю. Мишиной и другими (Мишина и др., 2011) о важной роли ангелицина в проявлении аллелопатического, фотосенсибилизирующего и фармакологического действия борщевика Сосновского. Вместе с тем известно, что эти соединения наиболее активно синтезируются на стадии зрелости и на ранних стадиях старения, то есть в состоянии достаточно высокого физиологического возраста (Журба, Дмитриев, 2008; Вишнякова, Жукова, 2017).

Ранее было установлено, что условия промышленного загрязнения ускоряют естественное старение и увеличивают физиологический возраст растений (Жиров и др., 2007), который, с точки зрения классической теории «Циклического старения и омоложения растений» (Кренке, 1940), имеет важное адаптогенное значение. При этом, возрастные изменения растений, на органном и организменном иерархических уровнях, обычно проявляются в структурной кластеризации – усложнении формы листьев, ветвлении побегов и формировании столонов (Коровкин, 2013), а в случае борщевика – увеличении числа генеративных побегов. Применимость данного принципа была установлена не только для древесных и кустарниковых растений (Кренке, 1940), но и для значительно более широкого круга биологических объектов (Жиров и др., 2024., в печати). Кластеризация зарослей борщевика связана с выделением локальных групп вегетативных побегов, окружающих генеративный побег, который обычно находится в центре кластера. Поскольку отрастание генеративных побегов в начале летнего периода происходит быстрее, чем вегетативных, в июне-июле они хорошо заметны на фоне листьев, что позволяет визуально оценивать степень расщепленности всей микропопуляции. Кластеризация последней происходит на трех уровнях: органов (листьев), организма (комплекса побегов одного корневища), и отдельных

зарослей более крупных структур (или микропопуляций), что позволяет предполагать адаптивное значение многоуровневого характера морфологической изменчивости растений этого рода.

Таким образом, сравнительный анализ сложности формы (степени изрезанности) листовой пластинки борщевика Сосновского, а также кластеризации и размеров их зарослей в ряде городов Мурманской области, дает возможность предварительно прогнозировать варибельность его токсических свойств согласно теории Н. П. Кренке (Кренке, 1940), связывающей разнообразие морфологических и физиолого-биохимических признаков растений с их возрастной изменчивостью.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что антропогенное воздействие влияет на физиологический возраст – структур двух уровней организации растений борщевика Сосновского: органов (листьев) и отдельных зарослей, занимающих промежуточное положение между организменным и микропопуляционным уровнями.

Поскольку усложнение формы листьев и размеров локальных зарослей замедляет процессы старения при том, что токсичные метаболиты, повышающие способность этих растений борщевика конкурировать с представителями других видов растений, обычно накапливаются с увеличением физиологического возраста, можно предположить, что обнаруженное нами усложнение морфологических характеристик борщевика Сосновского является примером сложной адаптации по двум направлениям.

С одной стороны, усложнение формы листьев, зарослей и микропопуляций дает этим растениям возможность предотвращать ускоренное старение даже при достаточно высоком уровне промышленного загрязнения; с другой – накапливать токсические продукты вторичного метаболизма, облегчающие конкурентную борьбу с другими видами растений и завоевание этой территории. По-видимому, сочетание двух адаптационных стратегий обеспечивает этим растениям хорошо известную способность к быстрому росту и широкому распространению даже в неблагоприятных условиях, нарушению естественных для данной местности фитоценозов и вытеснению аборигенных видов растений (Симонов и др., 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была определена локализация наиболее крупных зарослей борщевика Сосновского в городах Мурманск, Мончегорск, Кировск, Кандалакша и проведена оценка их размеров в зависимости от их близости до основных источников аэротехногенного загрязнения – промышленных предприятий, и продуктами сгорания автомобильного топлива у перекрестков автомобильных автомагистралей.

