

*На правах рукописи*

**Северюхина Ольга Александровна**

**РЕПРОДУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
*TARAXACUM OFFICINALE* S.L. В УСЛОВИЯХ ХИМИЧЕСКОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ**

**03.00.16 - экология**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Екатеринбург – 2004**

Работа выполнена в Институте экологии растений и животных Уральского отделения РАН

**Научный руководитель:** доктор биологических наук,  
профессор Безель Виктор Сергеевич

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук,  
профессор Глотов Николай Васильевич  
доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Петрова Ирина Владимировна

**Ведущая организация:** Уральский Государственный  
университет им. А.М. Горького

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2004 г. в \_\_\_ часов на заседании  
Диссертационного совета Д 004.005.01 при Институте экологии растений и  
животных УрО РАН по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии  
растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук

Нифонтова М.Г.

**Актуальность темы.** Проблема устойчивости природных популяций к токсическому загрязнению окружающей среды особенно остро стоит в условиях функционирования таких отраслей промышленности как черная и цветная металлургия, химическая промышленность и др. Несомненно, воздействие выбросов данных отраслей промышленности должно негативно сказываться на одной из центральных функций жизни – воспроизводстве (Мамаев, Шкарлет, 1971; Поповичев, 1980; Федотов и др., 1983; Черненькова, Сизов, 1986; Ставрова, 1990а; Комплексная..., 1992; Mrkva, 1969; Houston, Dochinger, 1977; Thoubis, 1990). Устойчивость природных популяций в условиях техногенного загрязнения среды обеспечивается адаптационными возможностями как отдельных организмов, так и популяционными механизмами в целом (Алексеева-Попова и др., 1983, 1984; Безель и др., 1994; Wong, 1982). Последнее может реализовываться через репродуктивную сферу, реакция которой на химический стресс, в конечном счете, и определяет стабильное функционирование популяций. Семенная продуктивность – один из наиболее важных показателей, характеризующих роль вида в фитоценозе. Величина семенной продуктивности является выражением адаптации растений к условиям среды (Ходачек, 1970).

Несмотря на многочисленные исследования, посвященные вопросам влияния техногенных воздействий на растительность, проблема эта остается актуальной. Сведения, касающиеся состояния репродуктивного воспроизводства представителей травянистой флоры в зонах промышленного загрязнения, нельзя считать исчерпывающими. Ограничена и информация об адаптационных возможностях и устойчивости отдельных видов, а также о характере реакции природных популяций на антропогенный пресс.

В связи с этим **целью** данного исследования было изучение репродуктивных особенностей *Taraxacum officinale* s.l., произрастающих в условиях техногенного загрязнения среды.

**Задачи исследования:**

1. оценка функционального состояния мужского гаметофита *Taraxacum officinale* s.l.;
2. характеристика семенной продуктивности одуванчика лекарственного;
3. оценка жизнеспособности семенного потомства *Taraxacum officinale* s.l.

в условиях химического загрязнения среды.

**Научная новизна.** Впервые проведено комплексное исследование репродуктивных особенностей *Taraxacum officinale* s.l., произрастающих в градиенте токсической нагрузки. Выявлены стратегии адаптации популяций одуванчика лекарственного к техногенному загрязнению среды. Показаны особенности сезонной динамики репродуктивных показателей *Taraxacum officinale* s.l. при различном уровне загрязнения.

**Практическая значимость работы.** Выявленные механизмы приспособления растений к токсическому стрессу необходимы для выдвижения предположений о путях развития растительного покрова в загрязненных районах и разработки подходов к его сохранению. Материалы работы могут быть использованы при подготовке спецкурсов в высших учебных заведениях.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Семенная продуктивность и жизнеспособность семенного потомства одуванчика лекарственного, произрастающего в условиях максимального загрязнения, в отдельные годы значительно выше по сравнению с фоновыми популяциями, в другие сезоны – не отличается от таковых. Для популяций импактных территорий характерна дифференциация особей на высоко – и низкопродуктивные, а также неоднородность семенного потомства.

2. Выявлены различия между морфологическими формами одуванчика: показатели семенной продуктивности и жизнеспособности потомства в градиенте токсической нагрузки у особей *T. off. f. pectinatiforme* выше по сравнению с *T. off. f. dahlstedtii*.

3. Репродуктивная сфера приспособленных к химическому загрязнению ценопопуляции в меньшей степени реагирует на изменение погодных условий сезона, чем фоновых.

**Апробация работы.** Результаты исследований были представлены на конференциях молодых ученых Института экологии растений и животных (Екатеринбург, 2001, 2002, 2003, 2004 гг.); международной конференции «Экологическая ботаника» (Сыктывкар, 2002), VI Всероссийском популяционном семинаре «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной экологии» (Нижний Тагил, 2002), молодежной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2003), международных конференциях «Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития» (Донецк, 2003) и «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2004).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 работ.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов и приложения. Диссертация изложена на 122 машинописных листах, включает 35 рисунков и 29 таблиц. Список использованной литературы включает 251 источник, в том числе 40 на иностранных языках.

## **Глава 1. Характеристика района исследования. Материал и методы.**

### **1.1. Физико-географическая характеристика района исследования**

В разделе дается физико-географическая характеристика района исследования.

### **1.2. Экологическая характеристика района исследования**

Приводится экологическая характеристика района исследования – г. Нижний Тагил Свердловской области.

### **1.3. Характеристика участков исследования**

Исследования проводились в период 2000-2003 гг. в районе крупного промышленного центра Свердловской области г. Нижний Тагил. Исследованы семь ценопопуляций *T. officinale* s.l., произрастающие на участках с различным

уровнем техногенного воздействия. Участки площадью около 1200 м<sup>2</sup> каждый располагались на различном расстоянии от основного источника аэротехногенного загрязнения – Нижнетагильского металлургического комбината. Суммарная токсическая нагрузка, оцененная по содержанию тяжелых металлов в почве (Zn, Cu, Pb, Cd и др.) была выражена в относительных единицах и варьировала от 1 до 33. В соответствии с уровнем токсической нагрузки все исследованные ценопопуляции были разделены на фоновую (1 отн. ед), буферные (3,65-4,0 и 6,50-8,38 отн. ед.) и импактную (33 отн. ед.). Геоботанические и почвенные условия на всех участках сходные (Безель и др., 1998; Жуйкова и др., 1999).

