

На правах рукописи



Селина Екатерина Евгеньевна

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ В ДОЛИНАХ МАЛЫХ РЕК

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Саратов – 2011

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет»
на кафедре «Экология и безопасность жизнедеятельности»

Научный руководитель	доктор биологических наук, профессор Иванов Александр Иванович
Официальные оппоненты:	доктор биологических наук, профессор Морозова Елена Евгеньевна
	кандидат биологических наук, доцент Новикова Любовь Александровна
Ведущая организация	ГОУ ВПО «Вятский государственный гуманитар- ный университет» (г. Киров)

Защита диссертации состоится « 17 » февраля 2011 года, в 12 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.243.13 при государственном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по адресу: 410012, ул. Астраханская, д. 83; E-mail: biosovet@sgu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского».

Автореферат разослан « 14 » января 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.А. Невский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Малые реки – важнейший компонент окружающей среды; от их состояния во многом зависит качество воды в средних и крупных реках. Долины малых рек служат убежищами для представителей разных видов животных и являются местообитаниями многих видов растений, включая редкие и охраняемые. Кроме того, многие малые реки представляют собой резерваты чистой питьевой воды, запасы которой в настоящее время неуклонно сокращаются. Несмотря на это, экосистемы их долин изучены недостаточно, как в условиях Пензенской области, так и в средней полосе европейской части России. Такое положение создает определенные трудности в организации природоохранных мероприятий в поймах малых рек. Поэтому изучение флоры и растительности, а также оценка экологического состояния долин малых рек представляет большой научный и практический интерес. Следует особо отметить, что химический анализ природных сред всегда дает достаточно относительную оценку их состояния, что объясняется ограниченными возможностями лабораторных исследований, определяющих концентрацию загрязнителей в пределах определенного перечня и диапазона чувствительности. Живые организмы, в отличие от приборного анализа, реагируют на весь комплекс негативных факторов и суммарный эффект их воздействия. Этим определяется перспективность использования методов биоиндикации и актуальность настоящего исследования.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы было изучение флоры и растительности долин малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области и оценка влияния техногенного загрязнения на морфологические и биохимические признаки растений.

В ходе выполнения исследований решались следующие задачи:

1. Определить гидрологические и гидрохимические показатели ручьев и малых рек района исследований.
2. Изучить флору и растительность сообществ пойм ручьев и малых рек и выявить виды-индикаторы химического загрязнения.
3. Определить степень накопления стресс-индуцированного пролина и характер изменения изозимного спектра пероксидазы в вегетативных органах растений в зависимости от степени техногенного загрязнения водотоков.
4. Оценить возможность использования флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев и прироста древесины ольхи клейкой (*Alnus glutinosa* L.) для оценки состояния окружающей среды.
5. Изучить возможность использования пыльцы ольхи клейкой как индикатора химического загрязнения водотоков.

Научная новизна. Впервые проведен анализ гидрологического и гидрохимического состояния малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области, а

также дана геоботаническая оценка состояния растительности долин изученных водотоков. Выявлены виды-индикаторы техногенного загрязнения водной среды путем определения содержания стресс-индуцированного пролина и изменений в изозимном спектре пероксидазы в вегетативных органах растений. Разработана шкала оценки интегрального показателя стабильности развития по величине флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев ольхи клейкой. Исследованы возможности использования пыльцы этого вида как индикатора техногенного загрязнения водотоков.

Практическая значимость. Методы оценки изменения биохимических и морфологических признаков растений под влиянием техногенного загрязнения могут быть рекомендованы к применению в системе экологического мониторинга объекта 1206 по безопасному хранению и уничтожению химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области. Сведения о редких видах растений использованы при подготовке второго издания Красной книги Пензенской области (находится в печати) и при разработке мер по охране природных комплексов долин малых рек. Материалы диссертации используются в учебном процессе в Пензенском государственном университете при преподавании курсов «Методы экологических исследований», «Общая экология», «Мониторинг природных ресурсов».

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на: VI Международной научно-практической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности» (Пенза, 2006); V Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России» (Пенза, 2007); Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы экологии» (Тула, 2007); Всероссийской научно-практической конференции «Мониторинг природных экосистем в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия» (Пенза, 2007); Всероссийской научно-практической конференции «Мониторинг природных экосистем» (Пенза, 2008); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» (Киров, 2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, одна из которых - в издании, рекомендованном Перечнем ВАК РФ.

Декларация личного участия автора. Автором собраны растительные образцы и пробы воды, проведены лабораторные исследования. Обработка полученных данных, их интерпретация, оформление проведены автором самостоятельно. В совместных публикациях доля автора составила 60-80%.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка и двух приложений. Работа содержит 147

страниц машинописного текста, включает 10 таблиц, 9 рисунков. Библиографический список включает 147 источников, в том числе 33 на иностранных языках.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Слабый уровень техногенного загрязнения не оказывает влияния на видовой состав растительных сообществ.

2. Из биохимических параметров водных и околоводных растений в качестве показателей техногенного загрязнения могут быть использованы степень накопления стресс-индуцированного пролина и изменчивость изозимных спектров пероксидазы в вегетативных органах.

3. Из морфологических признаков для оценки качества окружающей среды следует использовать показатель флуктуирующей асимметрии листьев, величину годичных приростов древесины и количество жизнеспособных пыльцевых зерен у ольхи клейкой.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследования, его практическая и теоретическая значимость; сформулированы основная цель и задачи.

