

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Вятский государственный университет»**



На правах рукописи

КУТЯВИНА ТАТЬЯНА ИГОРЕВНА

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИКАЦИИ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

03.02.08 – Экология (биология)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Ашихмина Т.Я.

Киров – 2017

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭВТРОФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУСТВЕННО СОЗДАННЫХ ВОДОЁМОВ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР).....	9
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	22
2.1. Физико-географическая характеристика объектов исследования.....	22
2.2. Методы исследования и оценки состояния водохранилищ	42
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	51
3.1. Оценка химического состава воды водохранилищ в условиях различного природного и техногенного загрязнения	51
3.2. Особенности химического состава донных отложений исследуемых водохранилищ	67
3.3. Сравнительная характеристика исследуемых водохранилищ с различной природно-техногенной нагрузкой	76
ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ОМУТНИНСКОГО ПРУДА)	79
4.1. Характеристика доминирующих видов высших водных растений в Омутнинском водохранилище.....	79
4.2. Изучение влияния процессов эвтрофирования на видовой состав высшей водной растительности Омутнинского водохранилища	89
4.3. Выявление растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования в Омутнинском водохранилище.....	90
4.4. Выявление доминирующих видов водорослей в Омутнинском водохранилище.....	93
4.5. Изучение донных беспозвоночных Омутнинского водохранилища.....	97
4.6. Изучение степени развития гнилостных бактерий в Омутнинском водохранилище.....	101

4.7. Токсикологическая оценка проб воды и донных отложений Омутнинского водохранилища	103
4.8. Выявление характерных особенностей антропогенного эвтрофирования исследуемых водоёмов.....	105
4.9. Рекомендации по снижению процессов эвтрофирования в водоёмах Кировской области	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
ВЫВОДЫ.....	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	139

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема загрязнения поверхностных вод с каждым годом становится всё более актуальной. Связано это в основном с развитием промышленности, ростом городов, поступлением в водоёмы огромного количества загрязняющих веществ, биогенных элементов через сточные воды поселений, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий, что приводит к значительному увеличению количества эвтрофированных водоёмов, деградации в них как отдельных компонентов экосистемы, так и целых сообществ организмов [1-3]. Эвтрофикация приводит к снижению рыбохозяйственного и рекреационного потенциала водоёмов, оказывает негативное влияние на системы очистки воды из водных объектов для питьевого водоснабжения [5, 6]. При эвтрофикации часто наблюдается «цветение» воды, массовое развитие высших водных растений. В настоящее время антропогенная эвтрофикация рассматривается как важнейший фактор негативного воздействия промышленной, сельскохозяйственной и иной деятельности на водные объекты [7]. Решение проблем по снижению эвтрофирования водоёмов – насущная задача современной науки и практики. Необходимо получать более точные количественные оценки, выявлять наиболее значимые информативные факторы в развитии процессов загрязнения водных объектов и их эвтрофирования, разрабатывать оптимальные методы и технологии очистки водоёмов и меры их социальной защиты и реабилитации.

Цель исследования: изучение процессов эвтрофикации водохранилищ Кировской области, выявление источников их загрязнения и разработка рекомендаций по снижению эвтрофирования водоёмов.

Задачи исследования:

1. Обосновать выбор и дать комплексную оценку состояния водохранилищ Кировской области по химическому анализу воды и донных отложений.

2. Выявить характерные особенности, причины и факторы природно-техногенного эвтрофирования водохранилищ Кировской области.
3. Оценить влияние процессов эвтрофирования на видовой состав и распространение низших и высших водных растений, таксономическое разнообразие макрозообентоса на примере модельного водоёма.
4. Разработать рекомендации по снижению процессов эвтрофирования в водоёмах Кировской области с учётом региональных особенностей природно-техногенного характера.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Комплексный системный анализ оценки состояния исследуемых водохранилищ с различной природно-техногенной нагрузкой позволяет выявить причины и факторы природного и техногенного эвтрофирования водоёмов: антропогенная деятельность на водосборе водных объектов, развитие эрозионных процессов, динамический режим вод, наличие и соотношение в воде биогенных элементов, характер загрязнения воды, видовой состав и развитие низших и высших растений, зообентоса, степень развития микроорганизмов.
2. Эвтрофикация водоёмов оказывает влияние на качество воды, качественный и количественный состав высшей водной и прибрежно-водной растительности, донных беспозвоночных. В связи с этим, для снижения процессов эвтрофирования водоёмов необходимо использование целого комплекса мероприятий, охватывающего все компоненты экосистемы.

Предмет исследования. Изучение процессов эвтрофирования водоёмов на территории Кировской области.

Объекты исследования: водохранилища Кировской области с различной природно-техногенной нагрузкой.

Научная новизна работы. В результате исследования на основе многофакторного анализа сделана сравнительная биогеохарактеристика водохранилищ с различной природно-техногенной нагрузкой, расположенных в северо-восточной части территории Кировской области.

Впервые методом комплексирования природных и антропогенных факторов, способствующих развитию процессов эвтрофирования, выявлены региональные особенности эвтрофирования водоёмов Кировской области: антропогенная деятельность на водосборе водных объектов, развитие эрозионных процессов, динамический режим вод, наличие и соотношение в воде биогенных элементов, характер загрязнения воды, видовой состав и развитие низших и высших растений, зообентоса, степень развития микроорганизмов. Впервые на основе системного анализа водных экосистем определены информативные виды высших растений-индикаторов антропогенного эвтрофирования и загрязнения водоёмов Кировской области. К ним относятся: рдест пронзённолистный (*P. perfoliatus* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), ряска малая и трёхдольная (*Lemna minor* L. и *L. trisulca* L.), многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid). На основе приоритетного перечня показателей исследуемые водохранилища впервые ранжированы по степени эвтрофирования. Определены зоны в водоёмах, наиболее подверженные антропогенной эвтрофикации.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

Разработанные в ходе исследования мероприятия и рекомендации по снижению процессов эвтрофирования, выявленные доминирующие виды водорослей и информативные виды растений-индикаторов антропогенного эвтрофирования могут быть использованы в проведении экологического мониторинга водоёмов Кировской области, оценке их состояния и в принятии мер по снижению процессов эвтрофирования водных объектов. Материалы диссертационного исследования используются администрацией Омутнинского городского поселения Кировской области в практической деятельности по снижению процессов эвтрофирования Омутнинского водохранилища. Имеется акт о внедрении. Кроме того, материалы исследования могут быть использованы в решении проблем по снижению

процессов эвтрофирования на примере других водоёмов Кировской области и в других регионах. Материалы исследования используются в учебном процессе для проведения практических занятий по курсам: «Экологический мониторинг», «Гидрохимический анализ», «Методы контроля загрязняющих веществ», при выполнении бакалаврами и магистрами курсовых и выпускных квалификационных работ по экологии водных экосистем.

Обоснованность и достоверность научных результатов обеспечивается использованием комплекса современных биологических и физико-химических методов экспериментальных исследований, многофакторного анализа, статистической обработки полученных результатов. Оценка состояния эвтрофированных водоёмов выполнена по материалам многолетних наблюдений, широкому спектру показателей, на репрезентативных участках отбора проб воды, донных отложений, растительности и микробиоты. Физико-химический анализ проб воды и донных отложений выполнен по аттестованным методикам измерений в аккредитованной экоаналитической лаборатории.

Личный вклад. Автор научного исследования принимала непосредственное участие в постановке цели и задач исследования, проведении научных экспериментов, выполнении полевых исследований, камеральной обработке, проведении биологических, токсикологических и химических анализов, в их обсуждении и интерпретации полученных результатов, составлении картосхем, формулировке выводов, подготовке публикаций.

Апробация исследований. Основные положения диссертации были представлены на: V всероссийской научно-практической конференции «Формирование и реализация экологической политики на региональном уровне» (Ярославль, 2011); XIX Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2012); II (X) Международной Ботанической конференции молодых ученых в Санкт-Петербурге (Санкт-Петербург, 2012); X Всероссийской научно-

практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем (Киров, 2012); XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем» (Киров, 2013); IV Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» (Пермь, 2013); XXI Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2014); конкурсе научно-исследовательских работ и инновационных проектов, проводимом в рамках Всероссийской школы молодых ученых «Мы – за будущее!» (Ульяновск, 2014); Всероссийской научной конференции «Закономерности функционирования природных и антропогенно трансформированных экосистем» (Киров, 2014); XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем (Киров, 2014); Всероссийской научной конференции молодых учёных «Экология родного края: проблемы, пути решения» (Киров, 2015); XIII и XIV Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем (Киров, 2015, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 32 научных работы, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Работа отмечена дипломом за II место по итогам конкурса научно-инновационных проектов молодых ученых международного инновационного форума «YOUNG ELPIT» в рамках четвёртого международного экологического конгресса ELPIT-2013 (заочное участие, номинация «Аспиранты», см. приложение) (Тольятти, 2013).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и приложений. В списке литературы 154 источника, в том числе 31 на иностранных языках. Общий объем диссертации 139 страниц, из них 118 страниц основного текста, 18 таблиц и 29 рисунков.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭВТРОФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫХ ВОДОЁМОВ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Проблема загрязнения поверхностных вод стала особо актуальна в XX веке. Связано это в основном с развитием промышленности и ростом городов [1]. Поступление в водоёмы огромного количества загрязняющих веществ приводит к деградации как отдельных компонентов экосистемы, так и целых групп водоёмов [2]. Это, в свою очередь, служит причиной сокращения запасов пресной воды на локальном и региональном уровне. С середины XX века в связи с ростом антропогенного загрязнения наблюдается стремительное нарастание количества эвтрофированных водоёмов [3]. Согласно определению [4], эвтрофирование – это повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов. Источником антропогенного поступления биогенных элементов могут быть сточные воды поселений, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий. При эвтрофикации часто наблюдается «цветение» воды, массовое развитие высших водных растений. Эвтрофикация приводит к снижению рыбохозяйственного и рекреационного потенциала водоёмов, оказывает негативное влияние на системы очистки воды из водных объектов для питьевого водоснабжения [5, 6]. В настоящее время антропогенная эвтрофикация рассматривается как важнейший фактор негативного воздействия человеческой деятельности на водные объекты [7].

Изучение эвтрофикации имеет длительную историю. Исследования по выявлению причин эвтрофикации проводятся с конца XVIII века. Однако до середины XX века работы носили в основном описательный характер. О первых признаках эвтрофирования водоёмов в начале XX века писал Л.Л. Россолимо [3]. Во второй половине XX века процессы антропогенного

эвтрофирования затронули большую часть озёр Средней и Южной Европы, США, ряд озёр Северной Европы, России и сопредельных государств бывшего СССР, Азии, особенно Китая и Индии, Японии, ряд озёр Центральной и Южной Америки, Африки и Австралии. Многочисленные примеры деградации озёр рассматриваются в обзоре по развитию исследований процесса эвтрофикации [8]. Во второй половине XX века, в связи с увеличением масштабов эвтрофирования водоёмов, возросло количество экспериментальных работ в этом направлении.

На эвтрофикацию водоёмов оказывают влияние многие факторы. Обычно их делят на две группы: абиотические и биотические. К абиотическим факторам относятся свет, прозрачность, температура, динамический режим вод, солёность и минеральный состав воды, кислотность, содержание биогенных веществ. Биотические факторы включают в себя фитогенные, зоогенные и антропогенные. Причём антропогенные в последнее время приобрели решающее значение. Об этом свидетельствует работа, выполненная на примере водных экосистем бассейна Верхнего Дона. В ходе данного исследования проведено сопоставление процессов эвтрофирования поверхностных вод этого региона в условиях межледникового периода, голоцена и в современную эпоху [9]. Показано, что эвтрофирование в межледниковое время и в голоцене отражало природную эволюцию водоёмов, а в современных водных экосистемах является следствием антропогенного загрязнения.

Изменение абиотических факторов можно определить как прямым способом, то есть проводя физико-химический анализ водных объектов, так и косвенным, – через изменение структуры и параметров организменных и популяционных характеристик живых организмов-обитателей водоёмов. Известно, что продуценты первого трофического уровня, к которым относится фитопланктон, являются начальным звеном для развития процессов эвтрофирования [10]. В связи с этим, изменение их состояния служит индикатором происходящих в водном объекте процессов. В водоёмах

умеренной зоны России в течение многих лет проводились наблюдения за изменением таксономического состава, структуры, динамики и продукционных характеристик планктонных альгоценозов, развивающихся в различных экологических условиях [11-13]. Подобные работы проводились в Уральском регионе [14], но они носили кратковременный характер. В работе О.Г. Гороховой [15] приводятся данные по изучению видового состава фитопланктона 23 малых эвтрофных водоёмов особо охраняемых природных территорий Самарской области. Показано, что изученные водоёмы по полным спискам видов можно объединить в две группы. К первой группе относятся водоёмы, различные по происхождению, реакции среды (рН), цветности, минерализации. Во вторую группу вошли водоёмы с влиянием стрессовых факторов и тем же диапазоном цветности и минерализации, что и водоёмы первой группы. Коллектив авторов из Лаборатории альгологии Ботанического института им. В. Л. Комарова составил сводку по водорослям, вызывающим «цветение» пресных водоёмов Северо-Запада России и восточной части Финского залива Балтийского моря [16]. В их работе приводятся сведения о более чем 200 разнотипных водоёмах г. Санкт-Петербурга, Ленинградской, Псковской, Новгородской областей и сопредельных регионов. В исследовании А.Г. Охупкина [17] приводятся данные по изучению фитопланктона водохранилищ в бассейне Средней Волги. Отмечается, что зарегулирование Средней Волги привело к обеднению состава сообществ, упрощению видовой структуры, росту относительного значения цианобактерий (ЦБ) и увеличению сапробности воды. При этом эвтрофирование, различные формы загрязнения, антропогенная трансформация водосборной площади и формы озёрной котловины определяют особенности развития фитопланктона. Характерной закономерностью при эвтрофировании является увеличение доли ЦБ в общей численности и биомассе фитопланктона [18].

