

На правах рукописи



Суханова Ирина Васильевна

**ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
(НА ПРИМЕРЕ Г. ТОМСКА)**

03.00.16. – Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Томск - 2007

Работа выполнена на кафедре экологического менеджмента
ГОУ ВПО «Томский государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Адам Александр Мартынович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Гуреева Ирина Ивановна
кандидат биологических наук, доцент
Незнамова Елена Григорьевна

Ведущая организация: **Институт водных и экологических проблем
СО РАН (г. Барнаул)**

Защита состоится 23 мая 2007 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.10 при Томском государственном университете (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36) в НИИ биологии и биофизики при ТГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 22 апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Просекина Е.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Водные объекты являются важной составляющей современной городской среды. Городские водоемы имеют комплексное значение и помимо разнообразных хозяйственных функций играют важные природоохранные, эстетические и рекреационные роли. Учитывая опасность загрязнения, особую актуальность приобретает контроль качества городских водоемов.

Оценку состояния водных объектов в условиях городской среды должен обеспечивать постоянный экологический контроль, по результатам которого вводятся ограничения использования акваторий и водосборов. В настоящее время мониторинг ведется эпизодически на основе гидрохимических анализов воды. Эти данные не позволяют дать интегральную характеристику качества среды. Кроме того, методы химических и физических анализов требуют значительных материальных и временных затрат. Это обуславливает необходимость использования более эффективных показателей, позволяющих получить комплексную экспресс-оценку экологического состояния водного объекта.

Существование водных экосистем, расположенных на городских территориях, во многом связано с характером растительных сообществ, которые в большинстве случаев определяют газовый и солевой состав воды и обеспечивают первичную продукцию водных объектов. Фитоценозы водоемов чутко реагируют на изменения экологических условий, в том числе, и со стороны антропогенного фактора. Исследованию этих вопросов посвящены работы Н.М. Кабанова (1962), В.А. Абакумова (1977), В.И. Матвеева (1977), А.В. Щербакова, Н.М. Мингазовой (1988), Д.В. Дубыниной, Ю.Р. Шеляг-Сосонко (1996), В.Д. Казмирука (2000) и ряда других ученых.

На территории Томской области исследования растительных сообществ водоемов в связи с различными экологическими условиями проводились Б.Г. Иоганзенем (1971), Е.П. Прокопьевым (1975), Н.Ф. Вылцан (1980), Г.С. Тараном (1995). Растительность некоторых озер г. Томска была изучена А.И. Якубовой (1951), однако до настоящего времени исследование динамики растительных сообществ водных объектов в условиях г. Томска не проводилось.

Актуальность данной работы обусловлена возможностью использования данных об изменении растительных сообществ для оценки экологического состояния городских водоемов.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является изучение динамики растительных сообществ водоемов в условиях городской среды на примере г. Томска.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить состав и структуру растительных сообществ водоемов г. Томска.
2. Провести анализ изменений растительных сообществ в условиях города.
3. Изучить тенденции сукцессии растительных сообществ водных объектов за период с 1938 по 2005 гг.
4. Дать прогноз экологического состояния водоемов г. Томска.

Защищаемые положения:

1. Состав, распределение и структура растительных сообществ в условиях города определяются не только морфологическими, гидрологическими особенностями водоемов, но также характером и интенсивностью антропогенного воздействия.

2. Сукцессия водных экосистем в условиях городской среды выражается в изменении состава и зонального расположения растительных сообществ.

Научная новизна

Впервые дано описание растительных сообществ 7 водоемов г. Томска, фитоценозы 5 водных объектов изучены с позиции современного уровня урбанизации. Составлена классификация и выявлено ценотипическое разнообразие растительных сообществ водоемов. Определена надземная фитомасса 8 растительных формаций. Впервые для водоемов г. Томска приведены результаты изучения динамики растительных сообществ, охватывающие период 65 лет. Проведена экологическая оценка состояния водоемов г. Томска на основе характеристики фитоценозов.

Практическая значимость

Результаты исследований могут быть использованы для разработки рекомендаций по эксплуатации городских водоемов и их водосборов в различных целях: организации особо охраняемых территорий, парков, зон рекреации, цветоводства и других сфер человеческой деятельности. Полученные данные дают возможность рекомендовать водоемы для городского строительства в качестве экодизайна.

Результаты проведенных исследований позволяют выделить индикаторные растительные сообщества, по структуре и характеру распределения которых можно судить об экологическом состоянии городских водоемов.

С увеличением темпов урбанизации практическую значимость приобретают результаты изучения сукцессии растительных сообществ водоемов. Эти данные позволяют прогнозировать экологическое состояние водных объектов, что в итоге способствует оптимизации экологической обстановки города.

Апробация работы

Основные положения диссертации были доложены на III российско-монгольской научной конференции «Алтай: экология и природопользование» (Бийск, 2004), XLII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 2004), V Всероссийской конференции «Энергия молодых – экономике России» (2004), Всероссийской конференции с международным участием «Экологическая политика и университетское образование» (Томск, 2005), Международной научно-практической конференции «Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты» (Томск, 2005), «Проблема экологической безопасности и природопользования в Западной Сибири» (Томск, 2005), VI Всероссийской школе-конференции по водным макрофитам «Гидробиология: методология и методы» (ИБВВ РАН, пос. Борок, 2006).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 работ, 1 – в печати.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы, включающего 219 источников, в том числе 3 – на иностранных языках. Работа изложена на 165 страницах, содержит 18 таблиц, 55 рисунков, 9 приложений.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору д.т.н. А. М. Адаму за помощь. Автор крайне признателен к.б.н. Н.В. Гориной за ценные советы и поддержку в выполнении данной работы. Слова благодарности А.Л. Эбелю, Н.В. Курбатской и Б.Ф. Свириденко за помощь в проверке и определении видов растений водоемов. Слова признательности всем сотрудникам кафедры экологического менеджмента Томского государственного университета за помощь и моральную поддержку.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертация представляет собой результат исследования растительных сообществ водоемов г. Томска.

С 2003 по 2005 гг. изучены фитоценозы 12 водных объектов: 5 пойменных озер- стариц, 4 террасовых озера- старицы, 1 материковое озеро и 2 искусственных водоема (рис. 1). Автором выполнено 198 описаний растительных сообществ, собрано более 200 листов гербарного материала, заложено 95 экологических профилей. В качестве руководства использованы методики А.П. Белавской (1979), В.М. Катанской (1981), Л.И. Лисицыной (2003), В.Г. Папченкова (2001). Собранные образцы переданы в гербарий им П.Н. Крылова (ТК).

Описание растительных сообществ водоемов проводилось на серии пробных площадок размером 4 м². В зависимости от площади, занятой сообществами, площадки имели стороны: 2х2, 1х4 или 0,5х8 м. Небольшие группы растений (площадью менее 4 м²) описывались полностью. Если растительное сообщество занимало большую площадь, его описание проводилось на площадках размером до 100 м².