Глава 1. ФИТОЦЕНОЗЫ ДОЛИН МАЛЫХ РЕК КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА; ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ (обзор литературы)

В главе представлен обзор работ отечественных и зарубежных авторов, посвященный рассмотрению фитоценозов долин малых рек, водных и околоводных растений как объектов экологического мониторинга. Дается анализ изученности проблемы изменения морфологических признаков и биохимического статуса растений в условиях техногенного загрязнения среды. Приводится характеристика геологической среды, гидрографической сети, климата, почв и растительности района исследования.

Глава 2. РАЙОНЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились в период 2006-2009 гг. в долинах малых рек бассейна р. Сура; лабораторные - на кафедре «Экология и безопасность жизнедеятельности» Пензенского государственного университета и в лаборатории Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга (РЦГЭ-КиМ) по Пензенской области ФГУ ГОСНИИЭНП МПР РФ.

Объектами исследований были лесные сообщества долин малых рек, а также ряд водных и околоводных растений: вероника поручейная (*Veronica beccabunga* L.),

таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* L.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), ольха клейкая (*Alnus glutinosa* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh). Отбор проб биоматериала для анализов проводился в долинах малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области – рр. Жданка, Инра, Круглый, Лямзай, Медоевка. Сбор пыльцы проводился во время массового цветения растений; отбор вегетативных органов – каждый месяц с начала и до окончания вегетации исследуемых растений. В качестве контрольного водоема была использована р. Сундоровка. Для изучения влияния техногенного загрязнения на данные растительные сообщества обследовалась территория, подверженная воздействию работ по уничтожению химического оружия в прошлом (50-60 гг. XX в.). За период работы было проанализировано 810 растительных образцов; из них 490 – по биохимическим показателям, 320 – по морфологическим.

Изучение состояния природных вод осуществлялось с использованием средств измерений, внесенных в Государственный реестр СИ, проверенных в соответствии с требованиями ПР 50.2.006-94 «ГСОЕИ. Порядок проведения проверки средств измерений». Автор отбирал пробы воды и анализировал полученные данные количественного химического анализа. Количественный химический анализ осуществлялся с использованием методик выполнения измерений, допущенных для целей государственного экологического контроля сотрудниками аккредитованной лаборатории (№ РОСС RU.0001.515921) РЦГЭКиМ по Пензенской области. Геоботанические описания сообществ, определение продуктивности древостоя проводились общепринятыми методами (Раменский, 1971; Корчагин, 1976). В лесных сообществах закладывались геоботанические площадки – на каждом водотоке в верхнем, среднем и нижнем течении в трехкратной повторности; видовой состав растительных сообществ исследовался маршрутным методом. Определение видов сосудистых растений проводилось по определителям растений И.А. Губанова (2002, 2003, 2004), П.Ф. Мавевского (2006). Современная номенклатура цветковых растений приведена по С.К. Черепанову (1995), мхов – по М.С. Игнатовой, Е.А. Игнатовой (2003, 2004). Содержание стресс-индуцируемого пролина в вегетативных органах растений определялось по методике Л. Бэйтса (Bates, 1973). Электрофорез пероксидазы проводился по методике Б. Дэвиса и Р. Рейсфильда (Reisfeld, 1962; Davis, 1964). Относительная активность изозимов определялась с использованием методики Е. Лиу (Liu, 1973). Для удобства анализа изозимных спектров катодные изопероксидазы по относительной электрофоретической активности (ОЭП) условно делят на три зоны: А-зона (ОЭП от 0 до 36), В-зона (от 37 до 61), С-зона (от 62 до 100). Оценка флуктуирующей асимметрии листьев растений проводилась по методике В.М. Захарова (2000). Жизнеспособность пыльцы определялась по методике В.С. Шардакова (Практикум по физиологии ..., 2003). Достоверность различий средних во всех опытах оценивали с по-

мощью критерия Стьюдента. Достоверными считались отличия при $p < 0,05$. Полученные данные обрабатывались статистически при помощи пакета Statistica-6.0.

Глава 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОТОКОВ

Автором были определены гидрологические показатели водоемов:

р. Жданка. Русло песчаное с небольшими включениями мелкого щебня. Ширина – 1,3 м, глубина – 0,13 м, скорость течения – 0,28 м/сек., расход воды в летнюю межень - 0,04 м³/сек;

р. Инра. Выход грунтовых вод, выходящий из каптажа водозабора, очень мощный. Русло песчано-каменистое с небольшими водопадами из-за перепада высот. Ширина – 0,8 м, глубина – 0,18 м, скорость течения – 0,75 м/сек, расход воды в летнюю межень – 0,11 м³/сек;

р. Круглый. Русло песчано-каменистое, сложенное крупным, хорошо промытым песком и щебнем, ширина - 1,2 м, глубина – 0,2 м, скорость течения 0,25 м/сек.; расход воды в летнюю межень - 0,06 м³/сек;

р. Лямзай. Русло песчано-каменистое, сложенное крупным, хорошо промытым песком и щебнем, ширина - 1,4 м, глубина – 0,25 м, скорость течения 0,25 м/сек., расход воды в летнюю межень 0,09 м³/сек;

р. Медоевка. Ширина 4м, максимальная глубина 50 см, скорость течения 0,3 м/с, расход воды в летнюю межень 0,24 м³/с;

р. Сундоровка. Русло песчаное, с небольшими включениями мелкого щебня. Ширина – 2,8 м, максимальная глубина – 0,9 м, скорость течения – 0,3 м/сек., расход воды в летнюю межень – 0,11 м³/сек.