При увеличении антропогенного эвтрофирования озёр происходит изменение структуры фитопланктона, увеличение его численности и

биомассы [2]. Результаты многолетних исследований состояния экосистемы оз. Воже позволяют проследить динамику количественных и качественных показателей фитопланктона. Сравнительный анализ собранных материалов даёт возможность выявить несколько закономерностей его изменения [19]. В структуре фитопланктона происходит изменение доминирующего диатомово-цианобактериального комплекса водорослей в сторону преобладания ЦБ (более 90% по численности). При этом ЦБ в основном представлены мелкими формами. Смещение размерной структуры в сторону преобладания мелких, более продуктивных форм, заметное увеличение численности и биомассы фитопланктона подтверждают ускорение процессов эвтрофирования оз. Воже. Экспериментальными работами [20] показано, что прирост биомассы водорослей идёт пропорционально количеству поглощённого света до определённого предела, после чего наступает световое насыщение, и развитие водорослей замедляется. Отмечается, что чрезмерно сильный свет может действовать на водоросли губительно [21]. Появление в планктоне весной определённых видов диатомовых водорослей связывается с увеличением света и проникновением его в придонные слои [22]. Помутнение воды может способствовать развитию диатомовых водорослей [23, 24]. Объясняется это тем, что при помутнении увеличивается содержание в воде минеральных веществ. В то же время в реках и водохранилищах даже незначительное помутнение воды всегда связано с уменьшением видового состава планктонных водорослей. Особенно чувствительны к этому фактору ЦБ из родов *Anabaena* и *Microcystis* [24]. На распределение фитопланктона большее влияние оказывают такие факторы, как свет, температура, содержание растворённого органического вещества [25].

На жизнедеятельность водорослей оказывает влияние динамический режим вод. Отмечается положительное влияние динамического фактора на продуктивность планктона в глубоководных водоёмах [26]. Оно состоит в лучшем снабжении клеток питательными веществами, а в мелководных

водоёмах движение воды увеличивает мутность, что отрицательно влияет на развитие планктонных водорослей. Скорость воспроизводства фитопланктона является функцией двух факторов среды: солнечной радиации и силы ветра, от которой зависит глубина перемешивания [27]. В 2006-2008 гг. были организованы специальные наблюдения на Куйбышевском, Саратовском и Волгоградском водохранилищах. В результате исследования [28] было отмечено, что наиболее неблагоприятная экологическая обстановка складывается на приплотинных плёсах водохранилищ при отсутствии стокового течения, ветрового перемешивания и наличия высоких температур воды (+25, +27°C). Также подчёркивается, что создание и эксплуатация крупных плотин на Средней и Нижней Волге вызывает изменение первичной биологической продуктивности водохранилищ, обусловленное замедлением водного обмена и нарушением круговорота биогенных веществ на водохранилищах.

Множество работ, среди которых важное место занимают работы как отечественных исследователей [22, 29-33], так и зарубежных [34-41], посвящено выяснению роли химических элементов в жизни водорослей. Стоит заметить, что мнения о значимости того или иного химического элемента часто не совпадают. Например, установлено, что планктонные диатомовые водоросли хорошо развиваются тогда, когда воды богаты нитратами, фосфатами и кремнием, т.е. весной и зимой; зелёные водоросли появляются летом, когда нитратов и фосфатов мало; золотистые могут приходить на смену диатомовым, если в воде повышенные отношения нитратов к фосфатам и мало кремния; ЦБ способны быстро расти при минимальном количестве нитратов и фосфатов и положительно коррелируют с содержанием органических веществ [42-44]. По другим данным, число видов ЦБ не зависело от содержания фосфатов, в то время как число золотистых и зелёных снижалось с увеличением концентрации соединений фосфора в воде [45]. Результаты изучения Шершнёвского водохранилища показали, что фосфор играет важную роль для развития ЦБ, а для

диатомовых водорослей имеет второстепенное значение [46]. В этом же исследовании отмечается влияние кремния на фитопланктон: содержание в воде растворённых форм кремния играет решающую роль в преимущественном росте и развитии диатомовой микрофлоры и отрицательно сказывается на развитии ЦБ в водоёме. Некоторые авторы считают, что увеличение нагрузки по фосфору приводит к сукцессии видов, которая проявляется в замене диатомовых водорослей зелёными, а затем и ЦБ [47]. Сравнительная оценка отклика фитопланктона на содержание фосфора была получена на примере крупных равнинных водохранилищ Днепра и Волги. Был проведён анализ соотношения между содержанием хлорофилла *a* и фосфора [48]. Показано, что эффективность использования фосфора планктоном большинства днепровских водохранилищ меньше, чем волжских водохранилищ. При этом более значительная антропогенная нагрузка отмечалась на днепровских водохранилищах. В работе [49] отмечается, что фосфор является основным фактором, ограничивающим рост водорослей. В ряде работ приводятся данные о влиянии железа на развитие разных отделов водорослей и цианобактерий. В работах [50-51] отмечается массовое развитие цианобактерий и подавление развития протококковых и диатомовых в водохранилищах с малым содержанием железа в воде. Другие авторы сообщают об ингибирующем влиянии высоких концентраций железа на развитие цианобактерий [52].

Проводилась экспериментальная работа по изучению влияния добавок биогенных элементов на фитопланктон [53-55]. В литературе приводятся данные о концентрациях биогенных элементов, которые оказывают стимулирующее, лимитирующее либо токсическое действие на развитие некоторых отделов водорослей [56]. Наиболее благоприятны для развития фитопланктона концентрации азота 5-10 мг/л в форме нитрат-иона [57]. Аммонийный азот в концентрации 5 мг/л токсичен для ЦБ [58]. Концентрация минерального фосфора 0,01 мг/л – порог лимитирования для ЦБ [59]. Когда отношение общего азота к общему фосфору менее 10 (или

отношение неорганических форм этих элементов менее 5), развитие фитопланктона лимитирует азот, а когда оно более 12, лимитирует фосфор [21, 60, 61]. В работе, проведённой на Можайском водохранилище, отмечается, что малый внутренний круговорот фосфора с участием хемогенного кальцита является важным регулятором процесса «цветения» воды [62].

О степени загрязнения и эвтрофирования водных объектов можно судить по наличию индикаторных видов фитопланктона. По степени загрязнённости воды органическими веществами водоёмы и живущие в них организмы делят на поли-, мезо- и олигосапробные [63]. В полисапробной зоне водоёма отсутствует свободный кислород, преобладают бактерии, водоросли многочисленны, но их видовое разнообразие невелико. В мезосапробной зоне присутствуют сероводород, диоксид углерода, кислород, выделяемый водорослями. Мезосапробную зону делят на α -мезосапробную и β -мезосапробную. В первой зоне присутствует аммиак и аминокислоты, минерализация осуществляется за счёт аэробного окисления, встречаются водоросли. Во второй зоне присутствует аммиак и продукты его окисления, много кислорода. Наблюдается высокое видовое разнообразие водорослей, но их численность может быть ниже, чем в α -мезосапробной зоне. В олигосапробной зоне практически нет растворённых органических веществ, много кислорода, небольшая численность водорослей. В Ижевском водохранилище из 250 видов и внутривидовых таксонов водорослей индикаторами органического загрязнения являются 146 таксонов, в том числе 17 α -мезосапробов, 110 β -мезосапробов и 19 олигосапробов [64]. Высокую общую численность фитопланктона, большей частью представленного ЦБ, авторы связывают с поступлением в водоём биогенных элементов.

Большое количество работ как российских, так и зарубежных авторов посвящено изучению ЦБ. Определённые виды нитчатых и колониальных форм ЦБ при наличии комплекса благоприятных условий для их развития

способны вызывать «цветение» воды [65-67]. Масштабные исследования по изучению эвтрофикации и «цветения» воды в водоёмах Европейской части России проводились Л.А. Сиренко. Её работы посвящены изучению ЦБ, их роли в «цветении» воды и методам его регулирования [5, 52, 64]. Данные о видовом богатстве ЦБ в разнотипных водоёмах Ирана приведены в работе Б. Зареи Дарки [68]. Описаны флористические и функциональные аспекты цианобактериального «цветения» разнотипных водоёмов восточно-европейских тундр [69].

Для выявления степени эвтрофирования водоёмов используют гидробионтов, чаще всего зоопланктонные и зообентосные организмы. Разработаны различные индексы и показатели, позволяющие оценить трофность водных объектов. При изучении экологического состояния Кучурганского водохранилища, используемого в качестве водоёма-охладителя, применялись такие показатели, как Карра и Хилтонена, Гуднайта и Уитлея, Ландбека и Сизера; индексы Кинга и Балла, сапробности Пантле и Букка [70]. Было отмечено, что для целей биоиндикации в водохранилищах-охладителях непроточного типа умеренной зоны наиболее целесообразно использовать индексы Гуднайта и Уитлея, Карра и Хилтонена, Пантле и Букка. Показатель Ландбека и Сизера более приемлем для биоиндикации водоёмов с естественным термическим режимом. Проводились работы по модификации индекса Пантле-Букка для малых водотоков центра Европейской России, для водоёмов разных типов на всей территории Европейской России [71]. Результаты многолетних гидробиологических исследований на Можайском водохранилище, в том числе результаты по изучению простейших организмов (инфузорий), показали, что количественные показатели развития инфузорий и величина их продукции зависят от трофического статуса водоёма [72].

В работах по изучению степени эвтрофирования на однотипных водохранилищах, расположенных вблизи металлургических заводов, использованы физико-химические и биоиндикационные методы [73-75]. Для

оценки состояния поверхностных водных объектов в зоне влияния химического комбината проводилось сопоставление результатов гидрохимического анализа с данными, полученными при биотестировании по двум тест-объектам [76]. Отмечается, что *Daphnia magna* чувствительна к повышенному радиационному фону, а *Paramecium caudatum* – к повышенному содержанию железа и тяжёлых металлов. Методы биотестирования применялись при оценке качества воды водоёма-охладителя Балаковской АЭС. Показано, что высокая концентрация солей в воде может оказывать негативное влияние на одноклеточные организмы [77].

В последнее время всё больше работ по изучению процессов эвтрофирования водных объектов выполняется с применением методов математического моделирования и компьютерных технологий, в частности с применением геоинформационных систем (ГИС). Основа для разработки математических моделей эвтрофирования была заложена в 1970-х гг. [78-80]. Условно все модели эвтрофирования можно разделить на две группы: качественно-аналитические и эмпирические; имитационные (портретные) [81]. Для моделей первой группы характерно использование небольшого количества моделируемых параметров состояния, исследование средних для водоёма стационарных условий протекания процесса эвтрофирования. Модели второй группы детализированы, многокомпонентны и требуют больших объёмов исходной информации. Имитационное моделирование применяется для прогнозирования развития эвтрофикации водоёмов, но не позволяет в целом охватить экосистему. Качественно-аналитическое моделирование позволяет не только прогнозировать течение процесса эвтрофирования, но и затрагивает его механизмы и их сущность. При использовании этого подхода моделируют эвтрофирование с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. В модели одного из малых озёр в Дании, подвергавшемуся загрязнению бытовыми сточными водами, рассматривались три трофических уровня: фитопланктон, зоопланктон, ихтиофауна, а также три независимых цикла

биогенных элементов (фосфора, азота, углерода) [82]. В результате численных экспериментов установлено, что наиболее чувствительными параметрами модели являются максимальная скорость роста фито- и зоопланктона, смертность зоопланктона, максимальные скорости дыхания фито- и зоопланктона, скорость осаднения водорослей, максимальная скорость потребления углерода фитопланктоном. Математическое моделирование процессов эвтрофирования применялось для водоёмов-охладителей гидроэлектростанций [83-85]. Моделирование применяли при исследовании переноса загрязнений в водохранилищах, расположенных в криолитозоне [86]. При этом учитывались возможные деформации русел, вызванные таянием слагающих их многолетнемерзлых пород при повышении температуры воды речного потока. Разработанная математическая модель распространения примеси в потоках с деформируемыми руслами, сложенными многолетнемерзлыми породами, позволяет описывать происходящие процессы и давать прогностические оценки их динамики в условиях изменения климата. При математическом моделировании процессов «цветения» воды Куйбышевского водохранилища были представлены локальная, одномерная и двухмерная модели процессов эвтрофирования [87]. Методы математического моделирования применялись для изучения Ладожского озера [88-90]. В результате отмечено, что решающим фактором, определяющим трансформацию экосистемы, являлось изменение фосфорной нагрузки.

Для оценки воздействия антропогенной деятельности на водосборе на гидроэкологическое состояние водных объектов используются картографические методы с применением ГИС-технологий [91]. Установлена связь между пространственной структурой хозяйственной деятельности на водосборе и качеством водных ресурсов в Шершневском водохранилище. ГИС-моделирование использовалось для изучения Нижнезырянского водохранилища в Пермском крае. Для данного водоёма была создана модель

пространственного распределения донных отложений, произведено зонирование дна по степени экологической опасности [92].

Для оценки биопродуктивности морских и континентальных водоёмов очень часто применяют данные дистанционного зондирования Земли. При этом ключевым показателем является концентрация хлорофилла *a* – фотосинтезирующего пигмента, содержащегося в каждом виде фитопланктона. При оценке биопродуктивности используются эмпирические соотношения концентрации хлорофилла и спектральных характеристик восходящего из водного объекта излучения. Применяемые в настоящее время алгоритмы оценки концентрации хлорофилла *a* по данным спутниковых сканеров цвета для акватории Азовского моря приводят к ошибочным результатам [93]. Для того чтобы получать более достоверные результаты, необходимо проводить корректировку алгоритмов для высокопродуктивных и мутных прибрежных, внутренних вод и эстуариев, где фитопланктон является не единственным фактором, определяющим их оптические свойства. В целом, математическое моделирование в совокупности с лабораторными экспериментами и полевыми наблюдениями позволяет получать более точные количественные оценки, выявлять наиболее значимые факторы в развитии процессов эвтрофирования, загрязнения водных объектов.