В основу анализа состава экобиоморф положены представления В.М. Катанской (1981), Е.П. Прокопьева (2001), В.Г. Папченкова (2001).

Обработка описаний и классификация растительных сообществ проведены на основе доминантно-детерминантного подхода (Александрова, 1969; Папченков, 2001).

Определение надземной фитомассы основных фитоценозов проведено в результате сбора материала с 167 укосных площадок, размером 0,25 – 1 м², при этом использовались методики, изложенные в ряде работ (Катанская, 1981; Папченков, 2001; Расповов, 2003).

Характеристика распределения сообществ настоящей водной растительности проведена по схеме, предложенной В.М. Катанской (1981), земноводной – по типологической схеме зарастания водоемов гелофитной растительностью (Корсаков, Смиренский, 1956). Общая характеристика зарастания исследованных водоемов дана по В.В. Ильину (1975).

Схемы распределения фитоценозов в водных объектах составлялись согласно рекомендациям В.Г. Папченкова (2003б) на основе карты района исследования масштаба 1:10000.

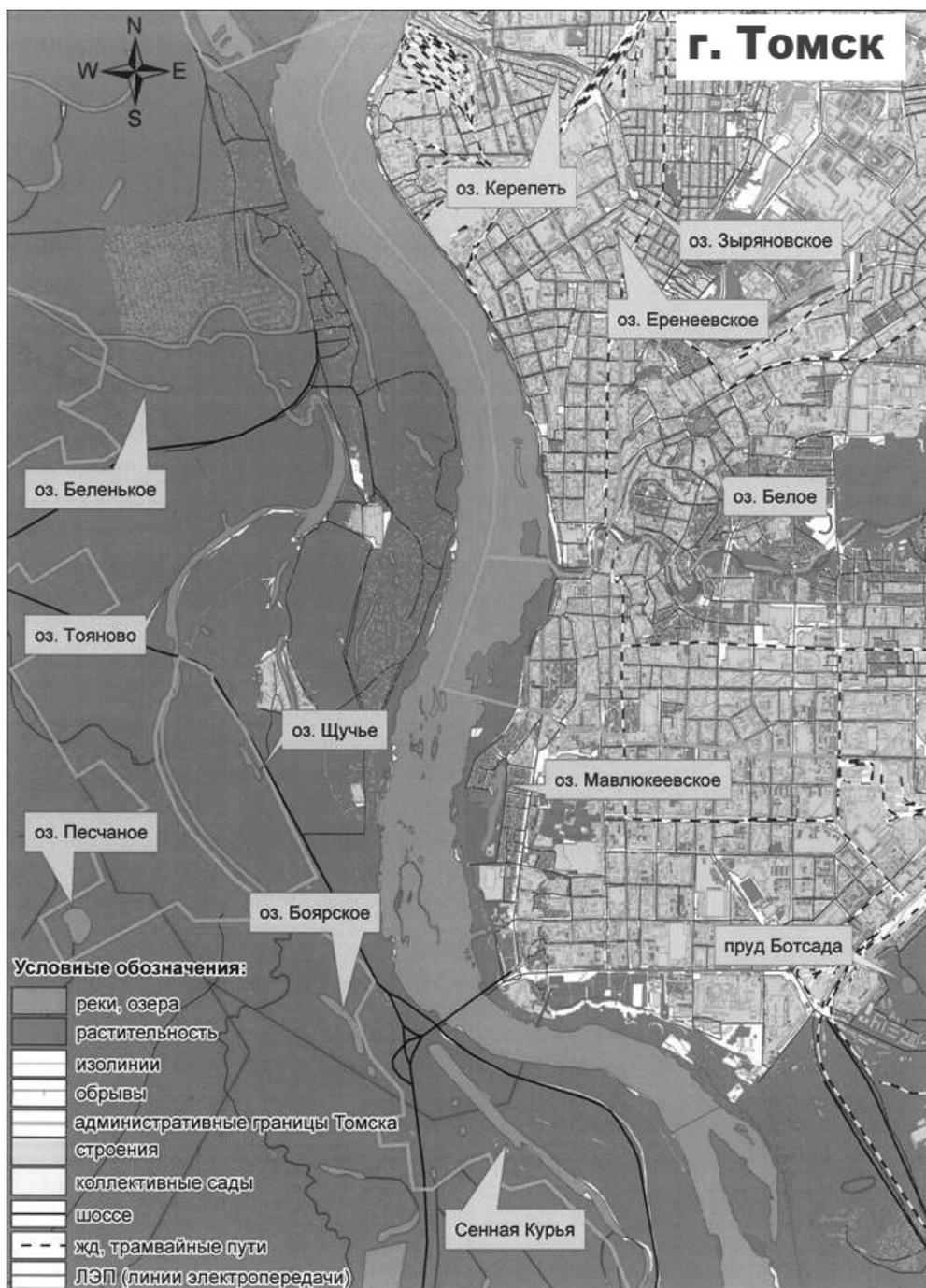


Рис. 1. Район исследования (М 1: 60 000)

Экологическая оценка исследованных водоемов проведена на основе метода косвенной оценки условий местообитаний фитоценозов с использованием фитоиндикационных экологических шкал увлажнения и богатства-зольности (Раменский и др., 1956; Прокопьев, 2001, 2003).

Классификация водоемов г. Томска проведена на основе характеристики растительных сообществ с использованием 6 показателей (Иудин, 2006): индексов разнообразия Шеннона, доминантности Симпсона, видового разнообразия Маргалефа, гетерогенности Уиттекера, усредненных показателей видовой плотности и видового богатства растительных сообществ. Сходство видового состава растений водоемов определялось при помощи коэффициента Жаккара.

Ретроспективный анализ изменения фитоценозов водоемов г. Томска проведен на основе результатов собственных исследований автора и материалов, содержащихся в литературе (Иоганзен и др., 1951; Якубова, 1951). Охваченный период (с 1938 – 1940 и 2003 – 2005 гг.) составляет 65 лет.

Анализ данных выполнен в ПСП STATISTICA 6.0., MS Excel с использованием методов непараметрической корреляции, кластерного анализа. При проверке статистических гипотез использован 5% уровень значимости.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Необходимость контроля качества городских водоемов обуславливает поиск новых критериев оценки их экологического состояния. В ряду таких показателей в последнее время используются различные компоненты водных экосистем, в том числе и сообщества, образованные высшими сосудистыми растениями. Анализ литературных источников показал, что количественные и качественные характеристики растительных сообществ отвечают требованиям комплексного подхода к оценке экологического состояния водных объектов (Абакумов, Черногаева, 2001; Горлова, 1992; Кокин, 1982; Мусиенко, Федорчук, 2005; Распопов, 2001; Эйнон, 1992 и др.).