В ходе исследований были зафиксированы основные стационарные источники загрязнения поверхностных и грунтовых вод. Это старые очистные сооружения, свалка ТБО и незатампонированные, неэксплуатируемые водозаборные скважины на территории в/ч 21222. Указанные объекты являются основными источниками аммонийного и нитратного азота, попадающего в грунтовые воды и ручьи. Вторым источником загрязнения водотоков является полигон, на котором проводилось уничтожение химических боеприпасов в прошлом. Он находится в юго-западной части квартала 385 Засурского лесничества Ахунского лесхоза. В этих условиях преобладает внутрпочвенный сток, с которым происходит вынос продуктов деструкции отравляющих веществ за пределы площадок. Озеро Моховое – водный полигон уничтожения химического оружия (ХО). Оно также является опасным объектом, оказывающим негативное влияние на водосборные площади изучаемых водотоков.

В ходе анализа были подсчитаны средние фоновые показатели химического состава воды изученных водотоков за 2006-2009 гг. Полученные результаты сравни-

вались с санитарно-гигиеническими нормативами качества воды «Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение от 28.04.99 г.». Использование для оценки качества воды этого документа мотивировалось тем, что половина обследованных водотоков впадает в Пензенское водохранилище, представляющее собой водоем рыбохозяйственного назначения.

Анализ показал, что все исследованные водотоки относятся к ультрапресным водам гидрокарбонатно-кальциевой группы. По классам качества воды (Гусева и др., 2000) изучаемые водотоки распределились следующим образом: р. Жданка – класс качества воды 4 («загрязненная»); рр. Круглый, Лямзья, Медоевка – класс качества воды 3 («умеренно загрязненная»); рр. Инра, Сундоровка – класс качества воды 2 («чистая»).

Р. Жданка - средние концентрации загрязняющих веществ за период 2006 – 2009 гг. составляют: азота аммонийного – 1,61 ПДК, азота нитритного – 2,37 ПДК, фенолов – 6,38 ПДК, железа – 5,18 ПДК, марганца – 2,69 ПДК, меди – 3,42 ПДК, цинка – 1,18 ПДК, мышьяка – 0,07 ПДК.

Средние концентрации загрязняющих веществ за этот период в р. Круглый составили: азота аммонийного – 1,47 ПДК, азота нитритного – 1,47 ПДК, фенолов – 4,36 ПДК, железа – 4,34 ПДК, марганца – 3,02 ПДК, меди – 2,21 ПДК, свинца – 0,33 ПДК, цинка – 0,98 ПДК, мышьяка – 0,06 ПДК.

В р. Лямзья средние концентрации загрязняющих веществ за период 2006 – 2009 гг. составили: фенолов – 3,97 ПДК, железа – 3,19 ПДК, марганца – 1,95 ПДК, меди – 2,33 ПДК, свинца – 3,77 ПДК, цинка – 1,65 ПДК, мышьяка – 0,06 ПДК.

В р. Медоевка среднее содержание азота аммонийного за период с 2006 по 2009 гг. составило 1,3 ПДК, фенолов – 3,4 ПДК, железа – 6 ПДК, марганца – 3,9 ПДК, меди – 2,1 ПДК, свинца – 7 ПДК, цинка – 1,08 ПДК, мышьяка – 0,04 ПДК.

Вода в истоках р. Инра в п. Леонидовка и в р. Сундоровка (контрольная точка) соответствует нормативам водоема рыбохозяйственного водопользования. За анализируемый период концентрация рассматриваемых веществ не превышала пределов ПДК. Р. Инра: азот аммонийный – 0,55 ПДК, азот нитритный – 0,5 ПДК, фенолы – 0,8 ПДК, железо – 0,7 ПДК, марганец – 0,8 ПДК, медь – 0,7 ПДК, цинк – 0,2 ПДК, мышьяк – 0,04 ПДК. Р. Сундоровка: азот аммонийный – 0,25 ПДК, азот нитритный – 0,03 ПДК, фенолы – 0,3 ПДК, железо – 0,7 ПДК, марганец – 0,5 ПДК, медь – 0,6 ПДК, цинк – 0,11 ПДК, мышьяк – 0,04 ПДК.

Глава 4. ФЛОРА, РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ ДОЛИН МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА Р. СУРА (ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Флора лесных сообществ долин малых рек района исследований представлена 195 видами растений, из них 24 вида относится к отделу моховидных, 3 - хвощевидных, 5 - папоротниковидных, 1 - голосеменных и 162 вида к отделу покрытосеменных растений.