В научной литературе приводится множество сведений о решении проблемы эвтрофикации в водоёмах различного типа. Согласно литературным данным [81], все существующие методы борьбы с антропогенным эвтрофированием можно разделить на две группы: мероприятия, проводимые на водосборе и мероприятия, проводимые непосредственно на водоёме. Первая группа методов направлена на снижение внешней нагрузки биогенных веществ на водоём, привносимых с поверхности водосбора. К мероприятиям этой группы относятся: контроль над применением удобрений, пестицидов и гербицидов, изменение сельскохозяйственной практики, управление животноводческими и

хозяйственно-бытовыми стоками, контроль над состоянием почв и др. К этой группе методов также относится строительство очистных сооружений на основных притоках, питающих водоёмы, отведение особо опасной части стоков, строительство круговых коллекторов и другие меры. Вторая группа методов включает в себя: удаление донных отложений, аэрацию глубинных слоёв воды, добавление чистой воды в водоёмы, химическое осаждение и инактивацию биогенных веществ, изменение отношения N:P, использование ячменной соломы в качестве ингибитора развития водорослей фитопланктона [94], заселение высших водных растений, биоманипуляции [95], основанные на изменениях в пищевой цепи. Эффективность одних и тех же методов на разных водоёмах отличается. Это объясняется различием в географических, климатических условиях, характеристиках водоёма и в их хозяйственном использовании. То есть, способы борьбы с эвтрофикацией для каждого конкретного водоёма нужно подбирать, учитывая его региональные особенности.

Таким образом, изучение научной литературы позволяет сделать выводы о том, что на процессы эвтрофирования водоёмов влияет множество факторов. Наиболее значимыми из них являются следующие: наличие и соотношение в воде биогенных элементов (в частности азота и фосфора), динамический режим вод, видовой состав и развитие низших и высших растений. Особенно важным фактором в последние десятилетия стоит считать антропогенную деятельность на водосборе водных объектов. По материалам научных исследований можно сделать вывод о том, что снижение процессов эвтрофирования водоёмов может быть достигнуто за счёт мероприятий, проводимых на водосборе и непосредственно в водоёме. Однако до настоящего времени крайне мало проведено исследований по выявлению региональных особенностей антропогенной эвтрофикации водоёмов. Данные о химическом составе воды, доминирующих видах низших и высших растений, микроорганизмов в водоёмах, подверженных антропогенному эвтрофированию, приводятся в научной литературе очень

редко. В основном они представлены для крупных водохранилищ (каскад Волжских водохранилищ и др.). Практически отсутствуют данные по обоснованию причин, вызывающих эвтрофирование водоёмов, и разработке приёмов и методов снижения процессов эвтрофирования. Данному направлению посвящены материалы диссертационного исследования.

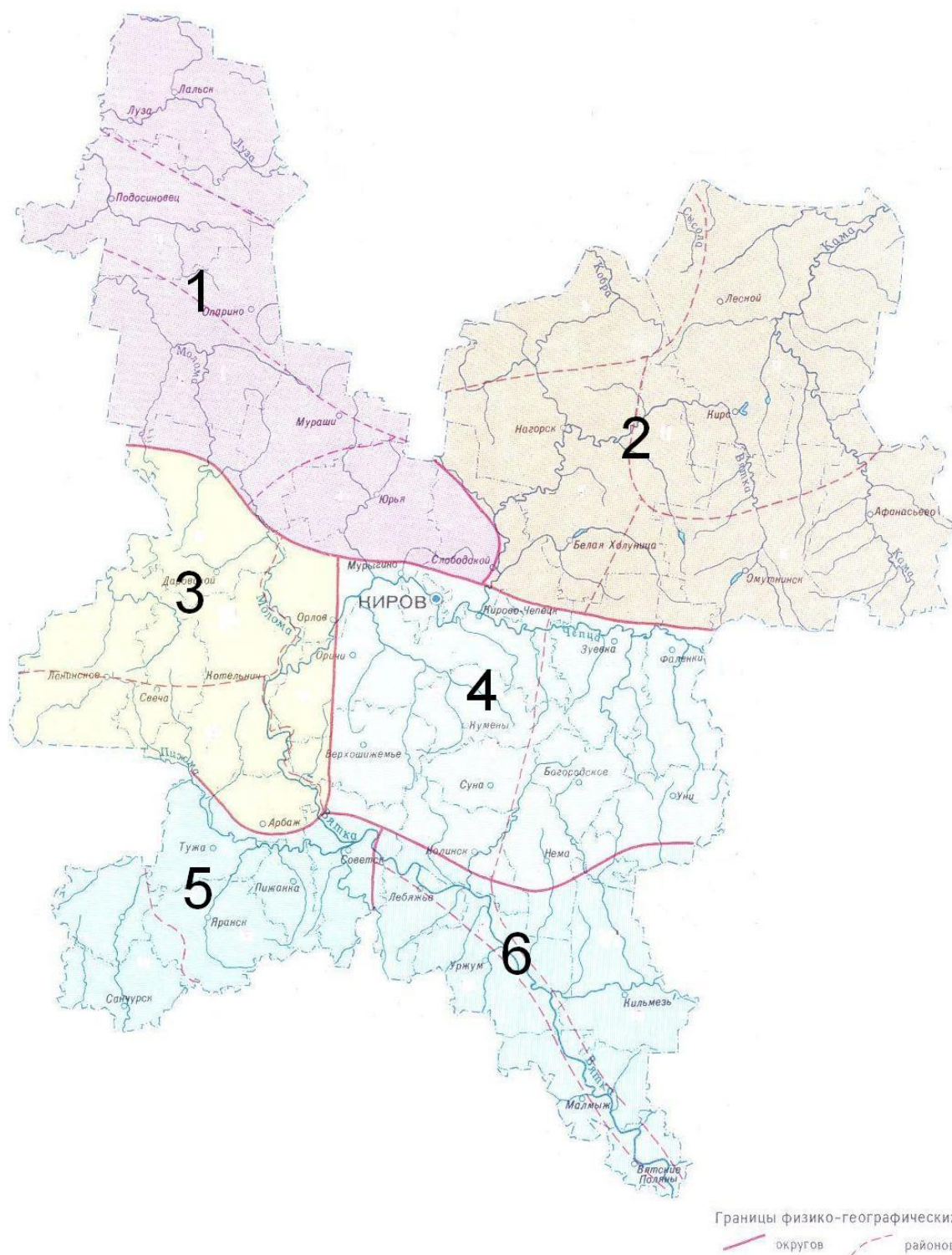
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Физико-географическая характеристика объектов исследования

Объектами исследования являются 4 самые крупные водохранилища Кировской области (Белохолуницкое, Омутнинское, Большое Кирсинское и Чернохолуницкое водохранилища (пруды)).

Кировская область расположена на Северо-Востоке Русской равнины в центрально-восточной части Европейской России. Она является одной из крупнейших в Нечернозёмной зоне Российской Федерации. Территория области разделена на шесть физико-географических округов (Рисунок 2.1). Изучаемые водоёмы расположены в Вятско-Камском округе, который включает северо-восточную часть Кировской области.

Поверхность округа имеет возвышенный холмисто-равнинный характер. Это самая высокая часть Кировской области, преобладают высоты 200-250 м над уровнем моря. Территория Вятско-Камского округа богата фосфоритами, железной рудой, горючими сланцами и торфом [96]. Разработка железных руд – сидерита, или железного шпата, а также лимонита – велась здесь в XVIII-XIX вв. Вблизи этих месторождений были созданы Белохолуницкое, Омутнинское, Чернохолуницкое и Большое Кирсинское водохранилища.



Условные обозначения: Цифрами обозначены физико-географические округа. 1 – Моломско-Лузский, 2 – Вятско-Камский, 3 – Вятско-Ветлужский, 4 – Вятско-Чепецкий, 5 – Пижмо-Кокшагский, 6 – Вятско-Кильмезский.

Рисунок 2.1– Карта-схема физико-географического районирования Кировской области [96]

Данные водохранилища располагаются в трёх различных физико-географических районах Вятско-Камского округа (Рисунок 2.2).

Белохолуницкий пруд (А) находится в районе разобшённых южнотаёжных лесов сильно расчленённой северной части Вятского Увала (1). Омутнинский (Б) и Чернохолуницкий (Г) пруды расположены в районе преобладания еловых раменей Вятско-Камской возвышенности, расчленённой древне-эрозионными процессами (2). Большой Кирсинский пруд (В) находится в районе преобладания тёмно-хвойной тайги на моренной равнине Северных Увалов (3).



Условные обозначения: 1 – район разобшённых южнотаёжных лесов северной части Вятского Увала, 2 – район преобладания еловых раменей Вятско-Камской возвышенности, 3 – район преобладания тёмно-хвойной тайги на моренной равнине Северных Увалов.

Пруды: А – Белохолуницкий, Б – Омутнинский, В – Большой Кирсинский, Г – Чернохолуницкий.

Примечание: карта-схема составлена на основе карты физико-географического районирования Кировской области из атласа Кировской области [97].

Рисунок 2.2 – Карта-схема Вятско-Камского физико-географического округа

Геологическое строение округа имеет некоторые особенности [98]. Кристаллический фундамент платформы залегает на глубине 2-2,5 км. На его

поверхности располагаются осадочные породы, сложенные разновозрастными отложениями: кембрийскими, девонскими, каменноугольными, пермскими, триасовыми, юрскими, меловыми и четвертичными.

Изучаемые водохранилища расположены на разных по геологическому строению территориях. Большой Кирсинский пруд находится в районе расположения отложений мелководного моря и предшествовавших ему озёр, относящихся к юрской системе. Четвертичные отложения в этом районе представлены флювиогляциальными песками древними нерасчленёнными. Омутнинский и Чернохолуницкий пруды расположены на отложениях песчаных, каменистых и глинистых пустынь, относятся к триасовой системе. Четвертичные отложения под Омутнинским прудом представлены элювиально-делювиальными структурными суглинками, а под Чернохолуницким прудом – флювиогляциальными суглинками и супесями древними нерасчленёнными. Белохолуницкий пруд расположен на отложениях пустынь и лагун, относящихся к татарскому ярусу пермской системы. Четвертичные отложения здесь представлены современными аллювиальными отложениями [96, 98].

Вятско-Камский округ располагается в типично таёжном климате с хорошо выраженными временами года. Все изучаемые водохранилища, за исключением Белохолуницкого, находятся в северной агроклиматической зоне. Для неё характерна продолжительность периода с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ около 110-115 дней, продолжительность безморозного периода в среднем 100 дней. Лето в этой зоне короткое. Северная зона лежит в полосе избыточного увлажнения в течение всего вегетационного периода. Белохолуницкий пруд находится в центральной агроклиматической зоне, почти на границе с северной зоной. В центральной зоне продолжительность периода с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 115-120 дней, безморозного периода – 110 дней. Это умеренно влажная зона. Среднее годовое количество осадков на всей изучаемой территории составляет 600-650 мм [96, 97].

Вятско-Камский округ достаточно обеспечен влагой и является самой увлажнённой частью Кировской области. Этому способствуют как климатические условия, так и особенности рельефа и геологического строения местности. Все поверхностные воды относятся к двум главным речным системам – верхнего течения р. Вятки (западная и центральная части округа) и верхнего течения р. Камы (восточная окраина округа). Белохолуницкий, Омутнинский, Большой Кирсинский и Чёрнохолуницкий пруды являются наиболее крупными водоёмами округа.

Основными почвообразующими породами округа являются четвертичные отложения: ледниковые морены, водноледниковые пески, покровные суглинки, различные виды элювия и аллювий рек. В пределах округа выделяют шесть главных типов почв: подзолистый, дерново-подзолистый, дерново-карбонатный, подзолисто-болотный, болотный и пойменный. Большой Кирсинский пруд находится в районе преобладания болотно-подзолистых почв. В Омутнинском и Чернохолуницком районах преобладают дерново-подзолистые почвы. В районе нахождения Белохолуницкого пруда преобладают подзолистые почвы.

Согласно классификации по положению в географической зоне [99], все изучаемые водоёмы являются лесными, по приуроченности к макрорельефу – равнинными. Согласно классификации А.Б. Авакяна [100], по площади водного зеркала все они относятся к категории небольшие, а по объёму, согласно ГОСТ 17.1.1.02-77 [101], – малые.

Основные морфометрические параметры изучаемых прудов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика прудов северо-восточной части Кировской области

Характеристика	Название пруда			
	Бело-холуницкий	Омутнинский	Большой Кирсинский	Черно-холуницкий
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м	131,0	184,0	157,4	176,1

Уровень мёртвого объема (УМО), м	-	182,2	151,8	-
Морфометрические характеристики водохранилища при НПУ				
Площадь зеркала, км ²	17,4	9,5	6,0	2,96
Полный статический объем, млн. м ³	51,0	32,5	18,0	8,52
Глубина, м:				
- средняя	2,9	3,4	3,0	2,78
- максимальная	11,0	11,0	10,0	7,0
Длина, км	11,6	10	7,5	4,5
Ширина, м:				
- средняя	1500	1100	800	700
- максимальная	3000	2300	1300	-
Площадь водосбора в створе гидроузла, км ²	1600	507	74	246
Показатель удлинённости (вытянутости), K_y^*	7,7	9,1	9,4	6,4
Среднегодовой сток, млн. м ³	480	143,9	16	-
Модуль стока*, л/сек.км ²	9,5	10,0	7,0	-
Коэффициент водообмена*	9,4	4,4	0,9	-

Примечание: таблица 1 составлена по материалам [102-105].

*Показатель удлинённости рассчитывался как отношение длины водоёма к его средней ширине; модуль стока – как отношение среднегодового расхода воды в водохранилище к площади водосбора; коэффициент водообмена водохранилища – как отношение среднегодового объема стока к полному объему водоема.

Согласно данным таблицы 2.1, Белохолуницкое водохранилище является наибольшим по площади зеркала и объёму, Чернохолуницкое – наименьшим. Длина водохранилищ достигает нескольких километров, а средняя ширина – около 1 км. Глубина всех водоёмов небольшая, в среднем составляет 3 метра. По показателям удлинённости Белохолуницкое, Омутнинское и Большое Кирсинское водохранилища являются удлинёнными водоёмами, а Чернохолуницкое – водоёмом, по форме близким к овалу. Водохранилища отличаются интенсивностью водообмена, которая характеризуется коэффициентом водообмена (Таблица 2.1). Интенсивность водообмена уменьшается в ряду Белохолуницкий – Омутнинский – Большой Кирсинский пруд. Величина коэффициента водообмена позволяет сделать

вывод, что Белохолуницкий и Омутнинский пруды характеризуются большей проточностью, близкой к речному режиму. Большой Кирсинский пруд отличается малой проточностью, интенсивность водообмена в этом водоёме низкая. Согласно классификации по величине внешнего водообмена, Белохолуницкий и Омутнинский пруды являются умеренно проточными, или транзитно-аккумулятивными, а Большой Кирсинский – слабопроточным, или аккумулятивно-транзитным.