Вопросы реакции фитоценозов водоемов на изменения экологических условий в результате антропогенного воздействия отражены в работах отечественных и зарубежных исследователей (Кабанов, 1962; Пастухова, 1978; Коган, 1980; Мязметс, 1980; Житков, 1981; Семин, Фрейдлинг, 1983; Смагин, 1984а, 1984б; Денисова, 1988; Распопов, 1992; Блинова, 1994; Бурдин, Золотухина, 1998; Клочкова, 1998; Крюкова, 1998; Фрейдлинг, 1998; Чинкина, 2000; Гриб, Горховская, 2001; Свицерский, 2002; Мусиенко, Федорчук, 2005; Токарь, 2005; Kennison et al., 1998; Wade, 1999; Naury et al, 2002 и др.).

Несмотря на то, что в литературе имеются достаточно полные материалы о флористическом и ценотипическом изучении водоемов, в то же время вопрос об изменении растительных сообществ в условиях городской среды изучен недостаточно.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растительные сообщества водоемов г. Томска

В результате изучения растительных сообществ водоемов г. Томска составлена классификация растительного покрова, которая включает 49 ассоциаций в составе 32 формаций. По абсолютному числу фитоценозов преобладает класс формаций воздушно-водной растительности, наиболее разнообразны ассоциации, произрастающие в экотоне – границе между водной и воздушной экосистемами. Так, наиболее разнообразной по количеству ассоциаций является формация *Butometa umbellatei*, которая включает 5 ассоциаций. Формации *Spirodeleta polirrhizae* и *Sagittarieta sagittifoliae* включают в себя по 3 ассоциации, остальные формации, образующие растительный покров исследованных водоемов, состоят из 1 – 2 ассоциаций.

Характеристика состава и разнообразия растительных сообществ выполнена на основе 6 показателей: индекс разнообразия Шеннона (H'), индекс доминирования Симпсона (C), индекс видового разнообразия Маргалефа (D_{Mg}), индекс гетерогенности Уиттекера (βw), показатель средней видовой плотности растительных сообществ (V_n), среднее видовое богатство фитоценозов (V_b). Данные показателей обработаны при помощи кластерного анализа, который позволил определить группы наиболее сходных водоемов не с флористической точки зрения, а с обобщенной структурной позиции.

Характеристика растительных сообществ (табл. 1) показала, что для каждого водоема некоторые параметры достигают высоких значений, другие отличаются значительным размахом.

Таблица 1

Характеристика параметров состава растительных сообществ водоемов

Параметры фитоценозов	Водоемы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
индекс разнообразия Шеннона (H')	1,24	1,41	1,32	1,33	1,21	1,32	1,26	1,49	1,09	1,42	0,63	0
индекс доминирования Симпсона (C)	0,1	0,04	0,07	0,25	0,02	0,12	0,14	0,07	0,06	0,05	0,03	1
индекс видового разнообразия Маргалефа (D_{Mg})	8	8,7	3,6	3,6	7,3	2,9	2,7	3,4	6,1	6,3	2,9	0,0
индекс гетерогенности Уиттекера (βw)	0,72	0,94	1,58	2,00	1,21	0,57	0,36	0,39	0,48	0,37	0,29	0,00
средняя видовая плотность фитоценозов (V_n)	3,9 $\pm 0,57$	3,5 $\pm 0,67$	2,6 $\pm 0,29$	2,1 $\pm 0,29$	3,4 $\pm 0,77$	3,5 $\pm 0,96$	4,1 $\pm 0,510$	3,6 $\pm 0,95$	5,8 $\pm 0,77$	4,1 $\pm 0,35$	4,1 $\pm 0,67$	1
среднее видовое богатство (V_b) *	6,7 $\pm 0,95$	6,8 $\pm 0,87$	6,7 $\pm 1,27$	6,3 $\pm 0,99$	7,5 $\pm 1,52$	5,5 $\pm 0,87$	5,6 $\pm 0,48$	5 $\pm 0,82$	8,6 $\pm 1,36$	5,6 $\pm 0,48$	5,3 $\pm 1,45$	1

Примечание: цифрами обозначены названия водоемов: 1 – оз. Беленькое; 2 – оз. Боярское; 3 – Сенная Курья; 4 – оз. Тояново; 5 – оз. Щучье; 6 – оз. Еренеевское; 7 – оз. Зырянское; 8 – оз. Керепеть; 9 – оз. Мавлюкеевское; 10 – оз. Песчаное; 11 – пруд; 12 – оз. Белое.

* уровень значимости (p-level) < 0,05

По результатам кластерного анализа можно выделить три группы водоемов, совокупности фитоценозов которых наиболее сходны между собой (рис. 2). Несмотря на то, что объединение водных объектов в данные группы является результатом детального анализа по заданным признакам растительных сообществ, в каждой группе можно отметить общие тенденции.

В первую группу объединяются водоемы жилых и промышленных районов города (пруд, оз. Еренеевское, оз. Зырянское, оз. Керепеть). Особенностью фитоценозов данных водоемов является низкое значение фитоценотипического разнообразия ($H'=0,63 - 1,28$).

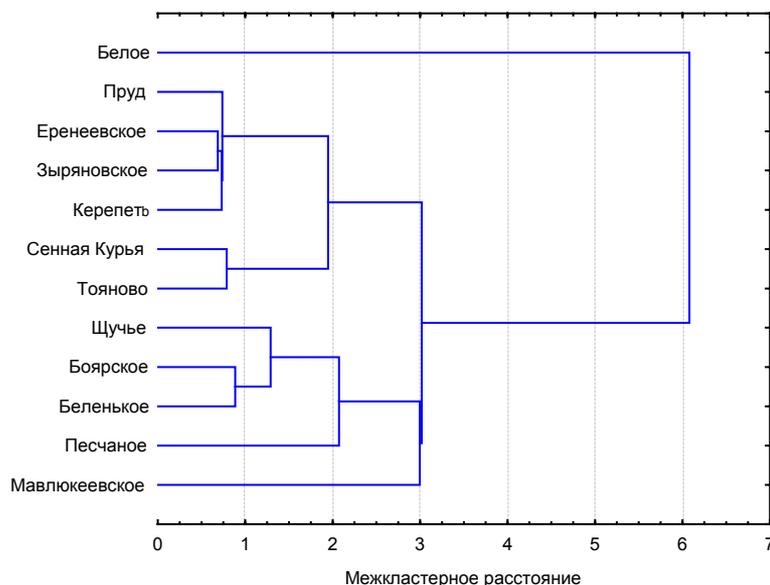


Рис. 2. Результаты кластерного анализа параметров состава растительных сообществ водоемов г. Томска

Особенности состава растительных сообществ в первой группе водоемов можно объяснить характером антропогенного нарушения местообитаний растений. Одной из основных причин низкого разнообразия фитоценозов высшей водной растительности в этой группе водоемов является разрушение берегов и прибрежных мелководий – местообитаний сообществ гелофитной (воздушно-водной) растительности. Низкая прозрачность воды, в результате стока загрязненных вод с городских территорий, является причиной угнетения гидатофитных (погруженных в воду) сообществ. Эти факторы создают условия ослабления конкурентной борьбы между растениями разных экологических групп и расселения в водоемах 1 – 2 видов, характеризующиеся широкой экологической валентностью (*Ceratophyllum demersum* L., *Spirodela polirrhiza* (L.) Schleid.).