#### **1.4. Характеристика сезонов исследования**

В работе при анализе результатов принимали во внимание не только влияние токсической нагрузки, но и температурные условия вегетационных сезонов исследования 2000 – 2003 гг.

#### **1.5. Характеристика объекта исследования – одуванчика лекарственного**

Объектом исследования были ценопопуляции одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* s.l. – многолетнего, стержнекорневого поликарпика (Определитель..., 1994). По типу полового размножения – это факультативный апомикт, триплоид. Вид полиморфный. Ранее установлено, что в структуре исследуемых ценопопуляций представлены две формы *T. off. f. dahlstedtii* Lindb. fil. и *T. off. f. pectinatiforme* Lindb. fil., которые в генеративном состоянии четко различаются морфологически (Безель и др., 1998; Жуйкова, 1999).

#### **1.6. Методический аспект работы**

Фертильность свежесобранной пыльцы определяли с использованием стандартной ацетокарминовой методики (Дженсен, 1965; Абрамова, Карлинский, 1968; Паушева, 1974). Всего было проанализировано 10,5 тыс. полей зрения. Размеры пыльцы определяли с помощью окуляр - микрометра. В каждом варианте измеряли не менее 40 зерен. Жизнеспособность пыльцы

определяли путем ее проращивания на искусственных средах и на рыльцах пестиков (Абрамова, Карлинский, 1968; Паушева, 1974; Шварцман, 1986).

Изучена семенная продуктивность 990 особей одуванчика лекарственного по следующим показателям: число генеративных побегов на растение, общее количество, количество выполненных и невыполненных семян в корзинке и на растение, масса семян. Расчет показателей средней и реальной семенной продуктивности производили с использованием методов, изложенных в работах Т.А. Работнова (1950), И.В. Вайнагия (1974) и Е.А. Ходачек (1970).

Для изучения исходного качества семенного потомства растений *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* из разных по уровню токсической нагрузки местообитаний проводили проращивание на дистиллированной воде. Для определения реакции семенного потомства исследуемых форм одуванчика на содержание в субстрате различных концентраций токсикантов его проращивали на почве, собранной с мест произрастания материнских растений.

Статистическую обработку данных проводили с использованием дисперсионного, дискриминантного, корреляционного анализов, метода множественных сравнений Шеффе (S-метод), критерия  $\chi^2$  (Плохинский, 1960; Гласс, Стенли, 1976; Зайцев, 1984; Лакин, 1990).

## **Глава 2. Особенности функционального состояния мужского гаметофита**

### ***Taraxacum officinale* s.l. в условиях химического загрязнения среды**

#### **2.1. Особенности пыльцы растений в условиях экологического стресса (обзор проблемы)**

На основе анализа литературных данных приводится характеристика состояния пыльцы растений в условиях техногенного загрязнения. Дается краткий обзор особенностей пыльцы апомиктических видов.

#### **2.2. Морфологические особенности и оплодотворяющая способность пыльцы *T. officinale* s.l. из ценопопуляций, произрастающих в градиенте токсической нагрузки**

Исследуемые морфологические формы одуванчика характеризуются хорошо развитым андроцеом и достаточно высоким обилием пыльцы, причем

различий между популяциями, произрастающим в градиенте токсической нагрузки по данному показателю не установлено.

При изучении фертильности (оплодотворяющей способности) пыльцы двух морфологических форм *T. officinale* s.l. показано, что данный показатель варьирует от 21 до 97%. Выявлена зависимость между изучаемым показателем и химическим загрязнением: с ростом загрязнения на участках доля фертильной пыльцы у *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* достоверно снижается ( $P < 0,001$ ). Соответственно, при уменьшении фертильной пыльцы, возрастает доля стерильных пыльцевых зерен у исследуемых форм на загрязненных участках (рис. 1).

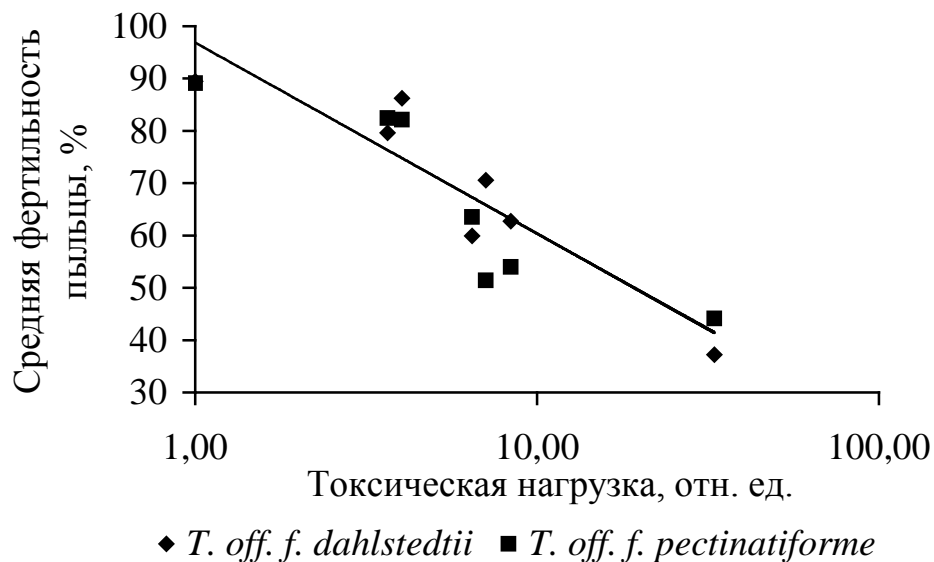


Рис. 1. Зависимость фертильности пыльцы исследуемых морфологических форм от уровня химического загрязнения

При анализе частоты встречаемости растений с разной фертильностью пыльцы установлено, что фоновые ценопопуляции представлены более однородной выборкой. Большую долю в этих популяциях составляют особи с высоким уровнем фертильности пыльцы на растение (75–95%). Ценопопуляции буферных и импактных территорий более гетерогенны по изучаемому показателю.