Было установлено, что распространение борщевика Сосновского в этих промышленно-развитых городах убывало в ряду: Мурманск > Кировск > Кандалакша > Мончегорск. На основании результатов морфометрического анализа в обследованных городах была выявлена значительная варибельность сложности листьев и плотности зарослей борщевика. Можно отметить, в частности, что наибольшая фактическая площадь листьев борщевика при незначительной сложности их формы сочеталась с заметной их общей площадью и высокой концентрацией зарослей на проспекте Ленина в Кировске.

Приблизительно равная плотность сетей автомобильных дорог в местах локализации наиболее крупных зарослей борщевика Сосновского, – как вблизи предприятий, так и вдали от них, позволяет предполагать, что синергетические эффекты его токсичности в большей степени обусловлены взаимодействием его летучих метаболитов с промышленными выбросами, чем с выхлопными газами автотранспорта. Это, в свою очередь, дает основание для борьбы с этим растением, прежде всего в местах, приближенных к предприятиям, в районе которых суммарные эффекты двух видов загрязнения выражены сильнее. При условии подтверждения этих соображений прямыми токсикологическими исследованиями представленные нами результаты могут быть полезны при организации работ для снижения затрат по благоустройству промышленных городов на Крайнем Севере.

Список литературы

- Андреева Л. В. Токсические и полезные вещества борщевика Сосновского // Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Великий Новгород, 28–29 ноября 2019 г.). – Великий Новгород, 2020. – С. 324–327.
- Белишева Н. К. Интегральные эффекты воздействия высокоширотных геофизических агентов и локальной контаминации среды на организм человека в условиях Арктики // АСТА NATURAE Спецвыпуск: Материалы II Объединенного научного форума (Сочи-Дагомыс, 01–06 октября 2019 г.). – М.: Перо, 2019. – С. 144–145.
- Богданов В. Л., Николаев Р. В., Шмелева И. В. Биологическое загрязнение территории экологически опасным растением борщевиком Сосновского // Фундаментальные медикобиологические науки и практическое здравоохранение: Сборник научных трудов 1-й Международной телеконференции (Томск, 20 января–20 февраля 2010 г.). – Томск: СибГМУ, 2010. – С. 27–29.
- Вишнякова С. В., Жукова М. В. Лекарственные и эфиромасличные растения. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. – 41 с.
- Владимиров Ю. А., Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. – М.: Наука, 1972. – 273 с.
- Гельтман Д. В. Состав и эколого-фитоценоотические особенности сообществ с участием инвазионного вида *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) на северо-западе Европейской России // Растительные ресурсы. – 2009. – № 3. – С. 68–75.
- Далькэ И. В., Чадин И. Ф. Методические рекомендации по борьбе с неконтролируемым распространением растений борщевика Сосновского. – Сыктывкар, 2008. – 28 с.
- Дорофеева М. М., Боневская С. А. Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности // Растительные ресурсы. – 2020. – Т. 56, вып. 2. – С. 182–192.
- Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф., Хаитбаев А. Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. – М.: Наука, 2007. – 166 с.
- Жиров В. К., Гонтарь О. Б., Мегорский В. В. Системные адаптации растений и ландшафтная терапия в условиях севера. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2024. – 142 с. (в печати).
- Журба О. В., Дмитриев М. Я. Лекарственные, ядовитые и вредные растения. – М.: Колос, 2008. – 512 с.
- Коровкин О. А. О структурно-функциональной специфике столона // Известия ТСХА, 2013. – Вып. 3. – С. 47–51.
- Кренке Н. П. Теория циклического старения и омоложения растений и практическое ее применение. – М.: «Сельхозгиз», 1940. – 135 с.
- Ламан Н. А., Копылова Н. А. Биохимический состав фуранокумаринов, накапливающихся в эфиромасличных каналах мерикарпиев борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) // Стратегия ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков и других опасных инвазивных видов растений: Материалы научно-практического семинара (Минск, 17–19 сентября 2019 г.). – Минск: Калорград, 2019. – С. 24–26.
- Лунева Н. Н. Борщевик Сосновский в России: современное состояние и актуальность его раннего подавления // Вестник защиты растений. – 2013. – С. 29–43.
- Меньшакова М. Ю., Хрущева В. В. Изучение аллелопатической активности крупных борщевиков в Мурманской области в водных вытяжках // Естественные науки. – 2013. – № 4. – С. 27–31.
- Мишина М. Ю., Прохоров В. Н., Росоленко С. И., Тимофеева И. В. Аллелопатическое влияние семян борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) на рост проростков различных сортов зерновых культур // Экология – 2011: Материалы докладов IV молодежной научной конференции (Архангельск, 06–11 июня 2011 г.). – Архангельск, 2011. – С. 180–182.
- Песня Д. С., Серов Д. А., Вакорин С. А., Прохорова И. М. Исследование токсического, митозмодифицирующего и мутагенного действия борщевика Сосновского // Ярославский педагогический вестник. – 2011. – № 4. – С. 93–98.
- Прайор У. Роль свободнорадикальных реакций в биологических системах // Свободные радикалы в биологии. – М.: Мир, 1979. – Т. 1. – С. 13–67.
- Сащиперова И. Ф. Борщевика флоры СССР – новые кормовые растения: перспективы использования в народном хозяйстве. – Л.: Наука, 1984. – 218 с.
- Симонов Г. А., Никульников В. С., Зотеев В. С. Борщевик Сосновского – злостный засоритель полей // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия «Естественные, технические и медицинские науки». – 2011. – № 3. – С. 324–326.
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kolgimet.ru/monitoring-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/centr-monitoringa-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/osobennosti-zagrzaznenija/> (просмотрено 27.09.2024 17:00).
- Шретер А. И., Трофимова И. А., Руденская Р. Н. Биологически активные вещества растительного происхождения. – М.: Наука, 2002. – 430 с.