Для первой группы водоемов характерно отсутствие сообществ, образованных прикрепленными плейстофитами (укореняющимися растениями с плавающими на поверхности воды листьями). Для данной группы растений свет не является лимитирующим фактором из-за того, что большая часть их вегетирующих тканей находится вне толщи воды. Возможно, что отсутствие прикрепленных плейстофитов связано с тем, что донная поверхность озер подвергается постоянным механическим воздействиям. Антропогенная деятельность (изъятие грунтов, накопление неразлагающихся отходов на дне водоемов, разрушение берегов в результате строительных работ, прокладка дорог вдоль берегов озер и т.п.) создает условия, при которых невозможно формирование рыхлых илистых грунтов, благоприятных для произрастания сообществ прикрепленных плейстофитов.

Вторую группу составляют водоемы, у которых одни из наиболее высоких показателей индексов доминирования Симпсона (0,07 – 0,25) и гетерогенности растительных сообществ (1,58 – 2) (оз. Тояново, Сенная Курья). Морфологические и гидрологические особенности водоемов не способствуют широкому расселению фитоценозов в водоемах. Бордюрный тип распределения фитоценозов, представленный в виде узкой разорванной полосы, обусловлен механическим

уничтожением растительных сообществ в результате рекреационного и хозяйственного использования водоемов, нарушением местообитаний водных и прибрежно-водных растений.

В третьей группе оказались водоемы (оз. Щучье, Боярское, Беленькое, Песчаное, Мавлюкеевское), характеризующиеся наиболее высоким показателем средней видовой насыщенности фитоценозов (5,6 – 8,6) и индексами видового богатства (6,1 – 8) и разнообразия (1,09 – 1,42).

На формирование растительных сообществ водных и прибрежно-водных местообитаний этой группы водоемов благоприятно сказываются особенности их гидрологического режима и морфологии (глубина, характер грунтов, прозрачность воды, наличие незатененных мелководий).

Обособлено в схеме классификации водоемов стоит оз. Белое, обобщенные характеристики растительного покрова которого не имеют аналогов среди других изученных водоемов. Растительность данного водоема состоит из одной монодоминантной ассоциации *Myriophylletum spicati*.

В целом следует отметить, что число растительных сообществ в водоемах г. Томска возрастает по мере увеличения разнообразия местообитаний, позволяющего растениям формировать большее число фитоценозов. Таким образом, качественные характеристики фитоценозов отражают общее состояние водоемов и их водосборных территорий. На разнообразии растительных сообществ в условиях г. Томска оказывает воздействие антропогенное нарушение местообитаний растений, что в первую очередь сказывается на растительных группировках плейстофитов и гидатофитов.

Таблица 2

Характеристика распределения растительных сообществ

Водоем	Площадь зарастания (%)	Тип зарастания	
		Гидатофитные и плейстофитные сообщества	Гелофитные сообщества
Беленькое	32	краевой	бордюрный, прибрежно-сплавинный
Боярское	46	пятнистый, краевой	бордюрный, прибрежно-сплавинный
Сенная Курья	30	краевой	бордюрный, займищный
Тояново	18	пятнистый, краевой	бордюрный
Щучье	16	краевой	бордюрный
Ернеевское	80	краевой, сплошной	бордюрный
Зыряновское	80	краевой, сплошной	бордюрный
Керепеть	90	краевой, сплошной	массивно-зарослевой
Мавлюкеевское	75	краевой, сплошной	бордюрный, займищный
Песчаное	70	краевой, пятнистый, частично сплошной	бордюрный, займищный
Пруд	90	сплошной	бордюрный, займищный, прибрежно-сплавинный
Белое	15	краевой	–

Установлено, что морфологические особенности водоемов, их гидрологический режим и характер антропогенного воздействия влияют на зональное распределение растительных сообществ внутри водных объектов. Из таблицы 2 видно, что водоемы

зарастают не только со стороны берегов, но и с центральных частей, что нехарактерно при естественной сукцессии растительных сообществ (Сукачев, 1926).

Таким образом, несмотря на относительную простоту и невысокое разнообразие растительных сообществ, водоемы г. Томска группируются не только по морфологическим и гидрологическим признакам, но и по комплексным характеристикам растительных сообществ. Городские водоемы, испытывающие наиболее интенсивную антропогенную нагрузку, характеризуются наименьшими показателями количественных и качественных характеристик фитоценозов. Водные объекты, которые обладают большей экологической емкостью, обусловленной морфологическими, гидрологическими особенностями, и характеризуются определенным характером антропогенного использования акваторий и водосборов (рекреация, природоохранные мероприятия), отличаются наиболее высокими показателями разнообразия растительных сообществ.

Продукционные характеристики фитоценозов определяют степень выраженности и интенсивность зарастания водных объектов.

В ходе исследования получены данные, характеризующие показатели наземной фитомассы основных растительных формаций, произрастающих в водоемах г. Томска. Из табл. 3 видно, что основной объем фитомассы создается сообществами воздушно-водной растительности.

Таблица 3

Наземная фитомасса основных растительных формаций водоемов

Формация	Количество укосов	Сырой вес, кг/м ² (p<0,05)	Воздушно-сухой вес, кг/м ² (p<0,05)
Сообщества настоящей водной растительности			
<i>Hydrocharieta morsus-ranae</i>	20	0,84 ± 0,15	0,06 ± 0,00
<i>Nupharetta luteae</i>	26	2,09 ± 0,21	0,11 ± 0,01
<i>Potameta perfoliati</i>	18	0,89 ± 0,07	0,05 ± 0,00
<i>Spirodeletum polirrhizae</i>	29	0,45 ± 0,08	0,02 ± 0,00
<i>Stratioteta aloides</i>	12	6,5 ± 0,32	0,26 ± 0,02
Сообщества гелофитной растительности			
<i>Butometa umbellati</i>	20	2,5 ± 0,39	0,82 ± 0,01
<i>Equiseteta fluviatilis</i>	19	1,31 ± 0,14	0,15 ± 0,02
<i>Sagittarieta sagittifoliae</i>	23	1,74 ± 0,19	0,42 ± 0,02

Сукцессия растительных сообществ

Материалом для данной главы послужили результаты ретроспективного анализа изменений фитоценозов 5 водоемов (Сенная Курья, озера Боярское, Тояново, Щучье, Песчаное) за период 65 лет (с 1938 – 1940 и 2003 – 2005 гг.).

Анализ изменения растительных сообществ показал, что большинство (64%) видов (*Equisetum fluviatile* L., *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L., *Persicaria amphibian* (L.) S. F. Grey, *Potamogeton perfoliatus* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Stratiotes aloides* L., *Spirodela polirrhiza* и др.) сохранило свое присутствие в водоемах, многие из них характеризуются широкой экологической валентностью.