Размеры фертильной пыльцы *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* из ценопопуляций с разным уровнем загрязнения почв варьируют от 23,6 до 53,9 мкм. В градиенте токсической нагрузки с увеличением загрязнения средние размеры пыльцы у *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* уменьшаются, причем у последней формы это выражено сильнее ( $P < 0,001$ ).

Сравнение исследуемых морфологических форм, произрастающих на максимально загрязненном участке, показало, что у растений *T. off. f. dahlstedtii* пыльца крупнее, чем у *T. off. f. pectinatiforme* ( $P < 0,01$ ).

Анализ изменчивости размеров пыльцевых зерен также выявил влияние химического загрязнения на исследуемый показатель, которое проявляется в элиминации крупных пыльцевых зерен у обеих морфологических форм одуванчика.

По мере увеличения загрязнения на участках у растений одуванчика лекарственного возрастает показатель дефектности пыльцы, который варьирует от 8-9% в условиях минимального загрязнения до 55-60% в условиях максимального.

### **2.3. Жизнеспособность пыльцы *T. officinale* s.l. в условиях токсического загрязнения среды**

Кроме морфологических характеристик чувствительным показателем к действию промышленного загрязнения является процесс прорастания пыльцы, т.е. ее жизнеспособность. Проращивание пыльцы исследуемых форм одуванчика проводили: методом висячей капли с использованием различных концентраций сахарозы, с добавлением разных концентраций стимулирующих кислот (лимонной или борной), проращиванием в чашках Петри и на рыльцах пестиков. Показано, что пыльца *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* нежизнеспособна.

Таким образом, химическое загрязнение приводит к увеличению гетерогенности ценопопуляции по вышеперечисленным показателям и появлению в ней значительной доли растений с низкой фертильностью пыльцы. Состояние мужского гаметофита одуванчика лекарственного можно

рассматривать только в качестве диагностического, а не функционального показателя, т.к. снижение доли фертильной пыльцы для *T. officinale* s.l., имеющего апомиктичный способ размножения, не оказывает влияния на семенное возобновление.

### **Глава 3. Характеристика семенной продуктивности *Taraxacum officinale* s.l., произрастающего в условиях токсического загрязнения**

#### **3.1. Семенная продуктивность и ее зависимость от факторов среды (обзор проблемы)**

В разделе на основе анализа литературных данных дается представление о семенной продуктивности растений, рассматриваются различные подходы к ее определению. Рассмотрен вопрос об особенностях семенной продуктивности растений, произрастающих в условиях токсического загрязнения среды, и зависимости данного показателя от погодных условий вегетационного сезона.

#### **3.2. Характеристика морфологических показателей репродуктивной сферы двух форм одуванчика**

Поскольку состояние материнских растений определяет семенную продуктивность, то был проведен анализ морфологических показателей генеративной сферы средневозрастных особей *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* в градиенте токсической нагрузки. Длина и диаметр цветоносов, диаметр корзинки у основания и ее высота у исследуемых форм одуванчика не зависят от уровня токсической нагрузки на участках и не изменяются под влиянием условий вегетационного сезона.

#### **3.3. Характеристика семенной продуктивности *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme*, произрастающих в градиенте химического загрязнения**

##### **3.3.1. Число генеративных побегов**

В рамках трехфакторного дисперсионного анализа установлено высокозначимое влияние токсической нагрузки на число цветоносов у *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* во все исследуемые вегетационные

сезоны ( $P < 0,001$ ). Методом множественных сравнений Шеффе (S-метод) для данных 2000 года показано, что количество генеративных побегов в градиенте токсической нагрузки достоверно возрастает у обеих форм ( $P < 0,05$ ). На участках со средним и максимальным уровнем загрязнения данный показатель у *T. off. f. pectinatiforme* выше, чем у *T. off. f. dahlstedtii*. В последующие годы влияние токсической нагрузки на исследуемый показатель у обеих форм носит менее выраженный характер.

Эти данные отражают реакцию *T. officinale* s.l. на пессимизацию условий среды. Наличие на загрязненных участках более высоко продуктивных по количеству цветоносов растений свидетельствует об исходной гетерогенности ценопопуляций *T. officinale* s.l., при которой на всех участках присутствуют особи, обладающие высокой продуктивностью. При этом на загрязненных участках сохраняется их большее количество за счет повышенной элиминации иных вариантов, что можно рассматривать в качестве одного из механизмов популяционной адаптации (Жуйкова и др., 2002).

### **3.3.2. Общее количество семян в корзинке**

Анализ общего числа семян в корзинке у обеих форм *T. officinale* s.l. показал, что данный признак во всех вариантах характеризуется низкой степенью изменчивости ( $C_v = 1,8 - 5,9\%$ ) и варьирует в среднем от 160 до 210 штук. Однонаправленного изменения данного показателя в разные вегетационные сезоны с ростом химического загрязнения не выявлено.

### **3.3.3. Количество выполненных семян в корзинке**

Количество семян в корзинке не дает полной оценки семенного воспроизводства, так как не все семена в ней могут быть качественными (полноценными).

У *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme*, произрастающих в градиенте химического загрязнения, среднее количество выполненных (полноценных) семян в корзинке во всех вариантах варьирует от 45 до 212 штук. Независимо от условий вегетационного сезона для обеих форм

*T. officinale* s.l. выявлена тенденция к снижению числа полноценных семян на одном генеративном побеге в градиенте токсической нагрузки.

### 3.3.4. Количество неполноценных семян в корзинке

По мере снижения числа полноценных семян в корзинке возрастает доля невыполненных. Процент невыполненных семян в корзинке может колебаться в разные сезоны от 15 до 30%.

### 3.3.5. Средняя семенная продуктивность особи

Средняя семенная продуктивность растений напрямую зависит от количества генеративных побегов и от числа семян в корзинке, формируемых особью. Общее число семян на растение варьирует у обеих форм в разные вегетационные сезоны в среднем от 800 до 3000 штук на особь.