Белохолуницкий пруд является крупнейшим искусственным водоёмом Кировской области. На берегах и вблизи водохранилища расположено несколько населённых пунктов (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Схема расположения Белохолуницкого водохранилища

Самый большой из них город Белая Холуница – один из районных центров Кировской области. Численность населения составляет более 10 тыс. человек. Градообразующим предприятием является ОАО «Белохолуницкий

машстройзавод», специализирующееся на производстве конвейеров и сопутствующей продукции. На берегах водоёма находятся жилые, промышленно-гражданские объекты, коммуникации и садовые участки. Вдоль правого берега водохранилища проходит автомобильная трасса федерального значения (Рисунок 2.3). Пруд создан в 1762-1764 гг. на р. Белая Холуница, которая берёт своё начало в пределах Вятско-Камской возвышенности и впадает в р. Вятку. Длина р. Белая Холуница – 175 км. Общее падение реки – 102 м, средний уклон – 0,00058. Площадь водосбора составляет 2800 км² [106]. Залесённость достигает 60-70%. Заболоченность незначительная, озёр нет. Для р. Белая Холуница характерно преобладание снегового питания, высокое весеннее половодье, низкая летняя и зимняя межень. На Белохолуницком пруду осуществляется сезонное регулирование стока. В пруд впадает несколько рек. Растительность на берегах Белохолуницкого пруда большей частью представлена лесами: сосновыми, еловыми и лиственными. В лиственных лесах преобладают березники, реже осинники. Болотная растительность представлена осоко-гипновыми и осоко-сфагновыми сообществами [98]. Состав фауны млекопитающих отличается некоторым своеобразием по сравнению с более северными районами. Распространены южные виды, свойственные безлесным открытым районам и лесным опушкам (крот, барсук, заяц-русак) [98]. Отличия данного водоёма от остальных заключается в наибольших размерах, преобладании снегового питания, низкой залесённости водосбора. Леса на берегах пруда представлены сосняками. В составе животного мира много южных видов.

Омутнинский пруд образован в 1773 г. на р. Омутной. На водосборной площади пруда располагается крупный населённый пункт – город Омутнинск (Рисунок 2.4). Численность населения составляет более 22 тыс. человек. Градообразующее предприятие города – АО «Омутнинский металлургический завод». Из литературных источников [107] известно, что выбросы предприятий чёрной металлургии загрязняют почву Ni, Mn, Cr, Cd, Co, Cu, Mo, Sn, Pb, Zn. Металлургическое производство является опасным

источником загрязнения атмосферы отходящими газами и твердыми выбросами. Загрязнение воздуха от предприятий черной металлургии в зависимости от силы ветра распространяется на расстояние 15-25 км.

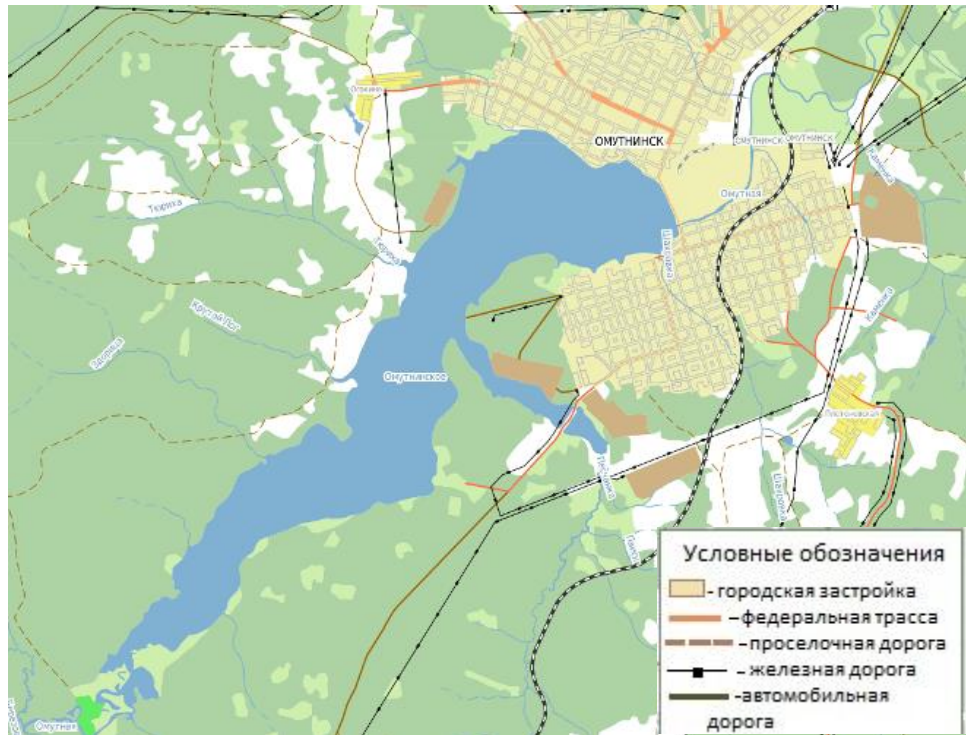


Рисунок 2.4 – Схема расположения Омутнинского водохранилища

В городе работают предприятия пищевой промышленности, деревообрабатывающего производства. Берега пруда в приплотинной части заняты жилыми, промышленно-гражданскими объектами, коммуникациями (Рисунок 2.4). На берегах в средней части водоёма находятся садовые участки, лечебно-оздоровительные учреждения. Река Омутная берёт начало на Верхне-Камской возвышенности, протекает по территории Кировской области. Длина реки 56 км. Водосбор реки Омутная неправильной формы, вытянут с юго-запада на северо-восток. Площадь водосбора 559 км² [106], средняя высота составляет 230 м. Склоны водосбора достаточно крутые, изрезаны реками, ручьями и логами, сложены преимущественно глинами и суглинками [108]. Русло реки сильно меандрирует. Долина реки имеет трапецеидальную форму, в ширину достигает 1-1,5 км. Бассейн р. Омутной характеризуется слабо всхолмлённым рельефом. Озёра отсутствуют. Заболоченность территории незначительная. Залесённость около 90%,

распаханность 6%. Питание р. Омутной осуществляется от таяния снега, дождей, грунтовых вод. На Омутнинском пруду осуществляется сезонное регулирование стока. В данном пруду были выявлены участки берегов, наиболее подверженные эрозии [109]. Степень эрозии берегов водоёма имеет большое значение, так как с её увеличением возрастает поток биогенных веществ в водоём. Например, известно, что с каждой тонной твердого стока с 1 га сельскохозяйственных угодий выносится около 1 кг общего фосфора. Чтобы узнать степень эродированности берегов Омутнинского водохранилища, были использованы картографические материалы. На основании топографической карты масштаба 1:5000 выделены участки с разным уклоном, на которых возможно проявление эрозионных процессов. Все участки были ранжированы по крутизне склонов: участки с углом наклона менее 1°, 1-2°, 2-3°, 3-5°, 5-6°, 6-8° и 8-10°. По результатам проведённых работ была составлена карта участков с разной степенью подверженности эрозионным процессам (Рисунок 2.5). На данной карте представлены участки с разными углами наклона, а также участки, на которых находятся обрывы. Берега в верховьях водохранилища имеют небольшие уклоны (менее 1°). Немного выше места впадения р. Здористая уклоны на левом и правом берегах водохранилища возрастают до 3-5 и 2-3° соответственно. Далее по левому берегу, вплоть до впадения в водохранилище р. Крутой лог, уклон берегов не превышает 1°. На левом берегу р. Крутой лог, перед впадением в водохранилище, находится обрыв.

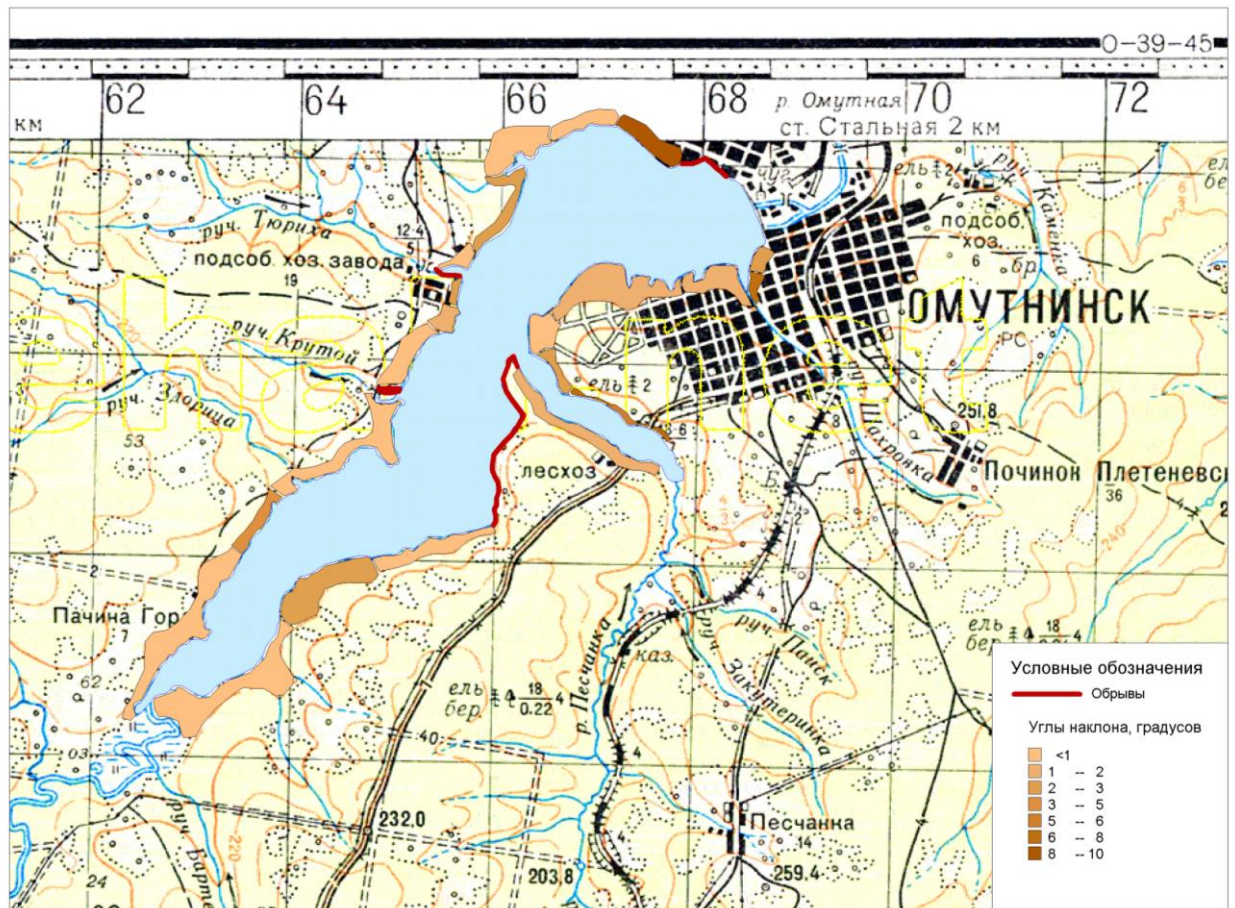


Рисунок 2.5 – Карта углов наклона берегов Омутнинского водохранилища

На правом берегу сплошной обрыв тянется приблизительно от санатория «Лесная сказка» до впадения в водохранилище р. Песчанка. Далее, по левому берегу водохранилища, до впадения р. Тюриха, уклоны остаются небольшие. Правый берег р. Тюриха перед впадением в водохранилище представлен обрывом. На правом берегу р. Песчанка зафиксированы большие уклоны территории, до 8°. Часть берегов водохранилища от впадения р. Тюриха до набережной г. Омутнинска на левом берегу и от впадения р. Песчанка до впадения р. Шахровка на правом берегу характеризуется малым углом наклона территории. Городская часть береговой линии от набережной до впадения р. Шахровка представлена участками с большим наклоном (до 10°) и обрывами. Таким образом, участки с наибольшим углом наклона располагаются преимущественно в низовье водохранилища, в городской черте, а также на правом берегу р. Песчанка. Перечисленные участки больше

других подвержены эрозии. Участки, расположенные в верховье водохранилища, имеют небольшой уклон, степень проявления эрозионных процессов здесь минимальна. В Омутнинский пруд впадает 9 рек и ручьёв. Растительность берегов Омутнинского пруда представлена преимущественно лесами. Главные лесообразующие породы в Омутнинском районе из числа хвойных – ель и сосна, из лиственных деревьев – береза и осина (мелколиственные породы), в небольших количествах дуб и липа (широколиственные породы). На низких участках преобладают застойные сырые сосновые и еловые леса со сплошным моховым покровом. В районе распространены низинные болота, которые заняты еловыми лесами, сосново-еловыми лесами, кустарниками: ивой и рябиной. Много в лесу трав: белозер болотный, кукушник длиннорогий и другие. В поймах рек встречается бедренец камнеломка, лапчатка, манжетка обыкновенная. На настоящих лугах – клевер луговой и ползучий, хвощ луговой и полевой, овсяница луговая, пырей ползучий, костер безостный. Из лекарственных растений встречаются мята, зверобой, иван-чай, тысячелистник, подорожник, ромашка аптечная, мать-и-мачеха, чистотел, пастушья сумка и другие. Высшие растения и водоросли, обитающие в Омутнинском пруду, описаны в главе 4. Фауна млекопитающих типична для южнотаёжных еловых лесов и лиственных мелколесий. В лесах обитают белка, куница, бурундук, горноста́й, бурый медведь, волк, заяц-беляк, лисица, рысь. На приречных плато встречаются крот и барсук, а для лиственных лесов характерен ёж. По речным долинам распространена выдра. [98; 110] Отличительными особенностями Омутнинского водохранилища являются самая высокая заселённость берегов пруда (более 22 тыс. чел.), в верховье водоёма часть берегов занята низинными болотами, в водоём впадает наибольшее количество рек и ручьёв.