В настоящее время в составе растительных сообществ водоемов отмечаются изменения в показателях встречаемости некоторых видов. Так, виды, образующие сообщества прикрепленной плейстофитной и гидатофитной растительности (*Nymphaea candida* J. et C. Presl., *Nymphaea tetragona* Georgi., *Nuphar pumila* (Timm) Cd., *Nymphoides peltata* (S. D. Gmel.), *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton lucens* L. и др.), которые ранее были постоянными элементами фитоценозов, утратили свои позиции и на современной стадии развития озер встречаются либо редко, либо отсутствуют. Одной из причин этого является обмеление водных объектов в результате снижения уровня грунтовых вод, строительства мелиоративных каналов.

Сравнение видового состава растений с 1938 по 2005 гг. показало низкое флористическое сходство водных объектов, коэффициент Жаккара (J) не превышает 0,52 (рис. 4).

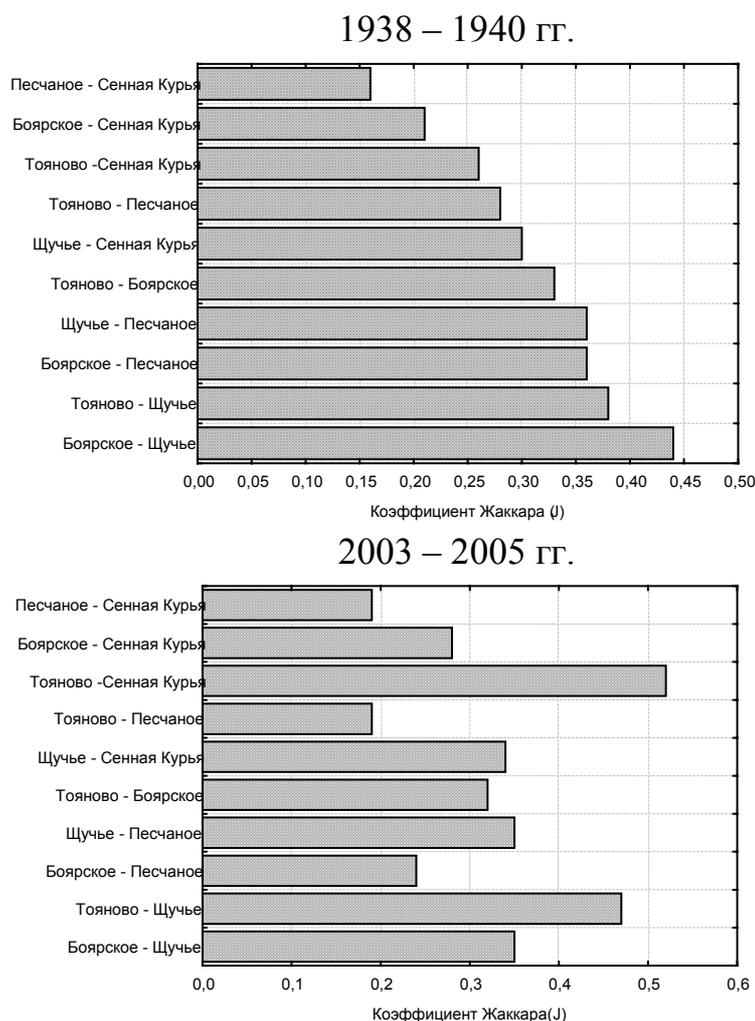


Рис. 3. Сравнение сходства состава флоры водоемов в 1938 – 1940 и 2003 – 2005 гг.

Установлено, что наименьшим сходством видового состава в обоих случаях характеризуется пара водоемов – оз. Песчаное - Сенная Курья ($J = 0,18$ и $0,19$). Гидрологический режим данных водоемов претерпел значительные изменения в результате антропогенного вмешательства, что отразилось на составе и структуре растительных сообществ как водной, так и прибрежно-водной растительности.

Отличительные особенности видового состава растений проявляются в паре водоемов, которые имеют наибольшее сходство. Так, в 1938 – 1940 гг. наиболее сходными в этом отношении являлись оз. Боярское – оз. Щучье ($J = 0,44$) и оз. Щучье – оз. Тояново ($J = 0,38$). По происхождению эти водоемы являются старицами р. Томи. В конце 30-х гг. XX в. влияние г. Томска на водоемы левобережья реки было минимально. Поэтому сходство видового состава растительности в этот период определялось природными особенностями озер. В настоящее время наиболее сходной по отношению к индексу Жаккара является пара оз. Тояново – Сенная Курья ($J = 0,52$). Значительный вклад в формирование сходства видового состава флоры этих водоемов вносит сходный режим пойменности, что обусловлено искусственной изоляцией Сенной Курьи от русла реки.

Ретроспективный анализ изменения экологической структуры растительных сообществ изученных водоемов по шкале увлажнения показал, что в настоящее время возрастает роль.

Динамика экологической структуры растительных сообществ водоемов г. Томска по отношению к увлажнению свидетельствует о том, что в настоящее время изменение идет в направлении увеличения роли фитоценозов, характерных для прибрежно-водных, болотных, болотно-луговых местообитаний, и сокращения площадей водных местообитаний, на что указывает уменьшение количества растительных сообществ, относящихся к гипергидрофитам. Количество видов относящихся к геми-, гипо- и ортогидрофитам напротив – возрастает (рис. 4).

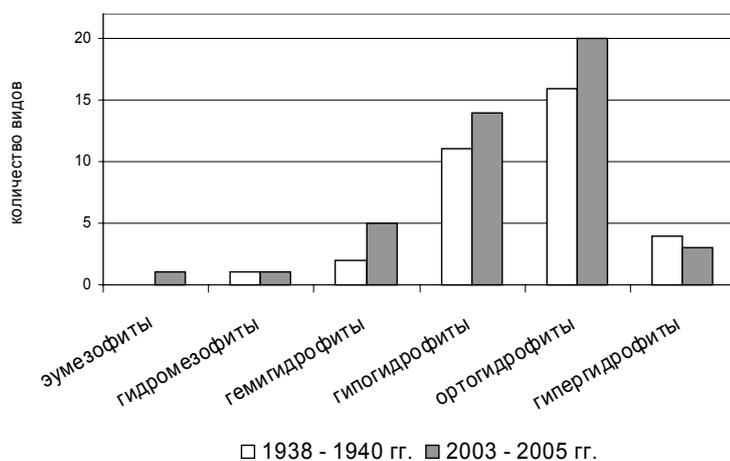


Рис. 4. Динамика экологической структуры растительных сообществ водоемов по шкале увлажнения

По отношению к составу экобиоморф изменение структуры растительных сообществ водоемов показал увеличение количества представителей свободноплавающих гидатофитов (*Lemna trisulca*, *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia vulgaris* L. и др.) и свободноплавающих плейстофитов (*Hydrocharis morsus-ranae* L., *Lemna minor* и др.). В то же время выявлено уменьшение количества прикрепленных гидатофитов и прикрепленных плейстофитов (рис. 5).