Выявлена зависимость средней семенной продуктивности от уровня химического загрязнения (рис. 2).

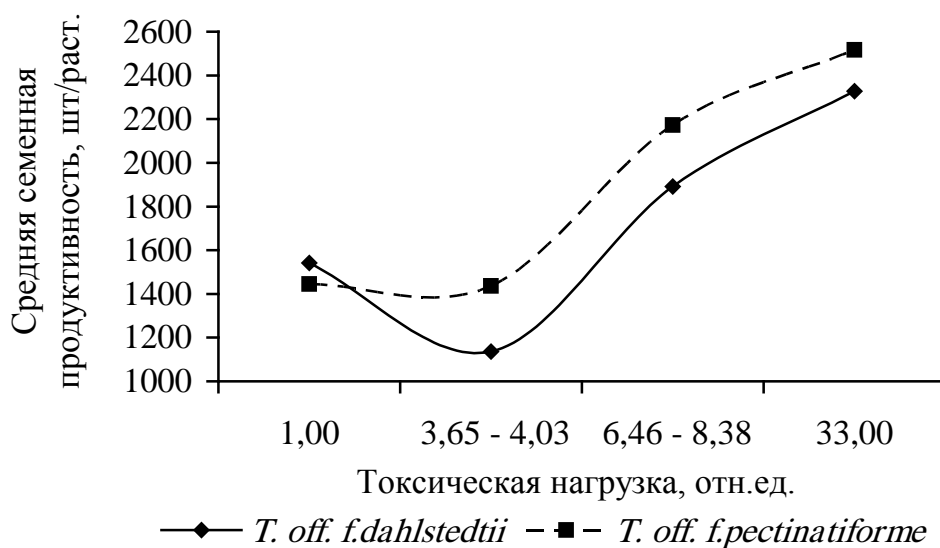


Рис. 2. Зависимость средней семенной продуктивности у *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* от токсической нагрузки в 2000 г.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверное увеличение исследуемого показателя в градиенте токсической нагрузки в 2000 г. ( $P < 0,001$ ). В остальные сезоны подобная зависимость выражена слабо, однако особи импактной ценопопуляции не уступают по количеству продуцируемых семян растениям фоновой зоны.

Высокие значения общего количества семян на растение при максимальном уровне загрязнения обеспечивается за счет увеличения доли высокопродуктивных растений. Анализ частоты встречаемости растений с различной семенной продуктивностью на фоновых и импактных участках показал, что в условиях максимального химического загрязнения в ценопопуляциях обеих форм выявлена дифференциация выборки по средней семенной продуктивности. Наряду с низкопродуктивными особями встречаются и высокопродуктивные (рис. 3).

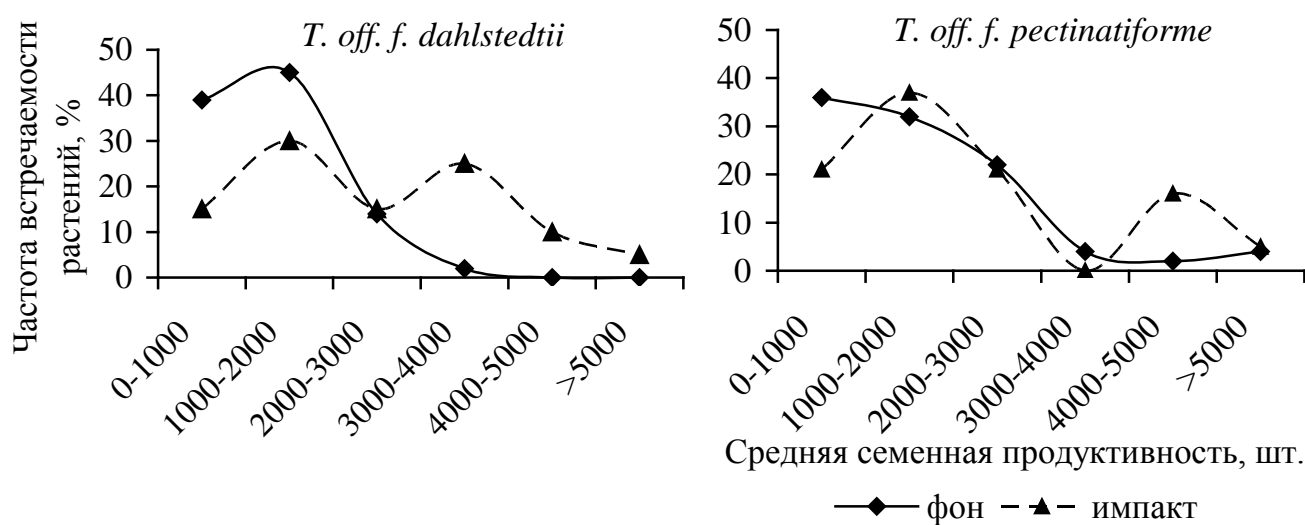


Рис. 3. Частота встречаемости растений с разным количеством семян на особь

Стрессовые воздействия, связанные с химическим загрязнением, вероятно, привели к элиминации низкопродуктивных растений, увеличивая долю высокопродуктивных (Жуйкова и др., 2002).

### 3.3.6. Реальная семенная продуктивность (количество выполненных семян на растение)

Число полноценных семян на особь у двух морфологических форм *T. officinale* s.l. в градиенте загрязнения варьирует в среднем от 400 до 2000 штук.

При обобщении данных за весь период исследования методом множественных сравнений Шеффе показано, что число выполненных семян на

растение у *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* на буферном и импактном участках достоверное выше, чем на остальных ( $P < 0,05$ ).

### **3.3.7. Масса 1000 штук выполненных семян**

Масса выполненных семян свидетельствует о запасах пластического вещества, что в дальнейшем определяет жизнеспособность потомства. Установлено, что диапазон изменчивости массы 1000 шт. выполненных семян для фоновой ценопопуляции составил 0,10-0,51 г, а для импактной 0,27-0,66 г. При объединении данных за все вегетационные сезоны установлено, что по мере возрастания химического загрязнения на участках наблюдается увеличение массы выполненных семян у обеих форм одуванчика ( $P < 0,01$ ).