Большой Кирсинский пруд расположен на р. Дальней, которая вытекает из Кирсового болота. Рядом с этим прудом расположен ещё один – Средне-Кирсинский (Рисунок 2.6). Они создавались в одно и то же время, но

размер последнего намного меньше. На Кирсовом болоте проводились торфоразработки предприятием «Дымное», которые повлияли на его естественный режим стока. В настоящее время торфоразработки прекращены. Последние данные о работах на Кирсовом болоте относятся к 2012 г. В результате торфоразработок сильно обмелела северо-восточная часть Большого Кирсинского пруда. Рядом с водоёмом, в его приплотинной части расположен населённый пункт – город Кирс. Численность населения составляет 9930 человек. В городе функционируют завод «Кирскабель», предприятия пищевой промышленности, деревообрабатывающего производства. ОАО «Кирсинский кабельный завод» является градообразующим предприятием. Как и все предприятия цветной металлургии, завод является потенциальным источником загрязнения окружающей среды Se, As, Sb, Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, Bi, Mo, W, Ni [107]. Берега пруда в приплотинной части заняты жилыми, промышленными объектами (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Схема расположения Большого Кирсинского водохранилища

Река Дальняя, на которой создано водохранилище, вытекает из Кирсового болота и впадает в р. Кирс. Кирсовое болото относится к разряду

верховых торфяных болот. Поверхность болота занимает по площади более 40 км². Большой Кирсинский пруд находится в 1 км от устья р. Дальняя, на водоразделе истоков р. Камы и р. Вятки. На водоёме осуществляется сезонное регулирование стока. Растительность Верхнекамского района представлена главным образом ельниками. В древостое заметна примесь пихты, в меньшей степени берёзы. В структуре еловых лесов больше всего увлажнённых ельников-черничников, долгомошников и сфагновых ельников. В составе животного мира распространены лесная куница, белка, горностай, росомаха, рысь, бурый медведь. Парнокопытные представлены лосем и северным оленем. Встречаются бурундук и заяц-беляк. [98] Большое Кирсинское водохранилище отличается от других объектов исследования интенсивностью водообмена (слабопоточное), питание водоёма осуществляется от реки, которая вытекает из верхового торфяного болота.

Чернохолуницкий пруд образован в 1810 г. на р. Чёрная Холуница, левом притоке р. Вятка. На берегах пруда располагается населённый пункт – посёлок Чёрная Холуница (Рисунок 2.7). Численность населения составляет 1243 человека. В посёлке действует несколько частных предприятий, осуществляющих лесозаготовку, обработку древесины. Река Чёрная Холуница протекает по холмистой местности. Глубокие и длинные плёсовые участки чередуются с короткими и неглубокими перекатами. Средний уклон реки – 0,0003. Водосборная площадь р. Чёрная Холуница составляет 1560 км² [106], на 90% она занята лесами и болотами.

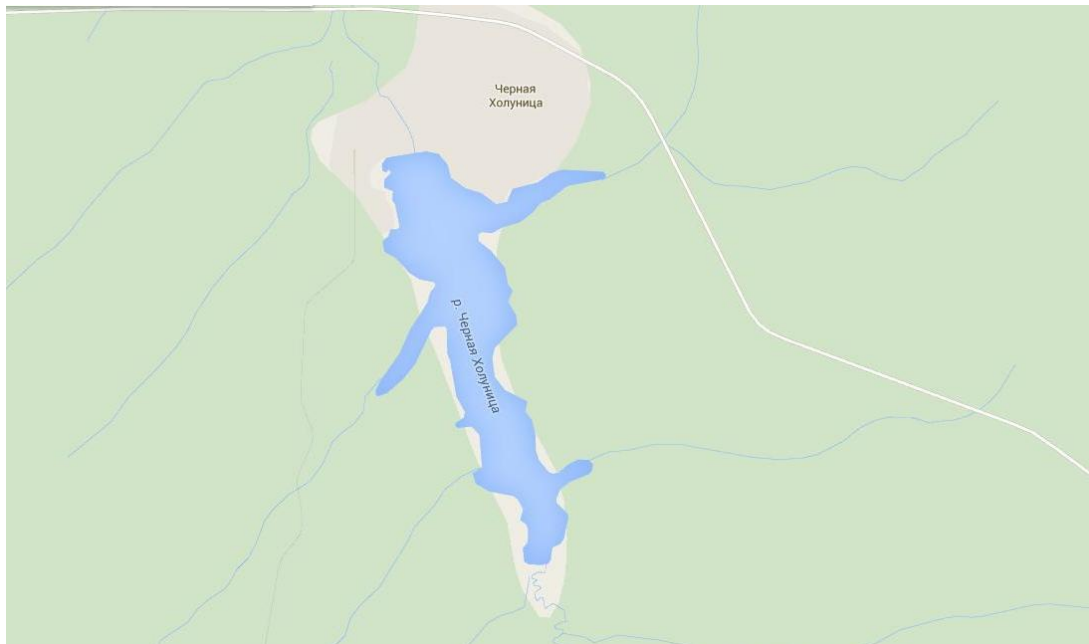


Рисунок 2.7 – Схема расположения Чернохолуницкого водохранилища

До 2008 г. Чернохолуницкий пруд уступал по размерам только Белохолуницкому и Омутнинскому прудам. В 2006-2007 гг. на водоеме производилась реконструкция гидроузла, после которой площадь зеркала водохранилища сократилась. Таким образом, в настоящее время Чернохолуницкий пруд является четвёртым по размерам в регионе. В пруд впадает 5 рек. Растительность на берегах водоема большей частью представлена еловым лесом с примесью пихты и берёзы. По своей структуре ельники данного района имеют типичный южнотаёжный облик. Фауна млекопитающих типична для южнотаёжных еловых лесов. [98] На берегах Чернохолуницкого пруда обитают животные, отмеченные для Омутнинского водохранилища. Отличительными чертами Чернохолуницкого водохранилища является форма водохранилища, близкая к овалу, наименьшая заселённость берегов, самая высокая лесистость.

Для районов расположения изучаемых водохранилищ можно выделить несколько общих особенностей флоры и фауны. В Вятско-Камском округе преобладает естественная лесная растительность в комплексе с болотами. Таёжные леса отчётливо подразделяются на две подзоны: среднетаёжную в

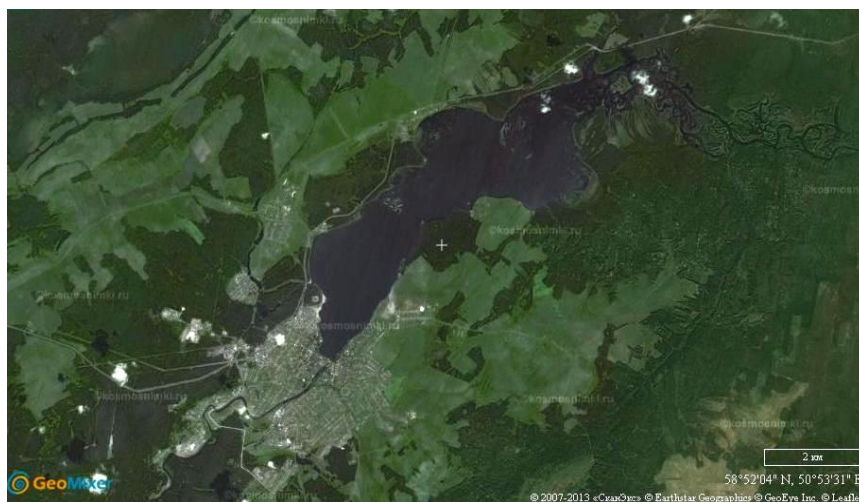
северной части округа (здесь находится Большое Кирсинское водохранилище) и южнотаёжную в южной его части (Омутнинское, Белохолуницкое, Чернохолуницкое водохранилища). Животный мир округа имеет ярко выраженный таёжный характер и представлен типичными таёжными эндемиками. Также встречаются животные, характерные для тайги и тундры (северный олень). Много видов, широко распространённых по всей лесной полосе Евразии. [98]

Изучаемые водоёмы представлены на космоснимках (Рисунок 2.8).

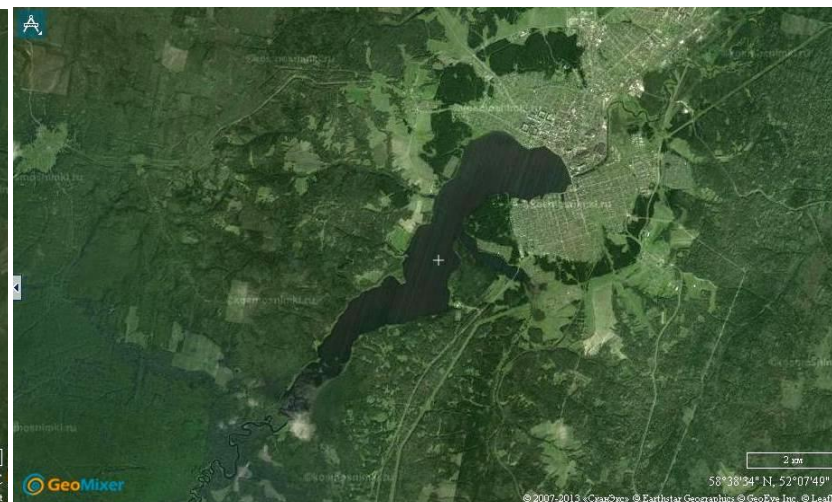
Анализ космических снимков свидетельствует о том, что размеры и форма изучаемых прудов, залесённость береговой линии отличаются. Белохолуницкий пруд занимает наибольшую площадь, является самым широким из всех прудов. Чаша водоёма вытянута в направлении с северо-востока на юго-запад (Рисунок 2.8а). Крупные заливы в водохранилище отсутствуют. Как видно на снимке, почти половина береговой зоны Белохолуницкого пруда занята хозяйственными постройками и автомобильными дорогами. Примерно 50% водосборной площади занимают хвойные и смешанные леса. Чернохолуницкий и Омутнинский пруды очень похожи по форме, но имеют разную ориентацию в пространстве. Чаша Омутнинского пруда протянулась с юго-запада на северо-восток (Рисунок 2.8б). У этого водоёма, в его средней части, есть довольно крупный залив, в который впадает р. Песчанка. Этот залив расположен практически перпендикулярно относительно самого пруда. Приблизительно 60-70% прибрежной полосы занимают хвойные и смешанные леса. При этом леса расположены преимущественно в юго-западной части водоёма.

Чернохолуницкий пруд протянулся с юго-востока на северо-запад (Рисунок 2.8г). Береговая линия этого водоёма довольно изрезанная. В Чернохолуницком пруду есть два крупных залива. Они расположены ближе к приплотинной части водоёма. В один из них впадает р. Двойница (левый берег), в другой – р. Большая Песчанка (правый берег). Приблизительно 70-80% прибрежных территорий занимают хвойные и смешанные леса, а также

покосы. Большой Кирсинский пруд ориентирован в пространстве аналогично Белохолуницкому пруду: с северо-востока на юго-запад (Рисунок 2.8в). На космоснимке хорошо заметно, что Большой Кирсинский пруд отличается от других водоёмов большей разницей длины и ширины, имеет длинную и узкую котловину. Крупных заливов на водоёме нет. Около 80% территории прибрежной полосы занимают хвойные и смешанные леса. В целом, как видно на космоснимках, все изучаемые водоёмы имеют неправильную форму, довольно изрезанную береговую линию. Преобладающая часть прибрежной полосы прудов занята естественной растительностью: хвойными и смешанными лесами. Приплотинная часть всех изученных водоёмов используется человеком в хозяйственной деятельности. На ней располагается жилая застройка и промышленные объекты.



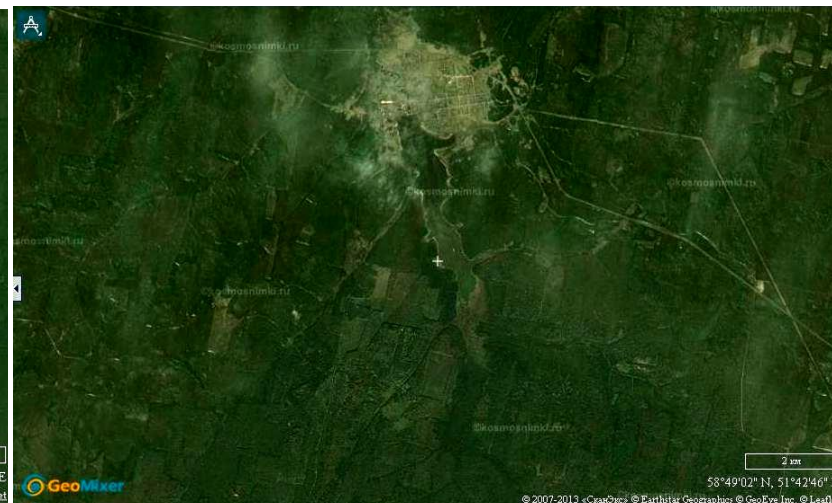
а) Белохолуницкий пруд



б) Омутнинский пруд



в) Большой Кирсинский пруд



г) Чернохолуницкий пруд

Рисунок 2.8 – Космоснимки прудов Северо-Востока Кировской области [111].

Разный режим хозяйствования отразился на состоянии прудов. С момента создания и до середины XX века все водоёмы использовали для водоснабжения металлургических заводов и сплава леса. Белохолуницкий пруд также использовался для целей электроэнергетики. На нём до 1964 г. функционировала гидроэлектростанция.

В настоящее время назначение водоёмов существенно изменилось. Металлургический завод в пос. Чёрная Холуница прекратил работу в 1956 г. Так как водохранилище перестали использовать для водоснабжения завода, уровень воды в нём снизили и засыпали два из трёх прорезов в плотине. С 1956 г. Чернохолуницкий пруд используется только в рекреационных целях. Основное назначение Большого Кирсинского пруда в настоящее время – регулирование стока, противопожарные и рекреационные цели. Для водоснабжения завода «Кирскабель» используются ресурсы Средне-Кирсинского пруда. Основное назначение Белохолуницкого пруда – промышленное водоснабжение завода. В начале XX века водохранилище также использовалось в целях энергетики, на нём функционировала гидроэлектростанция. В 1964 г. она была законсервирована ввиду нерентабельности, а в 2013 г. её работа возобновилась. Кроме того, в настоящее время на левом берегу водохранилища функционирует спортивно-туристический комплекс «Грейт-Филд». Омутнинский пруд используется для водоснабжения металлургического завода, регулирования стока, хозяйственно-бытовых нужд населения и для целей рекреации. По количеству проживающего населения и промышленных объектов, расположенных на берегах, этот водоём испытывает наибольшую антропогенную нагрузку.