Ведущую роль в исследуемой флоре сосудистых растений играют следующие 11 семейств: Роасеае (9,3%), Rosaceae (5,8%), Lamiaceae (4,7%), Ranunculaceae (4,7%), Asteraceae (4,1%), Brassicaceae (3,5%), Cyperaceae (3,5%), Apiaceae (2,9%), Potamogetonaceae (2,9%), Rubiaceae (2,9%), Salicaceae (2,9%). Всего 11 ведущих семейств объединяют 82 вида (47,9% от всех видов) и 67 родов (58,3% от всего числа родов). Наиболее богаты видами роды *Carex* L., *Galium* L., *Potamogeton* L., *Salix* L., *Rorippa* Scop., *Ranunculus* L., *Agrostis* L., *Epilobium* L., *Equisetum* L., *Juncus* L., *Rubus* L.. Одиннадцать ведущих родов объединяют 25,7% флоры. Роды, представленные одним видом, составляют 45,6% от общего числа видов флоры и 67,8% от общего числа родов; двумя видами – 24,6% от флоры и 18,3% от общего числа родов. У представителей бриофлоры наибольшее количество видов объединено в семействах *Mniaceae*, *Amblystegiaceae*, *Pylaisiaceae*. Большинство родов представлено одним видом; род *Fontinalis* Hedw. и *Dicranum* Hedw. - двумя видами, род *Plagiomnium* T. Кор. – тремя, род *Brachythecium* B. S. G. - четырьмя.

С изученными местообитаниями связаны восемь видов редких и исчезающих растений. Это волчегондик обыкновенный (*Daphne mezereum* L.), гроздовник полунный (*Botrychium lunaria* (L.) Sw.), наяда большая (*Najas major* All.), наяда малая (*N. minor* (All.)), пальчатокоренник балтийский (*Dactylorhiza longifolia* (L.) Aver), тайник яйцевидный (*Listera ovata* (L.) R. Br.), занесенные в Красную книгу Пензенской области (2002), а также фонтиналис гипновидный (*Fontinalis hypnoides* Hartm.) и противопожарный (*F. antipyretica* Hedw.), рекомендованные в её второе издание.

Как показало сравнение флористических списков долин отдельно взятых водотоков, имеющийся уровень их загрязнения не оказывает влияние на видовой состав мхов и сосудистых растений. Основными факторами, определяющими высокое видовое разнообразие, является наличие омутов и мелководных заливов при впадении в водохранилище, выходов карбонатных пород, крутизны склонов долин. Кроме того, изученные водотоки существенно отличаются по расходам воды и ширине пойм, что также оказывает влияние на флористическое разнообразие.

Для приречьевых сообществ характерны также различные по режиму увлажнения группы сосудистых растений. Преобладающая их часть относится к мезофитам - 95 видов (55,6%). Третья часть видов является гигрофитами – 53 вида (31,0%).

Эту группу составляют в основном виды следующих родов: *Alchemilla* L., *Bidens* L., *Cardamine* L., *Carex* L., *Epilobium* L., *Equisetum* L., *Impatiens* L., *Juncus* L., *Lycopus* L., *Lythrum* L., *Myosotis* L., *Phragmites* Adans., *Rorippa* Scop., *Scirpus* L., *Sium* L., *Typha* L.. Гидрофиты и гидатофиты представлены 11 (5,6%) и 10 видами (5,8%) соответственно. Гидрофиты – *Agrostis stolonifera* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Catabrosa aquatic* L., *Glyceria arundinacea* Kunth., *G. fluitans* L., *Iris pseudocorus* L., *Polygonum hydropiper* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Spirodela polyrhiza* L., *Veronica anagalis-aquatica* L., *V. beccabunga* L.. Гидатофиты представлены следующими видами – *Callitriche hermaphrodita* L., *C. palustris* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Potamogeton crispus* L., *P. gramineus* L., *P. pectinatus* L., *P. perfoliatus* L., *P. pusillus* L., а также виды редкие для Пензенской области – *Najas major* All., *N. minor* All..

По отношению к увлажнению в изученных фитоценозах выделяется ряд экологических групп мхов. Гидрофиты – полностью погруженные или плавающие моховидные. К ним относятся редкие виды для области – *Fontinalis antipyretica*, *F. hypnoides*. Гидрофиты, обитающие по берегам речек, лесных ручьев, долго стоящих луж, – *Drepanocladus sendtneri* Warnst., *Rhodobryum roseum* Hedw., *Atrichum undulatum* Hedw., *Plagiomnium cuspidatum* Hedw., *P. medium* B. S. G., *P. ellipticum* Brid., *Plagiothecium cavifolium* Brid.; на гнилой древесине, чаще погруженной в воду – *Brachythecium rivulare* B. S. G., *B. rutabulum* Hedw., *B. salebrosum* B. S. G., *Callicladium haldanianum* Crev., *Hygroamblystegium varium* Hedw., *Funaria hygrometrica* Hedw. Основания стволов деревьев, произрастающих у кромки воды заселяют – *Leptodictyum riparium* Hedw., *Rhizomnium punctatum* Hedw., *Plagiomnium cuspidatum* Hedw., на камнях у воды или камнях, погруженных в воду, развивается *Barbula convoluta* Hedw.

Растительность долин изучаемых водотоков довольно однообразна. Здесь преобладают в основном насаждения ольхи клейкой. Участие других листовенных пород зависит от увлажнения пойменных почв. В верхних частях рассматриваемые водотоки имеют максимальные уклоны русла и минимальную ширину долин. В таких условиях преобладающей ассоциацией является липоольшаник снытевокрапивный. В средних течениях водотоков уклоны русла уменьшаются, долина становится шире, а почва более влажной. Растительные ассоциации становятся более разнообразными: клейкоольшаник крапивный – на рр. Круглый, Лямзяй, Медоевка; клейкоольшаник ивовый крапивный – на рр. Инра и Сундоровка; клейкоольшаник крапивно-лабазниковый – на р. Жданка. В нижних течениях водотоков на границе с поймой р. Сура, где долины малых рек достигают максимальной ширины, а русло минимальных уклонов разнообразие древесных растений возрастает. В данных условиях выявлены следующие растительные ассоциации: клейкоольшаник крапивный – на рр. Жданка, Лямзяй, Медоевка; клейкоольшаник ивовый крапивный – на рр. Инра, Круглый, Сундоровка.