Проведено сравнение частоты встречаемости особей с разной массой выполненных семян. Распределение растений фоновой выборки близко к нормальному. Наиболее часто встречаются растения с массой 0,32 – 0,40 г. Импактная популяция характеризуется отрицательным эксцессом кривой распределения с модами в области более высоких значений массы выполненных семян.

### **3.4. Различия между морфологическими формами *T. officinale* s.l. по показателям семенной продуктивности**

Установлены высокосignимые различия между морфологическими формами *T. officinale* s.l. по ряду показателей семенной продуктивности: количество цветоносов, общее число семян в корзинке, средняя семенная продуктивность у *T. off. f. pectinatiforme* выше, чем у *T. off. f. dahlstedtii* ( $P < 0,01$ ). Причем степень близости параметров продуктивности, оцененная по величине значения  $F$  – критерия, на всех исследуемых территориях примерно одинаковая.

### **3.5. Различия между вегетационными сезонами исследований по показателям семенной продуктивности**

Методом дисперсионного анализа показано высокосignимое влияние условий вегетационного сезона на показатели семенной продуктивности особей исследуемых форм одуванчика ( $P < 0,001$ ). Для установления степени близости

показателей семенной продуктивности обеих форм *T. officinale* s.l. в разные вегетационные сезоны (2000, 2001, 2002 и 2003 гг.) в зависимости от градиента загрязнения проведен дискриминантный анализ, где в качестве группирующей переменной использован фактор года. Наибольшие различия между сезонами по совокупности показателей семенной продуктивности (количество цветоносов, общее количество и число выполненных семян в корзинке, условно-реальная и реальная семенная продуктивность, масса 1000 штук выполненных семян) для обеих форм выявлены на фоновом участке вдоль первой дискриминантной канонической функции (рис. 4а). В условиях среднего и максимального уровня загрязнения различия между вегетационными сезонами по совокупности показателей семенной продуктивности носят менее выраженный характер (рис. 4б).

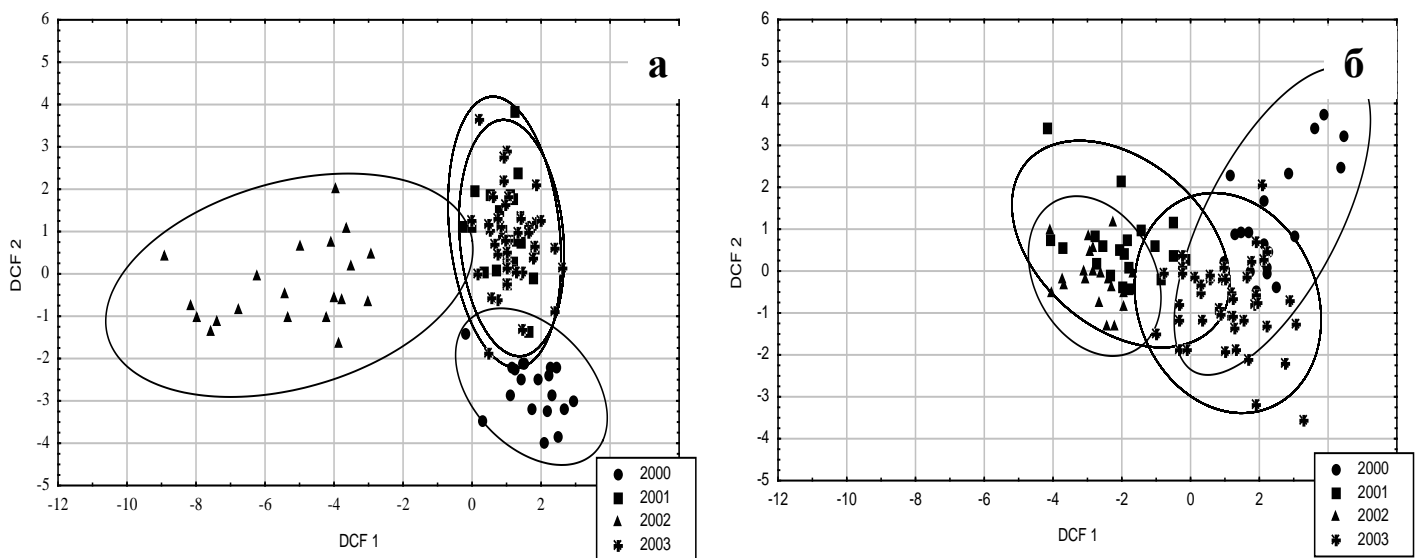


Рис. 4. Дискриминантный анализ показателей семенной продуктивности *T. officinale* s.l. в разные вегетационные сезоны в условиях минимального (а) и максимального (б) уровня загрязнения (группирующий фактор – вегетационный сезон)

Таким образом, показатели семенной продуктивности в разные вегетационные сезоны более близки при высоком уровне загрязнения, на фоновой территории различия этих показателей максимальны.

## **Глава 4. Оценка жизнеспособности семенного потомства *Taraxacum officinale* s.l., произрастающего в условиях химического загрязнения среды**

### **4.1. Жизнеспособность семенного потомства растений природных популяций (обзор проблемы)**

Представлен обзор литературы, касающийся показателей жизнеспособности семенного потомства. Рассмотрены реакции потомства растений природных ценопопуляций, длительное время находящихся под действием промышленных загрязнений.

### **4.2. Оценка показателей начальных этапов онтогенеза проростков двух морфологических форм *Taraxacum officinale* s.l. из ценопопуляций, в разной степени подверженных химическому загрязнению**

Для оценки исходного качества потомства одуванчика его проращивали на дистиллированной воде; для оценки влияния внешних условий на показатели жизнеспособности потомства проводили проращивание на почве, собранной с мест произрастания материнских растений.

При проращивании семенного потомства на дистиллированной воде показано, что проростки *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* фоновых ценопопуляций характеризуются наименьшими значениями энергии прорастания, всхожести и выживаемости по сравнению с таковыми буферных и импактной зон. Семенное потомство растений одуванчика с участков со среднего и максимального уровня загрязнения имеют более высокие и примерно одинаковые значения показателей.