Dmitruk A. A., Zhirov V. K. Distribution, Danger and Morphological Variability of Sosnovsky's Hogweed in Industrialized Towns of the Murmansk Region // Ekosistemy. 2024. Iss. 39. P. 34-45.

Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) presents a considerable ecological threat due to its elevated concentration of toxic compounds, particularly furanocoumarins. These compounds heighten human sensitivity to ultraviolet (UV) radiation, resulting in burns and systemic allergic reactions. Additionally, they disrupt mitotic activity in cells and exhibit mutagenic properties. Furthermore, furanocoumarins may exacerbate the toxic effects of harmful chemical substances in industrially developed areas, owing to their capacity stimulate free radical oxidation (SRO) processes. The authors studied the places with the greatest accumulation of Sosnovsky's hogweed thickets in Murmansk, Monchegorsk, Kirovsk and Kandalaksha to assess its potential threat in the central settlements of the Murmansk region, which exhibit varying levels of pollution from industrial waste while maintaining similar levels of pollution from exhaust emissions of major roadways. The areas of thickets and their distance to the most polluted intersections of highways and main industrial enterprises were determined. According to N. P. Krenke theory of cyclic aging of plants, variability of leaf shape and density of Sosnovsky's hogweed thickets clearly indicate an acceleration of aging processes. This finding suggests that the synergistic effects of *Heracleum sosnowskyi* toxicity are more closely related to the interaction of its volatile metabolites with industrial emissions than with the exhaust gases from motor vehicles. A morphological analysis of Sosnovsky's hogweed in proximity to industrial enterprises will facilitate a more comprehensive assessment of the ecological conditions in industrial cities within the Polar Region.

Key words: Sosnovsky's hogweed, furanocoumarins, toxicity, SRO, anthropogenic pollution, complex action, morphotype, physiological age, clustering, allelopathic effect, assessment, monitoring.

*Поступила в редакцию 17.07.24
Принята к печати 08.10.24*