Гидроузлы, созданные на водохранилищах, за время их существования и функционирования несколько раз реконструировали. Больше-Кирсинский гидроузел перестраивали 1 раз, в 1963-1964 гг. Плотину Чернохолуницкого пруда реконструировали 3 раза: в 1929-1930 гг., 1980 г. и в 2007-2008 гг. При первой и последней реконструкциях пруд выпускали. Ремонт

Белохолуницкого гидроузла осуществлялся два раза: в 1964 г. проведена коренная перестройка, был построен железобетонный водосброс, а в 1973 г. произведена облицовка верхового откоса земляной плотины и откосов отводящего канала железобетонными плитами, после чего гидроузел принял современный вид. Реконструкция Омутнинского гидроузла проводилась в 1952-1953 гг. и в 1998 г. В 2004 г. проводился ремонт водозаборного сооружения. Во время второй и третьей реконструкций пруд спускали на 1,8 м, до отметки 182,2 м. (УМО). Учитывая, что площадь мелководных участков в пруду довольно большая, можно сделать вывод, что в период реконструкции площадь зеркала значительно сокращалась.

Таким образом, изучаемые водохранилища имеют как общие черты, так и отличительные особенности. Общим для всех объектов исследования являются сходные природно-климатические условия, а именно: преобладание холмисто-равнинного рельефа, хорошее обеспечение влагой, типично таёжный климат с хорошо выраженными временами года. Водоохранилища были созданы в одно и то же время в районах добычи и разработки железных руд. С момента создания до середины XX в. выполняли общую функцию – обеспечение водоснабжения металлургического производства. Наиболее освоены и интенсивно используются берега в приплотинных участках водохранилищ. [112] Растительность и животный мир в районах расположения водоёмов являются типичными для таёжной полосы.

Основные отличия водоёмов состоят в морфометрических параметрах, разной ориентации в пространстве, форме чаши и изрезанности береговой линии, в интенсивности водообмена, в степени антропогенной нагрузки. Для Белохолуницкого водохранилища характерны наибольшие размеры, малая изрезанность береговой линии. Интенсивность водообмена в пруду высокая, гидрологический режим близок к речному. Антропогенному влиянию подвержена приплотинная часть (городская застройка, промышленные объекты) и правый берег водохранилища (автомагистраль). Омутнинский

пруд является вторым по величине в Кировской области, его объём в 1,6 раза меньше объёма Белохолуницкого водохранилища. В водохранилище есть крупный залив, на берегах которого находятся садоводческие участки. Интенсивность водообмена довольно высокая. Антропогенная нагрузка отмечается на среднем (садоводческие общества, лечебно-оздоровительные учреждения) и приплотинном (городская застройка, металлургический завод, автомагистраль) участках водохранилищ. Большое Кирсинское водохранилище по объёму намного меньше Белохолуницкого и Омутнинского прудов. По морфометрическим параметрам этот водоём имеет наибольшее отношение длины к ширине. Интенсивность водообмена в пруду намного ниже, чем в других водоёмах. Это способствуют большему накоплению различных веществ в водоёме и меньшему их переносу вниз по течению реки Дальняя. Антропогенной нагрузке подвержены преимущественно приплотинные участки (городская застройка, завод «Кирскабель»). Для Чернохолуницкого водохранилища отмечено наименьшее отношение длины к ширине. Отличием этого пруда от других изучаемых водоёмов является наличие в водохранилище двух крупных заливов, расположенных в его средней и приплотинной частях. Антропогенная нагрузка на этот водоём низкая, функционирование металлургического завода на берегах пруда прекращено более 50 лет назад, численность жителей пос. Чёрная Холуница мала. Промышленные предприятия на берегах водохранилища отсутствуют. В настоящее время ресурсы пруда используются только в рекреационных целях.

В целом, изучаемые водоёмы, созданные и функционирующие в сходных природных условиях, отличаются по гидрологическому режиму и техногенной нагрузке на водосбор.

2.2. Методы исследования и оценки состояния водохранилищ

В работе использованы методы эмпирического и теоретического исследований. Методы эмпирического исследования включают в себя

наблюдение, измерение и сравнение; методы теоретического исследования – анализ и синтез. Часть работ была проведена непосредственно на водоёмах, часть – в лабораторных условиях.

В ходе экспедиционных исследований проводилось визуальное наблюдение акватории и береговой линии водохранилищ, фиксировалось наличие зарослей высших водных растений, отмечалось «цветение» воды, проводился отбор проб воды, донных отложений и растительности для последующего анализа. Также в ходе полевых работ измерены морфометрические показатели водоёмов (длина, ширина, глубина).

Камеральная обработка включала в себя: составление картосхем изучаемых прудов, проведение количественного химического и токсикологического анализов проб воды и донных отложений, микробиологический анализ проб воды, определение видового состава водорослей, водных растений, определение видового состава и биомассы зообентоса, определение угла наклона берегов.

Наблюдение проводилось на акватории изучаемых водохранилищ в течение 2011-2016 гг. Наиболее подробно было изучено состояние Омутнинского водохранилища. В 2011 г. во время маршрутного обследования этого водоёма была проведена батиметрическая съёмка. Её проводили с моторной лодки при помощи картплоттера Garmin GPSMAP 521s. Данный прибор состоит из комбинации GPS-навигатора и ультразвукового эхолота, что позволяет вычислять точные GPS-координаты исследуемых участков и определять их глубины. С помощью GPS-навигатора вычисляли также координаты расположения крупных зарослей высших водных растений в водохранилище. Отбор проб растений осуществлялся ручным способом с моторной лодки. Пробы воды с поверхностного горизонта (глубина отбора 0,3 м.) отбирали с моторной лодки ручным способом, с глубинных горизонтов (глубина – 4-6 м.) – при помощи батометра. Пробы воды отбирали трижды за летне-осенний период в течение 2011-2014 гг. Пробы донных отложений отбирали специальным

пробоотборным устройством один раз за летне-осенний период в течение 2011-2014 гг. Глубина водохранилища в местах отбора донных отложений составляла 1,0-2,0 м.

Камеральная обработка собранных материалов осуществлялась на кафедре экологии Вятского государственного гуманитарного университета (ВятГГУ), лаборатории биомониторинга ВятГГУ и Института биологии Коми НЦ УрО РАН, научно-исследовательской экоаналитической лаборатории ВятГГУ (НИЭЛ ВятГГУ), кафедре микробиологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии.

В работе использованы картографические методы с применением ГИС-технологий. По результатам обследования в программном продукте MapInfo Professional (версия 8.5) были составлены: батиметрический план (Рисунок 2.9), карты-схемы распределения зарослей высших водных растений по акватории Омутнинского водохранилища в 2011 и в 2014 гг., карты-схемы отбора проб воды и донных отложений в Белохолуницком, Омутнинском, Большом Кирсинском и Чернохолуницком водохранилищах, карта углов наклона берегов Омутнинского водохранилища.

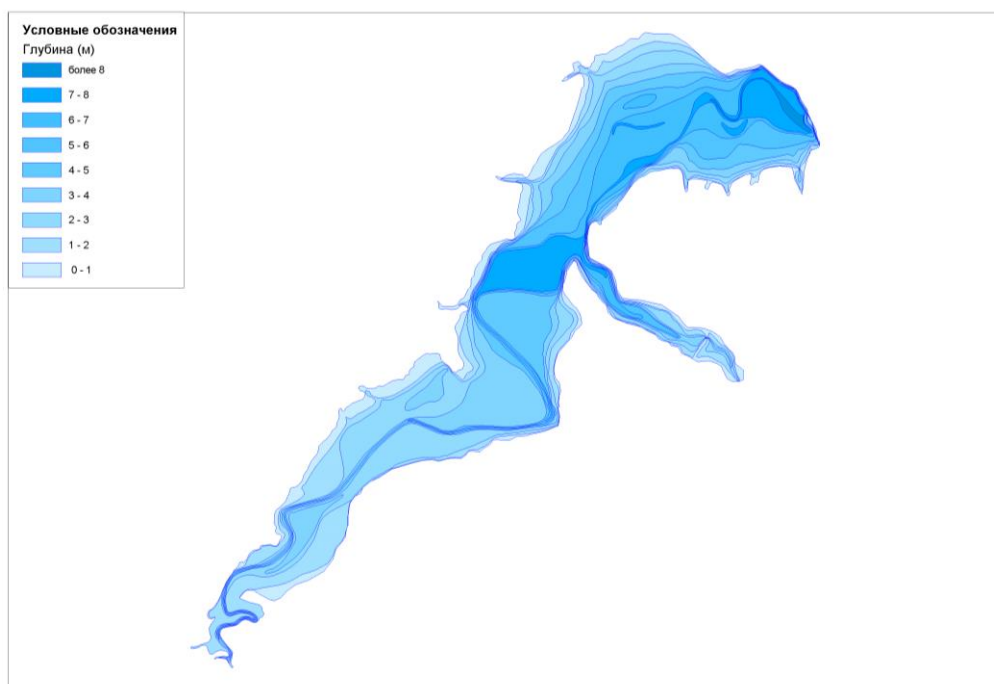


Рисунок 2.9 – Батиметрический план Омутнинского водохранилища

Эмпирические исследования включали в себя физико-химический и биологический анализ. Физико-химический анализ проб воды и донных отложений проводился на базе аккредитованной НИЭЛ ВятГГУ. За период исследования отобрано 216 проб воды и 24 пробы донных отложений. В ходе анализа проб воды определялись:

- температура, электропроводность проб воды;
- органолептические показатели: запах, цветность, мутность;
- содержание биогенных элементов в форме ионов: аммония, нитрит-, нитрат-, фосфат-ионов;
- содержание кремния, железа;
- содержание катионов: калия, натрия, кальция, магния, стронция;
- содержание анионов: сульфат-, хлорид-, фторид-ионов;
- химическое потребление кислорода (ХПК);
- биохимическое потребление кислорода (БПК);
- перманганатная окисляемость;
- содержание растворённого кислорода;
- содержание АПАВ;
- содержание тяжёлых металлов (ТМ): цинка, меди, свинца, кадмия, марганца.

Всего проведено 2328 определений для проб воды и 188 определений для донных отложений.

Полученные результаты сравнивали с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) для водоёмов культурно-бытового назначения и использовали для расчёта индексов загрязнённости воды.

В донных отложениях определялось содержание тяжёлых металлов (ТМ) и органического вещества. Определение валовых и подвижных форм ТМ проведено методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.

В работе применялось три метода биологических исследований: биоиндикация, биотестирование и микробиологический анализ.

Биоиндикацию проводили с применением фитоиндикационных и зооиндикационных методов. Фитоиндикацию применяли во время обследования акватории Омутнинского водохранилища для выявления высших растений, являющихся индикаторами загрязнения, зооиндикацию – при камеральной обработке проб донных отложений для выявления индикаторных видов бентосных организмов.

Фитоиндикация. Доминантные виды высших водных растений и их расположение в водоёме фиксировались во время маршрутного обследования. Обследование акватории и береговой линии проводили с моторной лодки. Прибрежно-водную растительность изучали маршрутными методами. По собранным данным была составлена карта-схема выделенных ассоциаций, а также зафиксированы места обнаружения видов растений – индикаторов загрязнения. Для выявления индикаторных видов растений использовали списки растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования различных водных объектов [113]. При этом учитывали природные особенности района исследования и изучаемого водного объекта, так как один и тот же вид растения не всегда выступает индикатором антропогенного загрязнения. Всего определено 33 вида водных и прибрежно-водных растений.

Зооиндикация. Для отбора проб зообентоса использован трубчатый дночерпатель Мордухай-Болтовского с площадью захвата 1/100 м². Промывка проб осуществлена через капроновое сито с ячейей 0.22 мм (газ № 46). Промытые пробы фиксировались 4%-ным водным раствором формальдегида (10%-ным формалином). Всего отобрано и проанализировано 5 проб.

Первичная обработка проб макрозообентоса выполнялась совместно с кандидатом биологических наук Цепелевой М. Л. в лабораторных условиях с использованием бинокля МБС-10.

Для характеристики сообществ донных беспозвоночных применяли показатели: число таксономических групп, численность (тыс.экз./м²) и биомассу (мг/м²) беспозвоночных.

Для оценки качества воды Омутнинского пруда использованы индексы Вудивисса, Гуднайта и Уитлея, Балушкиной [114-119]. Оценка качества воды по показателям биотического индекса Вудивисса и олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея проводилась согласно ГОСТу 17.1.3.07–82 (Таблица 2.2). Организмы из всех проб зообентоса просчитаны тотально. Биомасса гидробионтов после их обсушки до исчезновения влажных пятен на фильтровальной бумаге определена взвешиванием на торсионных весах (ВТ-100, ВТ-500).

Таблица 2.2 – Классификация качества воды водоемов по гидробиологическим показателям

Класс качества воды	Степень загрязнённости воды	Гидробиологические показатели по зообентосу	
		Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы
I	очень чистые	1 – 20	10
II	чистые	21 – 35	7 – 9
III	умеренно загрязнённые	36 – 50	5 – 6
IV	загрязнённые	51 – 65	4
V	грязные	66 – 85	2 – 3
VI	очень грязные	86 – 100 или макрозообентос отсутствует	1

Индекс Балушкиной (K), показывающий загрязнённость воды по соотношению численности представителей отдельных подсемейств хирономид, рассчитывается по формуле [116]:

$$K = \frac{a_T + a_{Ch} + a_{Or}}{a_b},$$

где a_T , a_{Ch} , a_{Or} – индикаторное значение представителей каждого из подсемейств: Orthocladiinae, Tanypodinae, Chironominae; величина $a = N+10$, при этом N – относительная численность особей каждого из подсемейств в процентах от общей численности личинок хирономид, число 10 ограничивает

пределы изменения значений индекса К. Значения индекса Балушкиной: 0,136 – 1,08 – чистая вода; 1,08 – 6,5 – умеренно загрязнённые; 6,5 – 9,0 – загрязнённые; 9,0 – 11,5 – грязные воды.