Известно, что увеличение доли гелофитов в составе растительных сообществ по мере развития водоема связано с закономерной заменой глубоководных фитоценозов сообществами, произрастающими в прибрежно-водных участках. Однако в ходе проведенных исследований установлено, что изменение гидрологического режима водоемов в результате антропогенной деятельности также является причиной распространения в водоемах гелофитных сообществ. Так, искусственная изоляция Сенной Курьи от русла р. Томи привела к нарушению водообмена данного водоема. В настоящее время бывший некогда слабо заросший водоем переходит в разряд зарастающего, главным образом путем распространения сообществ *Equisetum fluviatilis* и *Eleocharis palustris* – *Equisetum fluviatilis*.

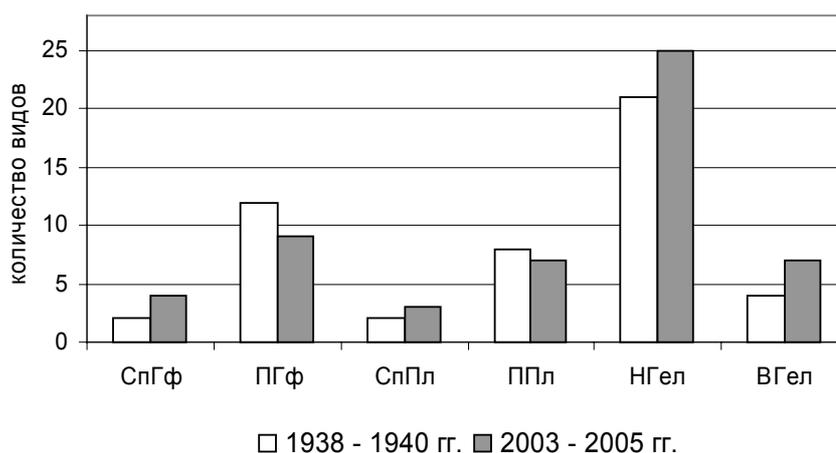


Рис. 5. Динамика состава экибиоморф, образующих фитоценозы водоемов (SpГф – свободно плавающие гидатофиты, ПГф – прикрепленные гидатофиты, SpПл – свободно плавающие плейстофиты, ППл – прикрепленные плейстофиты, НГел – низкотравные гелофиты, ВГел – высокотравные гелофиты)

Ретроспективный анализ изменения растительных сообществ водоемов г. Томска по отношению к трофности показал увеличение доли мезо- и эутрофитов (рис. 6).

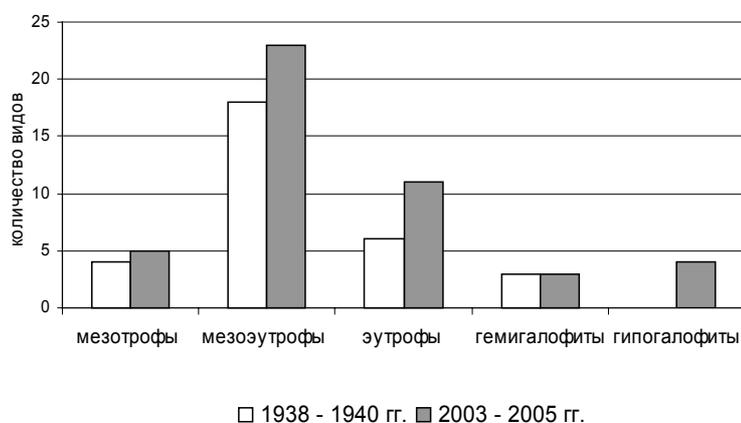


Рис. 6. Динамика экологической структуры фитоценозов водоемов по шкале богатства-зольности

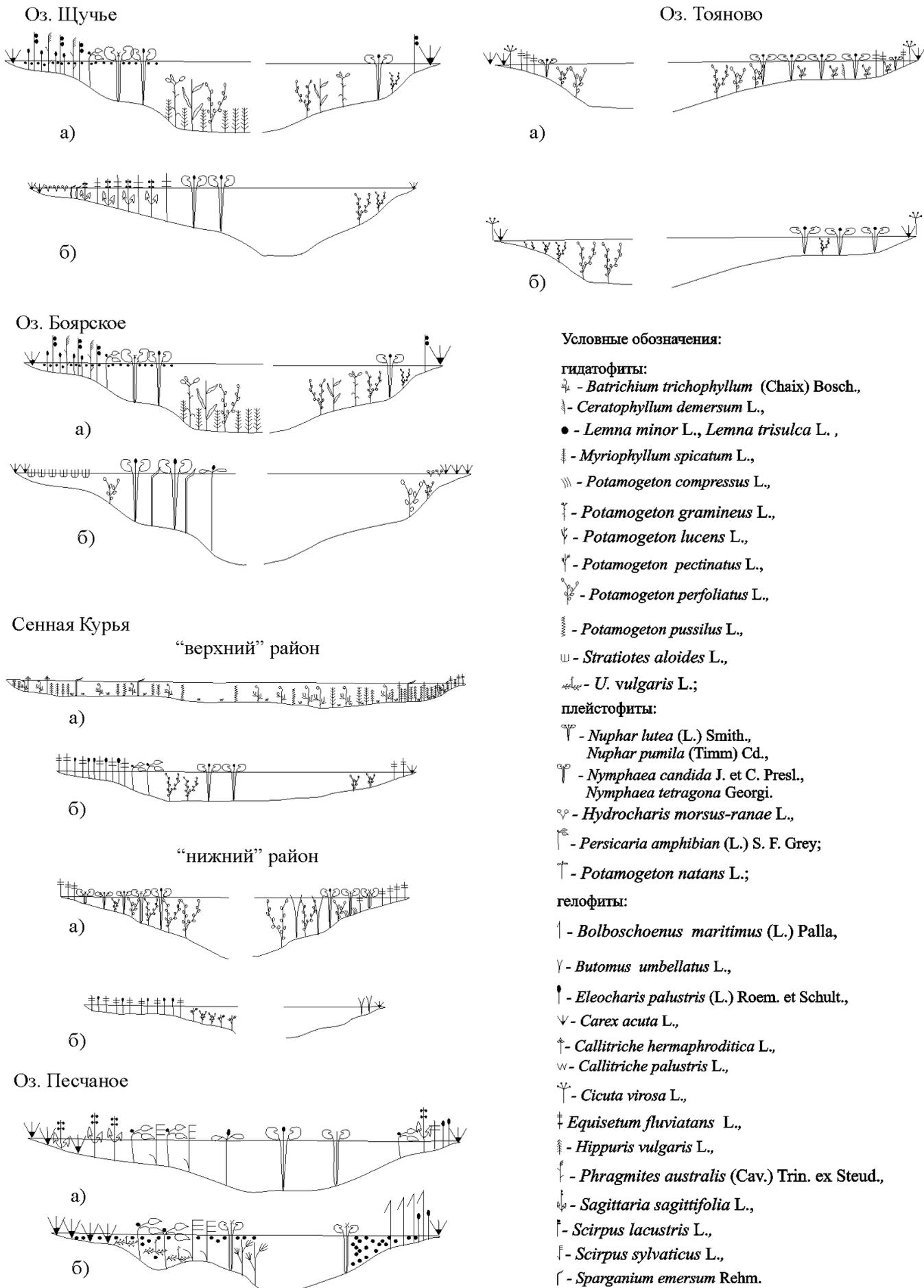


Рис. 7. Динамика сукцессии растительных сообществ водоемов г. Томска:
а) 1938 – 1940 гг., б) 2003 – 2005 гг.