Различия в выживаемости семенного потомства фонового и импактного участков могут быть обусловлены различной частотой встречаемости проростков. На примере семенного потомства *T. off. f. dahlstedtii* показано распределение проростков с различной выживаемостью в условиях минимального и максимального уровня химического загрязнения (рис. 5).



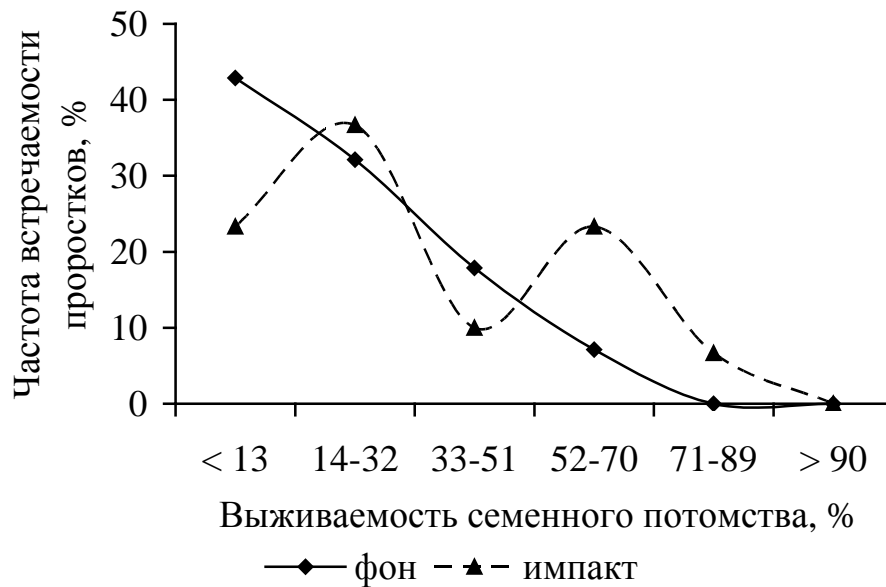


Рис. 5. Частота встречаемости проростков *T. off. f. dahlstedtii* фонового и импактного участков с различной выживаемостью при проращивании на дистиллированной воде

Потомство фоновой ценопопуляции представлено более однородной выборкой. Большую долю в ней составляют проростки с низкой выживаемостью (10 – 50%). Среди семенного потомства импактной ценопопуляции наблюдается дифференциация по исследуемому показателю: наряду с проростками, имеющими низкую выживаемость, встречаются и проростки с высокими значениями показателя.

При проращивании семян на почве все показатели значительно выше по сравнению с дистиллированной водой, но зависимости от градиента в данном случае не выявлено. Возможно, это свидетельствует о наличии подавляющего действия токсикантов на семенное потомство импактной выборки.

#### 4.3. Оценка ростовых критериев проростков *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* из биотопов, характеризующихся разным уровнем загрязнения тяжелыми металлами

##### 4.3.1. Длина корня

При оценке исходного качества семенного потомства минимальные значения длины главного корня проростков исследуемых форм *T. officinale* s.l.

выявлены у потомства фоновой зоны. Для проростков буферных и импактной выборок характерны более высокие и примерно одинаковые значения показателей.

При проращивании семян на почве установлено значительное возрастание исследуемого показателя у проростков фоновой и буферных выборок. Однако при максимальном загрязнении почвы наблюдается резкое снижение длины главного корня проростков (рис. 6).

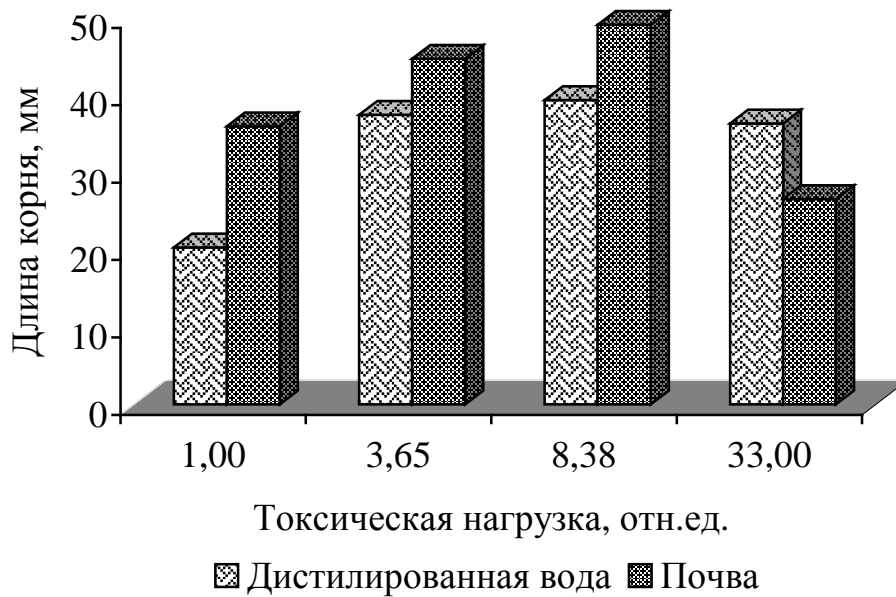


Рис. 6. Зависимость длины главного корня проростков от градиента токсической нагрузки

Различия в средних значениях изучаемого показателя потомства фоновой и импактной выборок при различных условиях проращивания обусловлены частотой встречаемости проростков с разной длиной корня. При проращивании на дистиллированной воде мода распределения семян фоновой выборки сдвинута в сторону низких значений длины корня. Модальный класс буферной и импактной выборок смещен в сторону высоких значений показателя (рис. 7а). При проращивании на почве наблюдается обратная картина (рис. 7б).