Техногенное загрязнение отдельных водотоков не оказывает существенного влияния на состояние водных и околоводных растительных сообществ. Ранжировать их по степени загрязнения на основании изучения флоры и растительности не представляется возможным, так как фактор ширины водотока, освещенности и т.п. варьируют. Из специфичных признаков чистых водотоков следует указать на обилие в них фонтиналиса противопожарного (*Fontinalis antipyretica*) и на его угнетенное состояние или отсутствие в загрязненных водах. Таким образом, нарушения при слабом уровне техногенного загрязнения не выявляются на экосистемном уровне и не отражаются на видовом составе растительных сообществ.

Было установлено, что лучшим индикатором химического загрязнения воды является вероника поручейная (*Veronica beccabunga*), что определяется её биологическими особенностями. Это растение во всех исследуемых водотоках вегетирует с ранней весны и до глубокой осени, что позволяет делать отбор проб биоматериала в течение всего сезона. Кроме того, она находится в водной среде с однородным температурным режимом, что ограждает ее от таких стрессов, как недостаток влаги и перегрев, которые оказывают влияние на содержание стресс-индуцируемого пролина и изозимные спектры пероксидазы у наземных растений. Иными словами, у вероники поручейной наиболее показательным оказывается химический стресс. Следует подчеркнуть, что вероника поручейная - широко распространенный вид во всех областях средней полосы России и практически во всем северном полушарии (Губанов и др., 2004). Поэтому её можно рекомендовать в качестве объекта экологического мониторинга и для других регионов РФ.

По степени накопления стресс-индуцированного пролина нами выделены три уровня химического загрязнения водных объектов: низкий (со степенью накопления 1,5 и ниже), средний (1,6 - 3,5) и высокий (3,6 и выше), что соответствует классам качества воды. Низкий – второму классу, средний – третьему и высокий – четвертому (табл. 1), что согласуется с данными гидрохимического мониторинга, проводившегося в период с 2006 по 2009 гг. В водоемах с умеренно загрязненной водой (рр. Круглый, Лямзай, Медоевка) степень накопления пролина составила 2,27 - 3,04; в загрязненной воде (р. Жданка) – 3,72.

По степени качественной изменчивости фермента пероксидазы вероники поручейной также выделены три уровня химического загрязнения водных источников. Результаты оценки качественной изменчивости пероксидазы полностью совпадают с результатами оценки химического стресса по определению стресс-индуцируемого пролина. Выделены водные объекты с низким уровнем химического загрязнения, где в изоферментном спектре пероксидазы листьев вероники поручейной отмечалось появление только одного нового изозима (р. Инра) (рис. 1). В источниках со средним уровнем химического загрязнения (рр. Круглый, Лямзай, Медоевка) в спектре появляется два новообразования.

Накопление стресс-индуцированного пролина в листьях вероники поручейной
в условиях техногенного загрязнения (2006 – 2009 гг.)

Место отбора проб	Содержание стресс-индуцированного пролина, мг% (M ± m)	Степень накопления пролина	Класс качества воды
Р. Жданка	76,8±0,83	3,72	4 («загрязненная»)
Р. Инра	28,9±1,52	1,40	2 («чистая»)
Р. Круглый	56,1±0,90	2,72	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Лямзй	62,7±0,80	3,04	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Медоевка	46,9±1,54	2,27	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Сундоровка	20,6±0,93	1,00	2 («чистая»)