Прослеживается динамика увеличения в составе растительных сообществ видов, относящихся к мегатрофной свите экогрупп. Таким образом, увеличение доли видов толерантных к эвтрофированию вод (*Bidens tripartita* L., *Phalaroides arundinaceae* (L.) Rausch., *Scutellaria galericulata* L. и др.) указывает на интенсивное обогащение воды озер питательными веществами.

Установлено, что за 65-летний период в составе растительных сообществ водоемов возросла роль фитоценозов воздушно-водной растительности, что в целом соответствует общепринятой схеме развития растительного покрова водоемов во времени. Однако в ходе исследования были выявлены такие особенности состава и распределения растительных сообществ, которые не свойственны водным объектам в естественных условиях:

- формирование разнообразных сообществ гидатофитной растительности в оз. Песчаном и смена трофического статуса водоема (дистрофный на мезотрофный),
- несвойственное пойменным водоемам развитие сплавин со стороны открытых берегов (оз. Боярское),
- исчезновение «подводных лугов», образованных фитоценозами погруженных гидатофитов (озера Щучье, Тояново, Боярское, Сенная Курья) (рис. 7).

Анализ воздействия антропогенных факторов на экологический состав и продукционные характеристики растительных сообществ водоемов

Поверхностный сток с урбанизированных территорий значительно отличается от такового в ненарушенных ландшафтах. Это в первую очередь сказывается на прозрачности воды городских водоемов.

В результате проведенных исследований установлена корреляционная зависимость между показателями прозрачности воды и рядом характеристик антропогенного воздействия на водоемы: удаленностью водного объекта от асфальтированных дорог, рекреационной пригодностью и санитарным состоянием водоемов (табл. 4).

Таблица 4

Корреляционная связь между факторами антропогенного воздействия на водоемы и прозрачностью воды

Характер антропогенного воздействия	n	Статистические показатели	
		Rs	p-level
удаленность озера от асфальтированных дорог	12	0,73	0,04
рекреационная пригодность озера	12	-0,73	0,006
санитарное состояние водосбора озера	12	-0,84	0,0006

n – объем выборки; Rs – значение рангового коэффициента корреляции Спирмена; p-level – уровень статистической значимости ($p < 0,05$)

Снижение прозрачности воды зависит не только от содержания твердых взвешенных частиц, но и от количества органических веществ, которые оказывают существенное влияние на проникновение в водную толщу света. В результате проведенного анализа установлена обратная зависимость между прозрачностью воды и содержанием в воде фосфатов и нитратов (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционная связь между
содержанием биогенных веществ и прозрачностью воды

Содержание биогенных веществ (мг/дм ³)	n	Статистические показатели	
		Rs	p-level
N _{NO₃⁻}	12	-0,73	0,001
PO ₄ ²⁻	12	-0,83	0,001

n – объем выборки; Rs – значение рангового коэффициента корреляции Спирмена; p-level – уровень статистической значимости (p<0,05)

С помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена выявлена корреляционная зависимость между воздушно-сухим весом формаций гидатофитной растительности и такими загрязнителями, как аммиак и нитраты (табл. 6).

Таблица 6

Корреляционная зависимость между фитомассой формаций гидатофитной
растительности и содержанием в воде органических веществ (мг/дм³)

Воздушно-сухой вес формаций, кг/м ²	n	Статистические показатели			
		аммиак		нитраты	
		Rs	p-level	Rs	p-level
<i>Potameta perfoliati</i>	23	0,63	0,001	-	-
<i>Stratioteta aloides</i>	13	-	-	0,59	0,033

n – объем выборки; Rs – значение рангового коэффициента корреляции Спирмена; p-level – уровень статистической значимости (p<0,05)

Из таблицы 6 видно, что корреляция между этими показателями высокосignификантна (Rs составляет 0,59 и 0,63), из чего следует, что в зависимости от содержания биогенных веществ надземная фитомасса ряда сообществ настоящей водной растительности увеличивается. Известно, что умеренное антропогенное эвтрофирование на фоне природной трофии благоприятствует развитию погруженной растительности.

Таким образом, антропогенное воздействие на водоемы и их водосборы, выраженное в изменении прозрачности воды, в первую очередь отражается на растительных сообществах, произрастающих в водных местообитаниях.

Результаты статистического анализа показали, что площадь зарастания водоемов зависит от доли сообществ свободно плавающих плейстофитов в составе растительности (R = 0,82, p = 0,001). Растения этой группы обладают рядом экологических свойств, повышающих их конкурентоспособность в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Так, свободно плавающие плейстофиты не имеют необходимости быть связанными с субстратом, поэтому образуемые ими сообщества могут распространяться на значительные глубины. Также, растения, свободно плавающие на поверхности воды, меньше, чем гидатофиты зависят от светового режима, поскольку дорзовентральное строение их листьев позволяет растениям беспрепятственно поглощать свет и обеспечивает проникновение воздуха в листья.

Особенности экологической адаптации растений, образующих сообщества свободно плавающих плейстофитов, к жизни в водоемах объясняются еще и тем, что они тесно связаны с содержанием биогенных веществ в воде. В результате проведенного анализа выявлена зависимость между долей сообществ свободно плавающих плейстофитов, площадью зарастания и содержанием в воде фосфатов (табл. 7).

Таблица 7

Корреляционная зависимость между характеристиками растительного покрова и содержанием в воде биогенов (мг/дм³)

Характеристика растительного покрова	n	Статистические показатели	
		Rs	p-level
площадь зарастания водоема (%)	12	0,80	0,002
доля сообществ свободно плавающих плейстофитов (%)	12	0,66	0,03

n – объем выборки; Rs – значение рангового коэффициента корреляции Спирмена; p-level – уровень статистической значимости ($p < 0,05$)

Большинство видов, входящих в состав сообществ свободно плавающих плейстофитов, являются эвтрафентами, извлекающими биогенные элементы прямо из воды, более того, распределение фитоценозов, образуемых ими, не зависит от прозрачности воды. Таким образом, данная растительность может служить показателем экологического состояния водоемов.

При оценке воздействия экологических факторов среды (в том числе и антропогенных) на растительные сообщества водоемов основное внимание уделяется гидатофитам, реже плейстофитам, поскольку они имеют тесную связь с водной средой и, следовательно, быстрее реагируют на изменения экологических условий. Считается, что гелофиты слабо зависят от химического состава воды. По нашему мнению, гелофиты являются важным звеном в системе связей антропогенного использования водосборов озер и экологического состояния водных экосистем. Тесная связь с различными средами жизни этой группы растений позволяет судить о состоянии не только воды, но и водосборной территории водоема. Так, гелофиты, исполняя роль барьера, преграждают распространение загрязняющих веществ за пределы прибрежных мелководий.