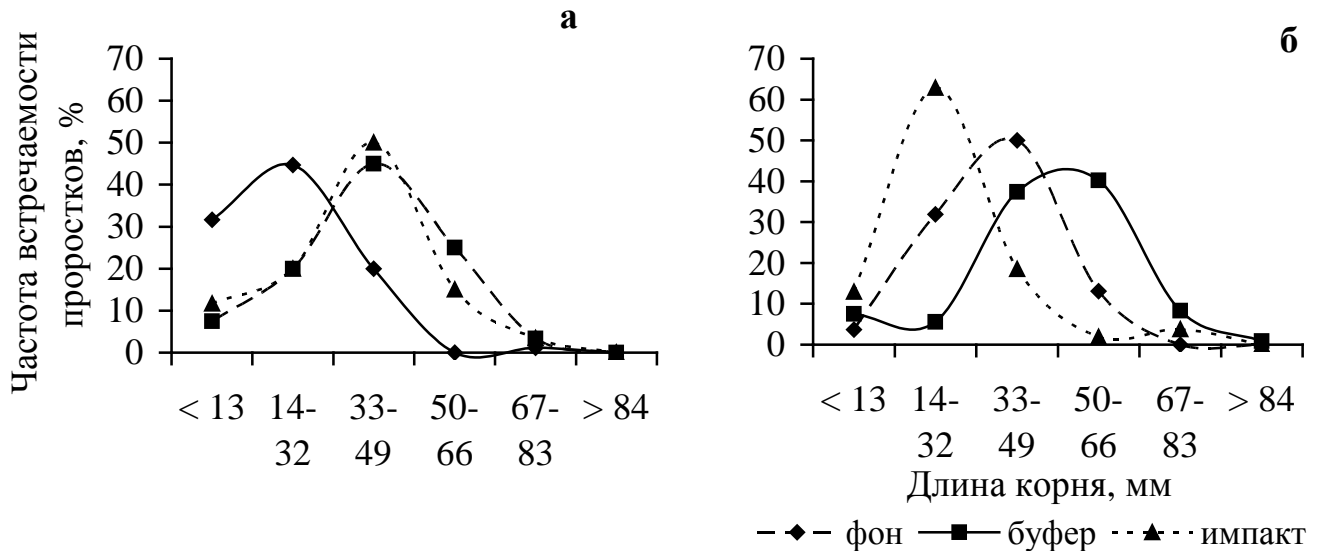


Рис. 7. Характер распределения проростков с разной длиной корня при проращивании на дистиллированной воде (а) и на почве (б)

#### 4.3.2. Листообразование

Количество проростков, давших к концу опыта один или несколько настоящих листьев, составляет в среднем 75 – 90%. Анализ числа проростков, давших настоящий лист, при проращивании на дистиллированной воде показал, что минимальные значения показателя отмечены у потомства фоновой выборки ( $P < 0,01$ ); при проращивании семян на почве не установлено зависимости показателя от градиента токсической нагрузки. Переход к автотрофному способу питания при проращивании семенного потомства на почве происходит быстрее и носит массовый характер.

#### 4.4. Нарушения развития проростков *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme*, произрастающих в градиенте токсической нагрузки

По мере роста химического загрязнения участков отмечается увеличение доли растений, имеющих морфологические, хлорофильные и некротические нарушения подземной и надземной частей проростка, что является результатом токсического действия ионов тяжелых металлов и особенно четко проявляется при проращивании семенного потомства на почве.

#### 4.5. Различия между морфологическими формами *T. officinale* s.l. по показателям жизнеспособности семенного потомства

Для выявления различий между формами *T. officinale* s.l. по основным

критериям жизнеспособности при проращивании разными способами и в зависимости от уровня химического загрязнения проведен однофакторный дисперсионный анализ отдельно для каждой зоны исследования (фоновой, буферных и импактной). Установлено, что при проращивании семенного потомства на дистиллированной воде различия между формами проявляются только у потомства фоновой выборки по показателям начальных этапов онтогенеза (энергия прорастания, всхожесть семян и выживаемость проростков). При проращивании на почве различия между формами четко выражены у потомства буферных и импактной зон на более поздних этапах развития проростков по показателям «длина корня» и «листообразование».

#### 4.6. Различия между вегетационными сезонами по показателям жизнеспособности семенного потомства *T. officinale* s.l.

Близость рассмотренных ранее показателей семенной продуктивности, а также показателей жизнеспособности потомства в разные сезоны в градиенте токсической нагрузки можно выразить с использованием интегрального критерия – средних по всем сезонам квадратам расстояний Махаланобиса (рис. 8).

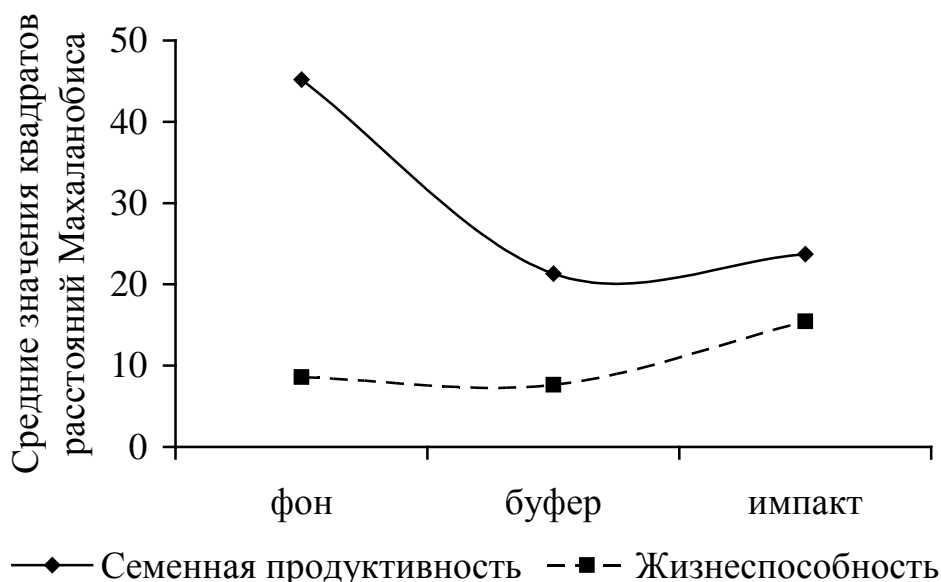


Рис. 8. Средние значения квадратов расстояний Махаланобиса, характеризующие близость показателей семенной продуктивности и жизнеспособности потомства *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* в разные вегетационные сезоны в градиенте токсической нагрузки

Таким образом, показатели семенной продуктивности материнских растений максимально реагируют на изменения условий вегетационного сезона при минимальном уровне загрязнения почв тяжелыми металлами, в отличие от жизнеспособности семенного потомства, которая оказывается более чувствительным к неблагоприятному фактору года при максимальном уровне токсической нагрузки.