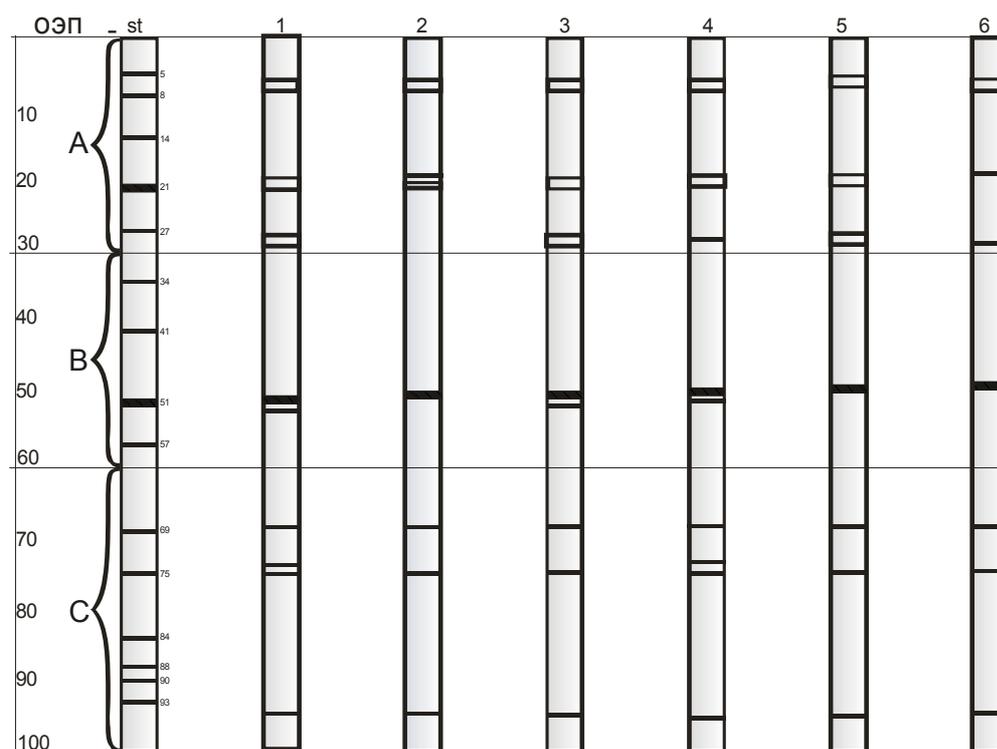


Рис. 1. Электрофореграммы изоферментов пероксидазы вероники поручейной в условиях химического загрязнения водных источников: 1 – р. Жданка; 2 – р. Инра; 3 – р. Круглый; 4 – р. Лямзй; 5 – р. Медоевка; 6 – р. Сундоровка

В водных объектах с высоким уровнем загрязнения (р. Жданка) число вновь образовавшихся компонентов в спектре достигло четырех. Характерной особенностью изоферментных новообразований у вероники поручейной является то, что появление новых изоформ в условиях химического стресса отмечается, в основном, в

области «медленных» компонентов А-зоны, обладающих большей молекулярной массой и низкой электрофоретической подвижностью. В то же время «быстрые» компоненты С-зоны и среднеподвижные компоненты В-зоны претерпевают менее существенные качественные изменения.

Из околководных растений в качестве объектов использовались крапива двудомная, таволга вязолистная и ольха клейкая. В ходе исследований были получены сходные результаты с показателями вероники поручейной. Хотя в отдельных случаях наблюдались некоторые отличия, например, по р. Жданка был установлен не высокий, а средний балл загрязнения. Это объясняется тем, что вероника произрастает непосредственно в водотоке и указывает на загрязнение воды и донных отложений. Ольха, таволга и крапива, как околководные растения, свидетельствуют только о загрязнении почвы в пойме реки, поэтому показатели, получаемые на таком объекте как вероника, следует считать более объективными. Низкий уровень техногенной нагрузки на среду характеризуется появлением в спектрах пероксидазы изучаемых растений одним новообразованием, средний уровень – двумя, высокий уровень – 4 - 5 новообразованиями. Изменения в спектре изоферментов пероксидазы у растений при высокой техногенной нагрузке затрагивают все его зоны. Таким образом, крапива двудомная, таволга вязолистная и ольха клейкая могут быть рекомендованы к применению в качестве дополнительных биоиндикаторов для оценки уровня техногенного загрязнения водных объектов.

Проводилось определение интегрального показателя стабильности развития березы пушистой и ольхи клейкой в поймах изучаемых водотоков. Определяемые показатели по годам варьируют. Это связано в первую очередь с тем, что стабильность развития билатеральных признаков зависит от погоды весной. Как раннее распускание листьев и последующие заморозки, так и позднее распускание и резкий перепад температур с последующей жаркой погодой могут приводить к определенным морфологическим отклонениям. Однако максимальные значения данного показателя ($> 0,055$) обычно всегда связаны с техногенным воздействием.

Определение величины интегрального показателя стабильности развития ольхи клейкой и березы пушистой показало наихудшее состояние растений на рр. Круглый, Лямзай и Жданка, что совпадает с данными химических анализов. В околководных сообществах ольха встречается повсеместно и находится здесь в оптимальных условиях произрастания в отличие от березы пушистой, которую можно обнаружить не во всех приручьевых сообществах. Кроме того, береза пушистая, произрастающая непосредственно около водных источников, часто испытывает затенение, страдает от переувлажнения почвы холодными грунтовыми водами и имеет угнетенный вид. Оценочная шкала березы не подходит для значений, полученных по ольхе, так как в силу морфологических особенностей листья ольхи являются более асимметричными, чем листья березы. Нами было проведено сравнение объективных

значений данного показателя у березы и ольхи в сходных местообитаниях и предложена шкала оценки отклонений состояния растений от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития листьев ольхи клейкой (табл. 2).

Таблица 2

Шкала оценки отклонений состояния растений от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития листьев березы пушистой и ольхи клейкой

Балл	Величина показателя стабильности развития		Состояние окружающей среды
	береза пушистая	ольха клейкая	
I	< 0,040	< 0,047	условная норма
II	0,041 – 0,044	0,048 – 0,053	небольшие отклонения
III	0,045 – 0,049	0,054 – 0,059	существенные нарушения
IV	0,050 – 0,054	0,060 – 0,065	опасные нарушения
V	0,055 – 0,060	0,066 – 0,071	критическое состояние
VI	> 0,061	> 0,072	критическое состояние

Влияние воздействия химического стресса в течение одного вегетационного периода может быть определено по интенсивности прироста древесины (табл. 3).

Таблица 3

Средняя толщина годовичных колец и прирост древесины у ольхи клейкой за 2008 г.