В результате проведенных исследований установлено, что сообщества гелофитной растительности чутко реагируют на загрязнение воды фенолами. Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между долей гелофитных сообществ и содержанием в воде фенолов ($R = - 0,79$, $p = 0,002$).

Известно, что загрязнение водоемов фенолами резко ухудшает их общее санитарное состояние, оказывая влияние на биоту своей токсичностью и значительным изменением содержания биогенных элементов и растворенных газов (кислорода и углекислого газа) (Гидрохимические показатели..., 2000).

Таким образом, изменение продукционных характеристик и экологического состава растительных сообществ в результате смены условий среды может служить показателем качества воды и экологического состояния водоемов.

Прогноз экологического состояния водоемов г. Томска в связи с динамикой растительных сообществ

Анализ полученных нами данных позволяет предположить, что при сохранении современного уровня антропогенной нагрузки исследованные водоемы уже в течение 15 – 20 лет могут поменять свой облик. Известно, что при интенсивном антропогенном воздействии, сопровождающемся загрязнением водной среды, уже за 15 лет макрофитный водоем может превратиться в фитопланктонный (Покровская, 1975).

Результаты наших исследований позволяют утверждать, что ход сукцессии растительных сообществ водоемов в условиях городской среды не всегда предсказуем. Это обусловлено тем, что в результате антропогенного воздействия за короткий отрезок времени возможны кардинальные изменения водных экосистем. Например, оз. Белое менее чем за 100 лет превратилось в искусственный водоем. Озеро Песчаное за 65 лет перешло из разряда дистрофных озер в эвтрофное. Сенная Курья ранее представляла единую систему с р. Томью и характеризовалась сходным с рекой разнообразием фитоценозов, в настоящее время является изолированным от речного русла зарастающим водоемом.

Результаты проведенных исследований, полученные автором, и сравнение их с данными о растительности водоемов в 1938 – 1940 гг. дают основания полагать, что в будущем для водоемов г. Томска будет характерно повышение темпов зарастания, типологические изменения которого могут проявляться в распространении фитоценозов свободно плавающих плейстофитов.

ВЫВОДЫ

1. Состав и структура растительных сообществ водоемов г. Томска характеризуется 32 формациями, включающими в себя 49 ассоциаций. По количеству ассоциаций наиболее разнообразны сообщества воздушно-водной растительности, которые образуют основную надземную фитомассу водоемов.
2. Установлено, что в условиях городской среды наиболее устойчивыми по отношению к увлажнению являются растительные сообщества с преобладанием гемигидрофитов, а наименее – гипергидрофитов. По отношению к трофности характер местообитаний растительных сообществ исследованных водоемов изменяется по убыванию: мезоэуτροφитная серия местообитаний – эуτροφитная – мезотрофитная – гипогалофитная – мезогалофитная – мезоолиготрофитная.
3. Для городских водоемов жилых и промышленных районов характерно отсутствие зоны, образованной сообществами прикрепленных плейстофитов, что является следствием антропогенного нарушения водных местообитаний, а именно формирования субстратов, неблагоприятных для их произрастания.
4. Установлено, что в условиях г. Томска сокращение доли гидатофитов и плейстофитов в составе растительных сообществ связано с механическим уничтожением растений и снижением прозрачности воды. Увеличение доли гелофитов в значительной мере зависит от антропогенного изменения гидрологического режима водоемов. Установлено сокращение доли гелофитов в составе растительности в зависимости от концентрации фенолов в воде.
5. Заращение водоемов в условиях городской среды происходит за счет увеличения доли сообществ свободно плавающих плейстофитов. Установлено, что такие факторы как прозрачность воды и концентрация азотсодержащих соединений (аммиака и нитратов) снижают конкурентноспособность других экологических групп растений.
6. Выявлены особенности динамики растительных сообществ водоемов в городских условиях с 1938 по 2005 гг.: изменение разнообразия фитоценозов; формирование растительных сообществ, не свойственных морфологическим особенностям водоемов; снижение встречаемости видов, образующих фитоценозы прикрепленной плейстофитной и гидатофитной растительности.
7. При сохранении современного уровня антропогенной нагрузки будет происходить дальнейшее заращение водоемов, сопровождающееся сокращением доли сообществ прикрепленными гидатофитам и плейстофитами. В дальнейшем доминирующее положение займут растительные сообщества с преобладанием видов *Spirodela polirrhiza*, *Ceratophyllum demersum*.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Суханова И.В.**, Цибульникова М.Р. Использование ретроспективного анализа изменений макрофлоры водоемов урбанизированных территорий в мониторинге экологического состояния лесной зоны юга Томской области // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. Материалы Международной научно-практической конференции, Томск, 21 – 22 марта 2005 г. – Томск, 2005. – С. 202 – 204.
2. Цибульникова М.Р., **Суханова И.В.** Оценка экологического состояния озера Песчаное по состоянию макрофитов // Проблема экологической безопасности и природопользования в Западной Сибири: Труды Томского государственного университета. Сер. Биологическая. – Томск: Томский гос. ун-т, 2002. – Т. 266. – С. 71 – 73.
3. **Суханова И.В.** Биоиндикационная оценка состояния водного памятника природы «Озеро Песчаное» // Материалы XLII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Биология. – Новосибирск, 2004. - С. 189 – 190.
4. **Суханова И.В.** Экологические проблемы рекреационного использования водных памятников природы Томской области // Алтай: экология и природопользование: Материалы III российско-монгольской научной конференции молодых ученых и студентов. - Бийск: НИЦ БПГУ им. В.М. Шукшина, 2004. – С. – 260 – 264.
5. **Суханова И.В.** Значение макрофитов в мониторинге экологического состояния водоемов // Энергия молодых - экономике России: труды V Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной столетию экономического образования в Томском политехническом университете, Томск, 20-24 апреля 2004 г.: В 2 ч. / Томский политехнический университет; Вольное экономическое общество России; Энергия молодых – экономике России. Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004 С. 534 – 535.
6. **Суханова И.В.** Оценка экологического состояния водных экосистем Томска как показатель устойчивого использования рекреационных ресурсов // Вестник Томского гос. ун-та. Серия «Экология» № 13. – Томск, 2005. С. 130 – 131.
7. **Суханова И.В.** Флора водоёмов урбанизированных территорий лесной зоны юга Томской области // Материалы VI Всероссийской школы-конференции по водным макрофитам «Гидрботаника 2005» (пос. Борок, 11—16 октября 2005 г.). Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006. С. 359 – 361.
8. **Суханова И.В.** Макрофиты – индикаторы состояния водоемов урбанизированных территорий // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии Сб. научных работ. Под ред. проф. д.б.н. Н.Н. Ильинских. – Томск, 2004. Т 3, № 4. С. 42 – 43.
9. **Суханова И.В.** Воздействие антропогенных факторов на растительность водоемов г. Томска // "Безопасность жизнедеятельности". – Москва, 2007 г. (в печати)