Средние значения квадратов Махаланобиса по исследуемым параметрам жизнеспособности значительно ниже по сравнению с таковыми значениями критериев семенной продуктивности, что свидетельствует о их меньшей зависимости от метеорологических условий вегетационных сезонов. Таким образом, показатели репродуктивной сферы материнских растений исследуемых форм *T. officinale* s.l. в большей степени зависят от погодных условий в период формирования семенного потомства, чем показатели жизнеспособности уже сформированного ими потомства.

## ВЫВОДЫ

1. В градиенте токсической нагрузки у особей *T. officinale* s.l. отмечено снижение оплодотворяющей способности пыльцы. Химическое загрязнение приводит к увеличению гетерогенности ценопопуляции и появлению в ней значительной доли растений с низкой фертильностью пыльцы. Влияние токсической нагрузки проявляется также в элиминации особей с крупными пыльцевыми зернами.

2. Семенная продуктивность растений одуванчика, произрастающих в условиях максимального загрязнения в отдельные годы значительно выше по сравнению с фоновыми популяциями, в другие сезоны – не отличается от таковых. Для популяций импактных территорий характерна дифференциация особей на высоко – и низкопродуктивные.

3. При определении исходного качества семенного потомства *T. officinale* s.l. путем проращивания на дистиллированной воде минимальные значения показателей жизнеспособности выявлены у проростков фоновой зоны.

Потомство буферных и импактной ценопопуляций характеризуются более высокими и примерно одинаковыми значениями показателей.

4. При проращивании семенного потомства *T. officinale* s.l. на почве с мест произрастания материнских растений зависимость от токсической нагрузки установлена только для показателя «длина корня проростка». Высокие концентрации токсикантов в почве максимально загрязненной зоны приводят к значительному снижению данного показателя, а также вызывают увеличение доли некротических, хлорофильных и морфологических повреждений проростков.

5. Влияние погодных условий вегетационного сезона в большей степени проявляется на показателях семенной продуктивности, в меньшей – на критериях жизнеспособности семенного потомства. Наибольшее влияние на показатели продуктивности у обеих форм фактор года оказывает в условиях минимального уровня загрязнения, на показатели жизнеспособности – при максимальном уровне токсической нагрузки.

6. Выявлены различия между морфологическими формами одуванчика по показателям семенной продуктивности и жизнеспособности потомства в градиенте токсической нагрузки. Особи *T. off. f. pectinatiforme* продуцируют большее количество семян и показатели их жизнеспособности значительно выше по сравнению с *T. off. f. dahlstedtii*.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Жуйкова Т.В., Северюхина О.А. Репродуктивная структура *Taraxacum officinale* s.l. в условиях техногенного загрязнения среды // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии: Материалы конф. молодых ученых, 23-27 апр. 2001 г. Екатеринбург, 2001. Вып. 2. С. 79-83.

2. Северюхина О.А., Жуйкова Т.В. Реакция генеративной сферы *Taraxacum officinale* s.l. на действие факторов окружающей среды // Биота горных территорий: история и современное состояние: Материалы конф. молодых ученых, 15-19 апр. 2002 г. Екатеринбург, 2002. С. 189-193.

3. Жуйкова Т.В., Безель В.С., Позолотина В.Н., Северюхина О.А. Репродуктивные возможности растений в градиенте химического загрязнения среды // Экология. 2002. № 6. С. 432-437.

4. Северюхина О.А., Жуйкова Т.В. Состояние пыльцы апомиктичного вида *Taraxacum officinale* s.l. в условиях химического загрязнения // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы докл. X молодеж. науч. конф. (Сыктывкар, 15-17 апр. 2003 г). Сыктывкар, 2003. С. 191-192.

5. Северюхина О.А., Жуйкова Т.В., Гилимшина Л.Л. Устойчивость природных ценопопуляций в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами (на примере семенного потомства *Taraxacum officinale* s.l.) // Промислова ботаника: стан та перспективи розвитку: Матеріали IV Міжнар. наук. конф. (Донецк, вересень 2003 г). Донецьк, 2003. С. 147-150.

6. Severyukhina O.A. Viability of seed progeny of herbs in conditions of toxic environment pollution (on example *Taraxacum officinale* s.l.) // Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики (EESFEA - 2003): Материалы II Междунар. конф., посвящ. памяти акад. РАН В.Е. Зуева. Томск, 2003. Т. 2. С. 50-52.

7. Северюхина О.А., Жуйкова Т.В. Функциональное состояние пыльцы *Taraxacum officinale* s.l. в условиях химического загрязнения среды // Проблемы глобальной и региональной экологии: Материалы конф. молодых ученых, 31 марта – 4 апр. 2003 г. Екатеринбург, 2003. С. 233-241.

8. Северюхина О.А. Особенности воспроизводства травянистых растений в условиях химического загрязнения // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 28-31 окт. 2003 г. Минск, 2003а. С. 211-212.

9. Северюхина О.А. Особенности прорастания семян и развития проростков *Taraxacum officinale* s.l. из популяций техногенно загрязненных территорий // Актуальные проблемы ботаники и экологии: Материалы конф. молодых ученых-ботаников Украины (26-29 сент. 2003 г). Одесса, 2003. С. 89-90.

10. Северюхина О.А., Жуйкова Т.В. Оценка жизнеспособности семенного потомства *Taraxacum officinale* s.l. в условиях естественного почвенного фона // Методы популяционной биологии: Сб. материалов VII Всерос. популяц. семинара (Сыктывкар, 16 – 21 февр. 2004 г). Сыктывкар, 2004. Ч. 1. С. 194-196.

11. Северюхина О.А. Семенная продуктивность и качество потомства *Taraxacum officinale* s.l. в условиях промышленного загрязнения // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии. Томск, 2004. С. 149-151.