Точка отбора	Средняя толщина кольца, мм (M ± m)	Min -max, мм	Прирост, мм	Возраст деревьев, лет
Р. Жданка	1,50±0,146	0,4 - 3,6	1,4	58
Р. Инра	2,67±0,206	0,6 - 6,2	3,1	62
Р. Круглый	3,11±0,075	0,6 - 6,9	2,9	63
Р. Лямзй	1,50±0,331	0,5 - 3,6	1,9	55
Р. Медоевка	2,24±0,133	0,6 - 3,4	3,2	54
Р. Сундоровка	3,51±0,165	0,6 - 6,3	3,3	53

Если при отсутствии неблагоприятных природных факторов (низовой пожар, массовое размножение вредителей и возбудителей болезней, засуха и т.п.) наблюдается уменьшение толщины годовичного кольца ниже минимального показателя, возникает проблема установления причин замедления интенсивности роста. В данных условиях возраст деревьев не влияет на различия в величине прироста древесины ольхи клейкой, так как деревья относятся к одному классу возраста (Сеннов, 2005). Наибольшие приросты древесины отмечаются у деревьев, растущих по берегам наиболее чистых рек: Сундоровка (3,3 мм), Медоевка (3,2 мм), Инра (3,1 мм) и Круглый (2,9 мм); меньшие приросты - на рр.Жданка (1,4 мм) и Лямзй (1,9 мм), что указывает на неблагоприятные условия произрастания.

Минимальное содержание свободного пролина в пыльце ольхи клейкой наблюдается в местах с высоким техногенным загрязнением (табл. 4). На рр. Жданка, Круглый, Лямзйй уровень содержания пролина в пыльце по сравнению с контрольным вариантом снижается практически в два раза (на 51,5 – 51,9%).

Таблица 4

Влияние техногенного загрязнения на накопление стресс-индуцированного пролина и состояние пыльцы ольхи клейкой (2006 - 2009 гг.)

Место отбора проб	Содержание пролина в пыльце, мг% (M ± m)	Жизнеспособность пыльцы, % (M ± m)	Класс качества воды
Р. Жданка	54,5±0,50	50,4±0,90	4 («загрязненная»)
Р. Инра	113,2±1,05	98,0±1,00	2 («чистая»)
Р. Круглый	55,0±0,38	50,6±0,55	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Лямзйй	55,0±0,55	49,8±0,85	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Медоевка	80,8±1,17	83,0±1,00	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Сундоровка	113,4±0,50	98,3±0,95	2 («чистая»)

Ответной реакцией генеративных органов растений на химический стресс является нарушение деятельности археспориальной ткани внутри пыльников. В результате образуется большое количество стерильных, не содержащих свободного пролина, пыльцевых зерен, что является причиной его низкого содержания в пробах пыльцы, отобранных в условиях техногенного стресса. Жизнеспособность пыльцы ольхи клейкой в таких условиях снижается на 48,5 - 49,3%.

Техногенное загрязнение оказывает влияние и на морфологию пыльцевых зерен (табл. 5).

Таблица 5

Влияние техногенного загрязнения на состояние пыльцы и морфологические признаки соцветий ольхи клейкой (2006 - 2009 гг.)

Место отбора проб	Уродливая пыльца, % (M ± m)	Количество аномальных сережек, % (M ± m)	Класс качества воды
Р. Жданка	29,2±0,76	33,2±0,58	4 («загрязненная»)
Р. Инра	1,0±0,10	0,0±0,06	2 («чистая»)
Р. Круглый	29,7±0,65	28,5±0,80	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Лямзйй	29,3±0,70	25,2±0,83	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Медоевка	11,1±0,36	5,6±0,25	3 («умеренно загрязненная»)
Р. Сундоровка	1,0±0,20	0,0±0,06	2 («чистая»)

При этом следует различать характерные индивидуальные различия особей и патологию. У ольхи клейкой широко варьировали размеры пыльцевых зерен и воздушных мешков. В качестве аномальных морфологических отклонений при визуальном изучении отмечались: недоразвитие генеративной клетки пыльцевого зерна, деградация воздушных мешков, их деформация, искривление.

В местах с высоким уровнем загрязнения наблюдается максимальное количество пыльцевых зерен, характеризующихся высокой стерильностью и массовыми отклонениями в морфологии. Уродливая пыльца в условиях сильного загрязнения составляет 29,2-29,7%. Наибольшее количество соцветий, имеющих аномальное развитие (изменение формы, наличие стерильных цветков), наблюдается в местах с высоким уровнем загрязнения (25,2 – 33,2%). Кроме того, имеет место изменение пигментации соцветий в зависимости от степени загрязнения. В условиях слабого загрязнения они светло-зеленые, при среднем уровне загрязнения приобретают сероватый оттенок, а при высоком уровне – коричневый. Последнее обусловлено накоплением антоцианов. Накопление антоцианов связывается с механизмом защиты фотосинтетического аппарата растительного организма от обширного окислительного повреждения, возникающего вследствие действия различных поллютантов (Chalcer-Scott, 1999; Eryilmaz, 2006). Это позволяет рассматривать эндогенный уровень антоцианов в качестве биоиндикатора физиологического состояния растений и использовать их содержание как тест, характеризующий степень воздействия техногенного загрязнения на отдельные растения и растительные сообщества (Дедков и др., 2006; Eryilmaz, 2006).

ВЫВОДЫ

1. Изученные водотоки бассейна р. Сура в пределах Пензенской области относятся к ультрапресным водам гидрокарбонатно-кальциевой группы, имеющих различную степень загрязнения.