Для оценки степени структурированности биоценозов использован индекс Шеннона ($\bar{H}$), вычисленный по формуле:

$$\bar{H} = - \sum_{i=1}^m \frac{p_i}{N} \lg \frac{p_i}{N},$$

где N – общее количество элементов в биоценозе, p_i – количество элементов данной группы, m – число групп [118,119].

Методы биотестирования применяли для оценки токсичности проб воды и донных отложений Омутнинского пруда. Пробы воды отбирали дважды за 2014 г.: в июне и сентябре. Пробы донных отложений отбирали в сентябре 2014 г. При исследовании природной поверхностной воды и донных отложений водохранилища использовали тест-объекты разных уровней организации: бактериальную тест-систему «Эколюм», простейших *Paramecium caudatum* Ehrenberg, низших ракообразных *Daphnia magna* Straus. Всего отобрано и проанализировано 9 проб воды и донных отложений, проведено 33 измерения.

Методика с использованием бактериальной тест-системы «Эколюм» основана на определении изменений интенсивности биолюминесценции при воздействии токсичных веществ, присутствующих в анализируемой пробе. Количественная оценка параметра тест-реакции выражается в виде индекса токсичности. Методика предусматривает три уровня токсичности (Таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Классификация анализируемых проб по группам токсичности для тест-системы «Эколюм»

Группы	Величина индекса токсичности, «Т»	Вывод о степени токсичности пробы
1	$0 < T < 20$	Образец не токсичен
2	$20 \leq T \leq 49,9$	Образец токсичен
3	$T \geq 50$	Образец сильно токсичен

Методика с использованием инфузорий основана на хемотаксической реакции тест-объекта в ответ на возможное присутствие в водной среде загрязняющих веществ: особи *Paramecium caudatum* Ehrenberg направленно перемещаются против градиента концентрации этих веществ, избегая их вредного воздействия. По результатам исследования определяется группа токсичности (Таблица 2.4). Параметры поведенческой реакции инфузорий определяли с помощью прибора «Биотестер-2».

Таблица 2.4 – Классификация анализируемых проб по группам токсичности для тест-культуры *Paramecium caudatum*

Группы	Величина индекса токсичности, «Т»	Вывод о степени токсичности пробы
1	$0 < T \leq 0,4$	Допустимая степень токсичности
2	$0,4 < T \leq 0,7$	Умеренная степень токсичности
3	$T > 0,7$	Высокая степень токсичности

Методика с использованием низших ракообразных основана на определении токсичности проб воды по смертности и изменению плодовитости дафний (*Daphnia magna* Straus). Эксперимент проводился с соблюдением следующих требований: pH среды 7,0–8,5; содержание растворенного кислорода не ниже 6 мг/дм³. Критериями хронической токсичности являются достоверное угнетение плодовитости дафний в опытных вариантах по сравнению с контрольными значениями на 20% и более, достоверная стимуляция плодовитости дафний на 30% и более, гибель 20% и более дафний.

Микробиологический анализ проб воды из Омутнинского водохранилища включал в себя определение степени развития гнилостных бактерий. Для этого применяли чашечный метод количественного учета микроорганизмов. Всего отобрано и проанализировано 9 проб воды.

Изучение видового состава водорослей Омутнинского водохранилища проводилось в 2011 г., выявлялись преобладающие виды фитопланктона [120, 121]. Всего было отобрано 16 проб.

Участки отбора проб воды и донных отложений выбирали, учитывая степень антропогенной нагрузки территории. Условно все изучаемые водоёмы были разделены на три части: верховье, средняя и приплотинная.

Для всех полученных материалов проведена статистическая обработка.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1. Оценка химического состава воды водохранилищ в условиях различного природного и техногенного загрязнения

Химический анализ проб воды из Омутнинского водохранилища выполнялся в период 2011- 2014 гг., из остальных водоёмов – с 2013 по 2014 гг.

Результаты гидрохимического анализа Белохолуницкого, Омутнинского, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого водохранилищ представлены в таблице 3.1.

Согласно полученным результатам, в воде всех изучаемых водохранилищ отмечается превышение допустимых нормативов по содержанию общего железа, в Большом Кирсинском пруду – также по бихроматной окисляемости (ХПК). Значения всех остальных показателей намного ниже ПДК для водоёмов культурно-бытового назначения.

Водородный показатель в изучаемых водоёмах варьирует в пределах от 6,1 до 8,6. В зависимости от величины pH, воды Белохолуницкого пруда относятся к слабощелочным, Омутнинского и Чернохолуницкого – к нейтральным, Большого Кирсинского – к слабокислым. Известно, что нормальное развитие жизни водных организмов идет при нейтральной или слабощелочной реакции среды [122]. В прудах с кислой реакцией среды фотосинтетические процессы ослаблены, вследствие чего развитие бактерий, водорослей и зоопланктона угнетается. Низкое значение pH в воде Большого Кирсинского водохранилища объясняется присутствием гумусовых кислот в почве и болотных водах, питающих пруд. Снижение pH до 5,5 может вызвать значительные изменения в видовом составе живых организмов водоёма.

Таблица 3.1 – Среднее содержание химических компонентов в пробах воды из водохранилищ на северо-восточной части территории Кировской области в 2013-2014 гг.

Компоненты, единицы измерения	Белохолуницкий пруд			Омутнинский пруд			Большой Кирсинский пруд			Чернохолуницкий пруд			ПДК
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Водородный показатель, ед. рН	8,0	7,6	8,6	7,0	7,0	6,8	6,1	6,3	6,4	6,8	6,8	6,6	6,5-8,5
Ион аммония, мг/дм ³ (в пересчёте на азот)	0,43 (0,33)	0,45 (0,35)	0,41 (0,32)	0,58 (0,45)	0,54 (0,42)	0,49 (0,38)	1,50 (1,17)	1,41 (1,10)	1,40 (1,09)	0,42 (0,33)	0,79 (0,61)	0,46 (0,36)	1,5 по азоту
Нитрит-ион, мг/дм ³	0,037	0,046	0,038	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,027	0,027	0,026	< 0,02	< 0,02	< 0,02	3,3
Нитрат-ион, мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,25	0,31	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	45
Фосфат-ион, мг/дм ³	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	3,5
Калий, мг/дм ³	1,27	2,08	1,12	0,36	0,36	0,28	< 0,1	0,39	0,23	0,46	0,45	0,38	50
Натрий, мг/дм ³	9,40	6,00	5,50	4,65	4,50	4,16	1,31	0,81	0,69	6,15	5,55	4,94	200
Кальций, мг/дм ³	26,2	21,9	18,7	12,1	12,5	12,1	2,24	2,46	2,49	6,55	6,20	6,50	-
Магний, мг/дм ³	4,3	3,9	3,2	2,27	2,10	2,04	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,48	1,40	1,44	40
Железо общее, мг/дм ³	0,73	0,66	0,60	0,67	0,65	0,74	2,57	2,85	2,70	0,63	0,71	0,66	0,3
ХПК, мг О/дм ³	19	21	18	15	21	17	48	51	51	15	13	13	30
Растворенный кислород, мг О ₂ /дм ³	-	5,04	-	5,63	6,20	6,27	4,31	4,53	5,04	5,82	5,66	5,29	-
Цветность, град. цветности	59	85	64	51	54	56	212	398	212	44	44	42	-

Примечание. Цифрами обозначены части водохранилищ: 1 – верховье, 2 – средняя, 3 – приплотинная. Жирным шрифтом выделены превышения ПДК.

Содержание биогенных элементов во всех прудах невысокое. Из неорганических форм азота в изучаемых водоёмах преобладает аммонийный азот. В незагрязнённых водах присутствие ионов аммония обусловлено протеканием процессов биохимической деградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложения мочевины. Антропогенным источником поступления аммония в водоёмы являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности.

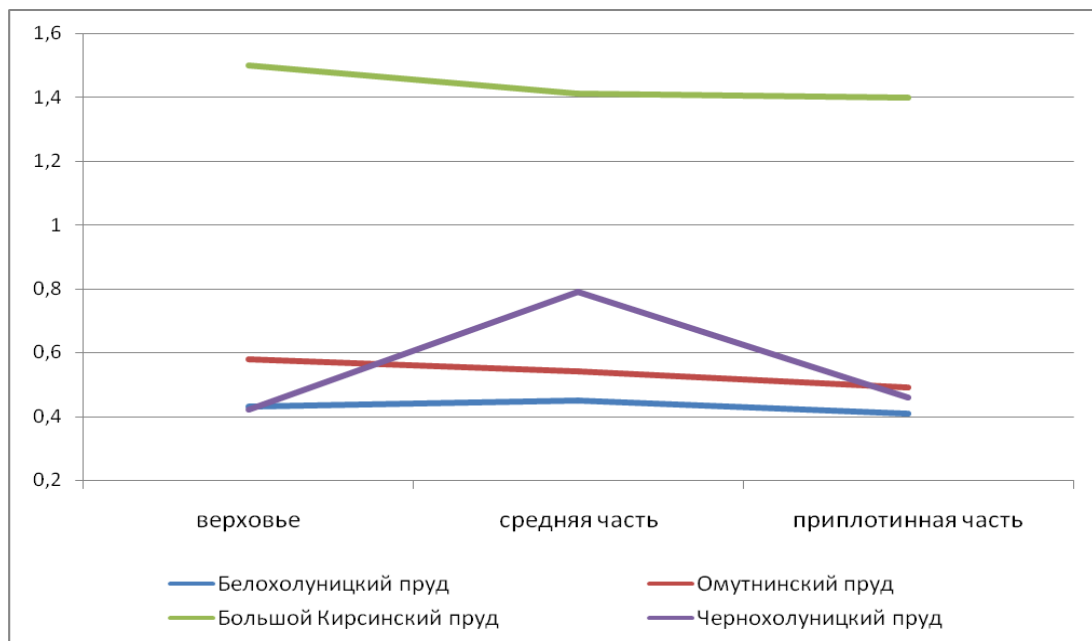


Рисунок 3.1 – Среднее содержание аммонийного азота в изучаемых водохранилищах в 2013-2014 гг.

Наименьшие концентрации ионов аммония отмечены в Белохолуницком водохранилище, наибольшие – в Большом Кирсинском (Рисунок 3.1). Во всех прудах, кроме Чернохолуницкого, содержание аммонийного азота на всей акватории практически не изменяется. В Чернохолуницком водохранилище, в его средней части, концентрация аммония выше, чем в верховье и приплотинной части. Скорее всего, это связано с поступлением в водоём с поверхностным стоком хозяйственно-бытовых сточных вод с территории пос. Чёрная Холуница, который

расположен на правом берегу в средней части водохранилища. По содержанию аммонийного азота Белохолуницкий пруд является умеренно загрязнённым, Омутнинский и Чернохолуницкий – загрязнёнными, Большой Кирсинский – грязным.

Содержание фосфат-ионов во всех водохранилищах в течение всего периода исследований составляло менее $0,05 \text{ мг/дм}^3$. Как отмечалось в главе 1, при минимальном количестве нитратов и фосфатов и высоком содержании органических веществ в водоёме идёт быстрое развитие ЦБ. Подобная закономерность отмечена нами в Омутнинском водохранилище, в котором в 2011 и 2012 гг. наблюдалось очень интенсивное «цветение» воды. В Большом Кирсинском пруду, в воде которого так же содержится много органических веществ, такого массового развития ЦБ не отмечено. Это связано, скорее всего, с низким значением водородного показателя в воде Большого Кирсинского пруда.

Отношение неорганических форм азота и фосфора во всех изучаемых водохранилищах менее 5. Согласно главе 1, в данном случае развитие фитопланктона лимитирует азот.

Содержание калия, кальция, натрия и магния в изучаемых водоёмах отличается. В Белохолуницком пруду содержание этих катионов наибольшее, в Большом Кирсинском водохранилище – самое низкое по сравнению с другими водоёмами. Естественным источником поступления перечисленных элементов в водоёмы являются процессы химического выветривания и растворения минералов, антропогенным – производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды. Концентрации калия, кальция и магния изменяются на акватории прудов незначительно. Для натрия во всех изучаемых водоёмах отмечено небольшое уменьшение содержания в направлении от верховья к приплотинным участкам.

Концентрации железа в отобранных пробах воды выше значений ПДК и составляют от 2 до 9,5 ПДК (Рисунок 3.2).

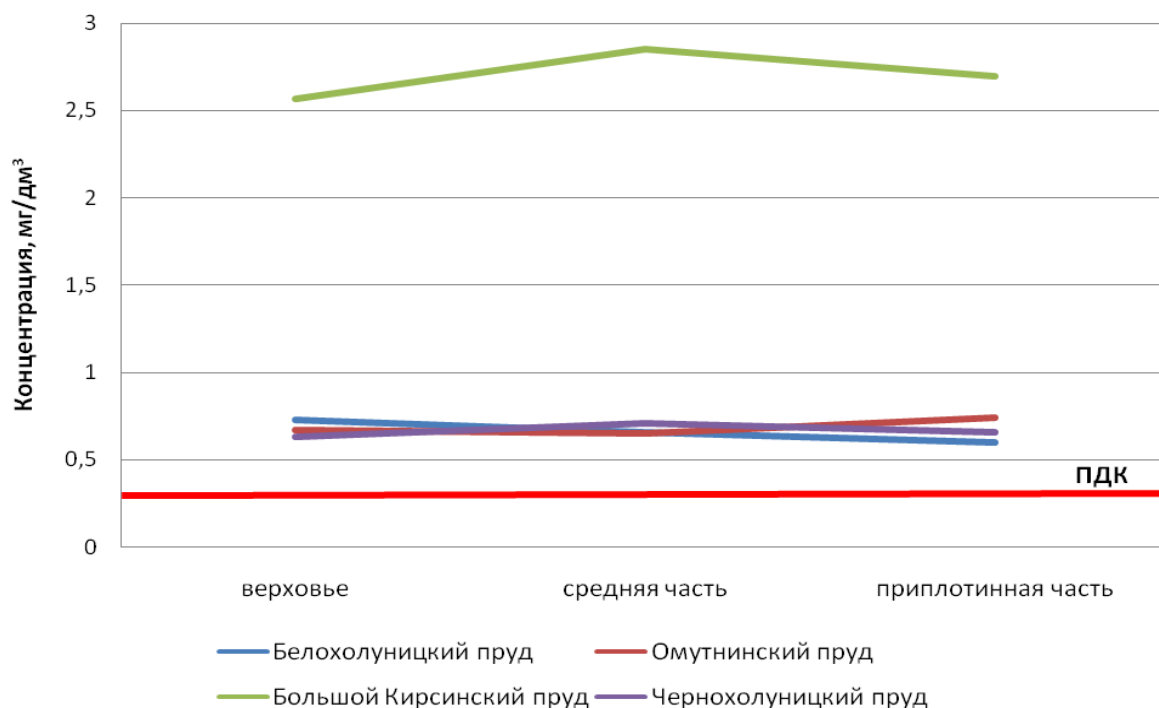


Рисунок 3.2 – Среднее содержание железа общего в разных участках изучаемых водохранилищ в 2013-2014 гг.