2. Видовой состав флоры приречьевых сообществ представлен 171 видом цветковых растений относящихся к 115 родам и 65 семействам и 24 видами мхов, относящихся к 17 родам и 12 семействам. Изученная флора характеризуется своеобразной таксономической структурой. К числу наиболее крупных родов относятся *Carex*, *Galium*, *Potamogeton*, *Salix*, *Rorippa*, *Ranunculus*. К этим родам относится большинство типичных гигро- и гидрофитов, составляющих 36,6% от количества выявленных видов.

3. Наиболее показательным видом-индикатором техногенного загрязнения по биохимическим показателям и особенностям своей биологии в Пензенской области является вероника поручейная.

4. Техногенное загрязнение оказывает стимулирующее влияние на накопление стресс-индуцированного пролина в вегетативных органах водных и околоводных

растений в долинах малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области, где его содержание возрастает в 1,21–3,72 раза. В растениях зоны техногенного загрязнения увеличивается гетерогенность изозимного спектра фермента пероксидазы, что проявляется в появлении 1-5 новых компонентов.

5. В долинах малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области для определения величины интегрального показателя стабильности развития билатеральных признаков целесообразно использовать в качестве объекта ольху клейкую, так как она встречается в данных условиях повсеместно. Для ольхи клейкой предложена отдельная шкала оценки отклонений состояния растений по данному показателю. Величина ежегодного прироста древесины деревьев ольхи клейкой зависит от степени техногенного загрязнения водотоков и их пойм. Наибольшие приросты древесины (2,9 – 3,3 мм) отмечаются у деревьев, растущих по берегам наиболее чистых водотоков.

6. Техногенное загрязнение оказывает отрицательное влияние на формирование пыльцы ольхи клейкой в долинах малых рек бассейна р. Сура в пределах Пензенской области. В пробах, отобранных в местообитаниях с умеренно-загрязненной (3 класс) и загрязненной (4 класс) водой, увеличивается доля abortивных (15,6 – 49,3 %) и уродливых (11,1 - 29,7%) пыльцевых зерен. При повышении доли нежизнеспособной пыльцы в общей массе пыльцевых зерен в условиях техногенного стресса содержание пролина снижается на 28,7–51,9%. Данный показатель можно использовать при оценке степени техногенного воздействия на растения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

* - Публикации в печатных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ

1. Иванов, А.И. Использование растительных изоферментов в оценке загрязненности окружающей среды / А.И. Иванов, А.П. Стаценко, Л.И. Тужилова, Е.Е. Конкина, О.В. Сергеева // «Экология и безопасность жизнедеятельности»: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф.- Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 137-139.

2. Иванов, А.И. Свободный пролин – биохимический показатель степени химического загрязнения природной среды / А.И. Иванов, А.П. Стаценко, Е.Е. Конкина, О.В. Сергеева, Л.И. Тужилова // «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России»: сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф.- Пенза: РИО ПГСХА, 2007.- С. 95-97.

3. Стаценко, А.П. Об изменчивости изоферментов растений в условиях химического загрязнения / А.П. Стаценко, А.И. Иванов, Е.Е. Конкина, О.В. Сергеева, Л.И. Тужилова // «Современный мир, природа и человек»: сб. науч. работ. - Т. 4, №1 – Томск, 2007. – С. 50.

4. Стаценко, А.П. Биохимическое тестирование окружающей среды / А.П. Стаценко, А.И. Иванов, Е.Е. Конкина, Л.И. Тужилова, О.В. Сергеева // «Современные проблемы экологии»: сб. ст. - Тула, 2007. – С. 65-67.

5. Иванов, А.И. Динамика свободного пролина в хвое растений в условиях химического стресса / А.И. Иванов, А.П. Стаценко, О.В. Сергеева, Е.Е. Конкина, Л.И. Тужилова // «Мониторинг природных экосистем в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия»: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Ч.1. - Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 67-69.

6. Иванов, А.И. Экологический мониторинг источников и приречьевых сообществ / А.И. Иванов, Е.Е. Селина, А.П. Стаценко // «Мониторинг природных экосистем»: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008. – С. 77-81.

7. Иванов, А. И. Вероника поручейная (*Veronica beccabunga* L.) как индикатор экологического состояния ручьевых экосистем / А.И. Иванов, Е.Е. Селина, А.П. Стаценко // «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития»: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Вып. VI, Ч. 2. – Киров, 2008. – С. 112-113.

8. Иванов, А.И. Использование свободного пролина в оценке степени загрязнения окружающей среды / А.И. Иванов, Е.Е. Селина, О.В. Скобанева, А.П. Стаценко // Труды ДВГТУ. Вып. 148. – Владивосток, 2008. – С. 40-42.

9.* Иванов, А.И. Использование пыльцы древесных и травянистых растений для биоиндикации загрязнения окружающей среды / А.И. Иванов, А.П. Стаценко, Е.Е. Селина, О.В. Скобанева // Вестник ДВО РАН. – 2009. – №6. – С. 68-73.

Прим. до 28.09.2007г. у автора была фамилия Конкина.

Подписано в печать 27.12.2010 г. Формат 60×84/16.

Бумага ксероксная. Печать трафаретная.

Усл. п.л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ № 27/12.

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ИП Тугушева С. Ю.

440600, г. Пенза, ул. Московская, 74, ком. №220.

Тел.: (8412) 56-37-16.