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением, значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности, с сельскохозяйственными стоками. В болотных водах обычно наблюдается повышенное содержание железа. Наибольшее содержание общего железа отмечено в воде Большого Кирсинского пруда, что, скорее всего, связано с поступлением в водоём болотных вод. Как отмечалось ранее, все изучаемые водоёмы расположены в одном физико-географическом округе, вблизи месторождений железных руд, что также оказывает влияние на содержание железа в почвах и воде данных территорий. Увеличение содержания железа в воде Омутнинского пруда в его приплотинной части, вероятно, связано с влиянием металлургического завода и укреплением откосов плотины доменным шлаком.

Значения ХПК в изучаемых водохранилищах изменяются от 0,4 до 1,7 ПДК. Показатель бихроматной окисляемости позволяет делать выводы о количественном содержании органических веществ (ОВ) в воде. Состав ОВ в природных водах формируется под влиянием внутриводоёмных биохимических процессов продуцирования и трансформации, поступления из других водных объектов, с поверхностными и подземными стоками, с атмосферными осадками, с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Наибольшие значения ХПК зафиксированы в Большом Кирсинском пруду на всей его акватории, наименьшие – в Чернохолуницком пруду (Рисунок 3.3). Источником поступления ОВ в Большое Кирсинское водохранилище, скорее всего, являются воды, поступающие с участков торфоразработок, расположенных выше водоёма, и из Кирсового болота. Довольно высокие значения ХПК по сравнению с верховьем и приплотинной частью отмечены в средней части Омутнинского водохранилища. В данном случае, повышенное содержание ОВ может быть связано с поступлением бытовых сточных вод с территории садоводческих обществ. Как отмечалось в главе 1, повышенное содержание веществ органической природы при низком содержании нитрат- и фосфат-ионов стимулируют интенсивное развитие в водоёме цианобактерий [40].

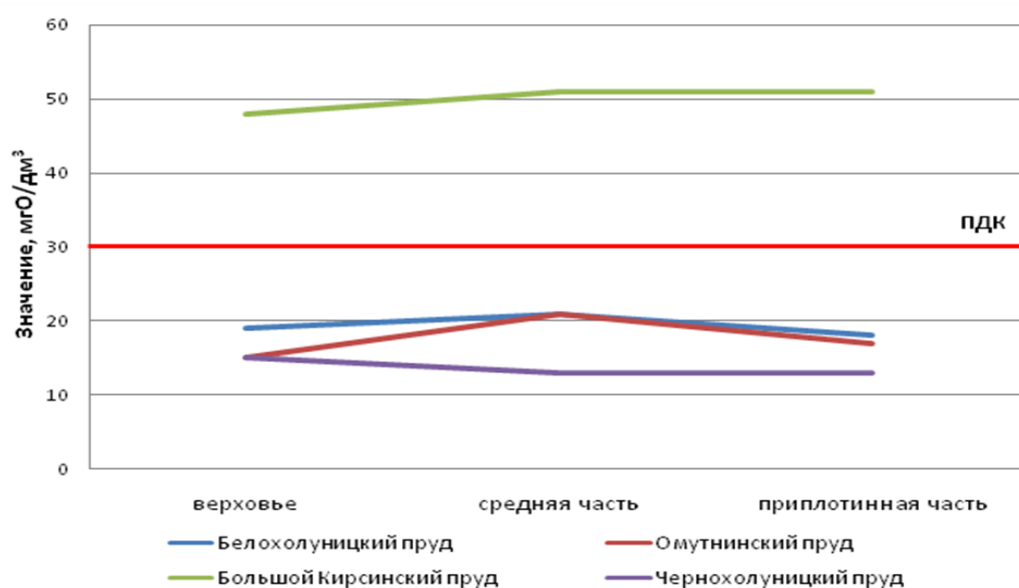


Рисунок 3.3 – Средние значения ХПК в разных участках изучаемых водохранилищ в 2013-2014 гг.

Содержание растворённого кислорода во всех изучаемых водохранилищах довольно низкое. К процессам, уменьшающим содержание кислорода в воде, относятся реакции потребления его на окисление ОВ: биологическое (дыхание организмов), биохимическое (дыхание бактерий, расход кислорода при разложении органических веществ) и химическое (окисление Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , CH_4 , H_2S). Скорость потребления кислорода увеличивается с повышением температуры, количества бактерий и других водных организмов и веществ, подвергающихся химическому и биохимическому окислению. Наименьшие значения по содержанию растворённого кислорода были отмечены в Большом Кирсинском водохранилище. Полученные результаты согласуются с данными о большом содержании ОВ в этом водоёме. Этот факт свидетельствует о неблагоприятной обстановке в данном водохранилище, так как низкое содержание растворённого кислорода и высокая концентрация органических веществ негативно влияет на жизнедеятельность гидробионтов, в частности инфузорий [72].

По определённым в ходе гидрохимического анализа показателям нами были рассчитаны комбинаторный (КИЗВ) и удельный комбинаторный (УКИЗВ) индексы загрязнённости воды. По этим индексам можно определить класс качества воды. Классы качества и значения КИЗВ и УКИЗВ для всех изучаемых водоёмов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Классы качества воды для водохранилищ Кировской области

Название водохранилища	КИЗВ	УКИЗВ/ класс качества, характеристика
Белохолуницкое	12,82	1,07/ 2-й, слабо-загрязнённая
Омутнинское	26,25	2,19/ 3-й, загрязнённая
Большое Кирсинское	31,83	2,65/ 3-й, загрязнённая
Чернохолуницкое	13,76	1,15/ 2-й, слабо-загрязнённая

Согласно полученным результатам, наибольшей загрязнённостью характеризуются Большое Кирсинское и Омутнинское водохранилища. Загрязнение воды Большого Кирсинского пруда наблюдается по содержанию аммонийного азота, общего железа, значениям ХПК. В данном водоёме

отмечена слабокислая реакция среды, что также неблагоприятно влияет на состояние водоёма и живых организмов. Загрязнение Большого Кирсинского водохранилища ОВ в основном вызвано проводимыми ранее торфопроизводствами. Загрязнение воды Омутнинского пруда наблюдается по содержанию железа, аммония и ХПК. Оно связано с поступлением загрязняющих веществ в водоём с хозяйственно-бытовыми сточными водами и поверхностным ливневым стоком, с влиянием промышленных предприятий. Подобная связь между хозяйственной деятельностью на водосборе и качеством водных ресурсов была отмечена в Шершнёвском водохранилище Челябинской области [91]. Повышенное содержание биогенных элементов и органических веществ в Омутнинском водохранилище оказывают влияние на развитие водорослей и цианобактерий в пруду. Белохолуницкое водохранилище, согласно индексам КИЗВ и УКИЗВ, подвержено загрязнению в меньшей степени. Для этого водоёма отмечена невысокая антропогенная нагрузка и высокая скорость водообмена, что способствует самоочищению воды. Низкая степень загрязнения данного пруда не оказывает влияния на растения и животных в водоёме.

Нами проведено подробное изучение химического состава воды в Омутнинском водохранилище за период с 2011 по 2014 гг. Участки отбора проб воды в водохранилище указаны на рисунке 3.4.

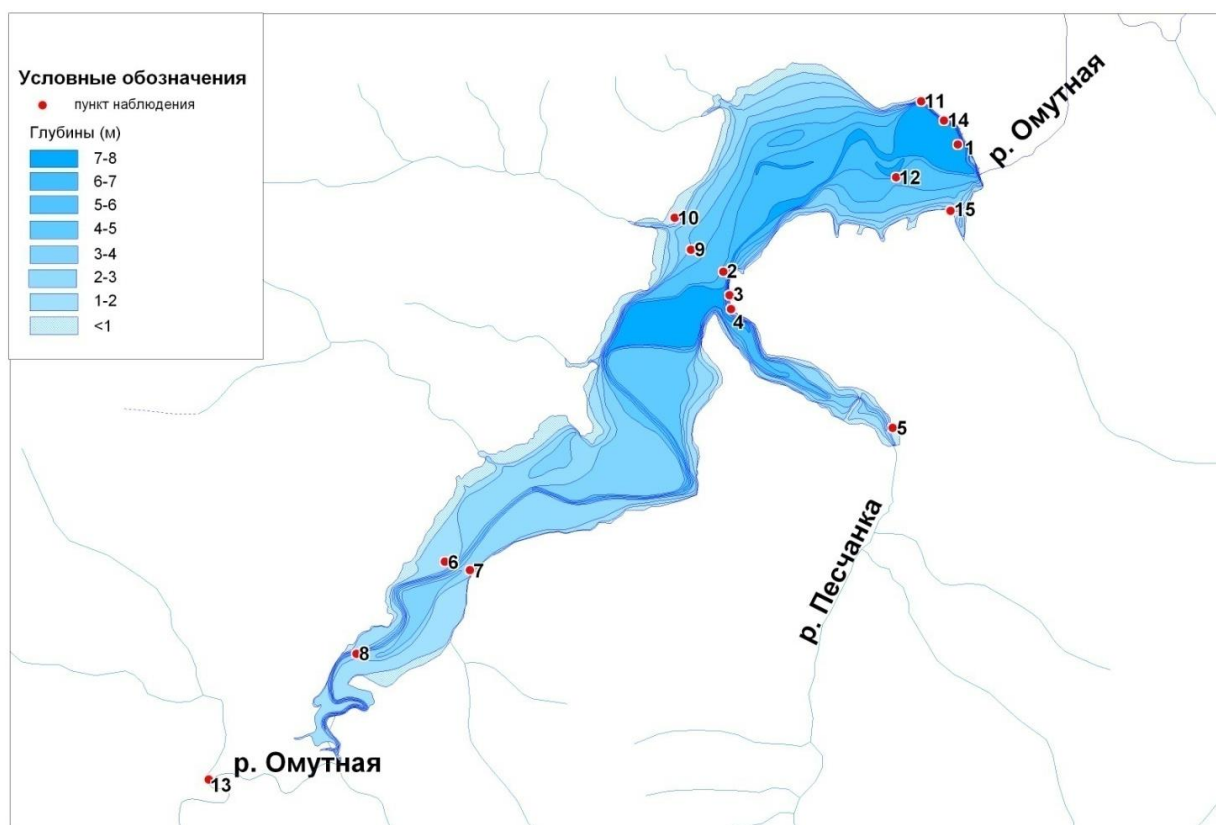


Рисунок 3.4 – Расположение участков отбора проб воды в Омутнинском водохранилище

Результаты гидрохимического анализа водохранилища представлены в таблице 3.3. Длительный срок исследований позволил проследить динамику изменения химического состава воды в данном водоёме [123-127].

В 2011 г., по результатам химического анализа, превышений ПДК в Омутнинском водохранилище выявлено не было. Незначительное превышение ПДК в 1,2 раза отмечено лишь по содержанию ионов железа (концентрация их в воде достигала $0,35 \text{ мг/дм}^3$). Превышение нормативов по этому показателю наблюдалось на всей акватории. Для данной территории характерно высокое содержание в почве оксидов железа [128]. Берега в верховье водохранилища частично заболочены. Вероятно, поверхностный сток с этих территорий также оказывает влияние на содержание железа в воде.

**Таблица 3.3 – Средние значения концентраций загрязняющих веществ и химических показателей
в воде Омутнинского водохранилища в 2011-2014 гг.**

Компоненты, единицы измерения	2011 год			2012 год			2013 год			2014 год			ПДК
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Ион аммония, мг/дм ³	0,56	1,14	0,53	0,41	0,48	0,52	0,58	0,54	0,49	0,39	0,44	0,39	1,5 по азоту
Нитрит-ион, мг/дм ³	0,028	<0,02	0,030	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,037	0,040	0,040	3,3
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,31	0,42	0,46	1,21	1,32	2,9	0,25	0,31	<0,1	-	-	2,41	45
Фосфат-ион, мг/дм ³	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	3,5
Сульфат-ион, мг/дм ³	3,83	5,45	3,66	2,38	2,60	2,60	2,90	3,04	3,02	-	-	3,77	500
Калий, мг/дм ³	0,61	0,58	0,67	0,49	0,53	0,57	0,61	0,36	0,46	-	-	<0,1	50
Натрий, мг/дм ³	2,78	2,45	2,24	1,8	1,9	2,1	4,65	4,50	4,16	-	-	1,10	200
Кальций, мг/дм ³	13,8	14,1	13,5	10,0	9,9	10,4	12,1	12,5	12,1	-	-	7,4	-
Магний, мг/дм ³	2,9	2,6	2,2	2,4	2,2	2,1	2,3	2,1	2,0	-	-	1,45	40
Железо общее, мг/дм ³	0,37	0,29	0,39	0,61	1,15	0,65	0,67	0,65	0,74	1,02	0,89	0,86	0,3
Медь, мг/дм ³	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	0,0151	0,0020	0,020	-	-	-	1,0
Цинк, мг/дм ³	0,015	0,019	0,006	-	-	-	0,0058	0,0082	0,009	-	-	-	1
Кадмий, мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	-	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	-	0,001
Свинец, мг/дм ³	0,0038	0,0033	0,0070	-	-	-	0,0013	<0,0005	0,0028	-	-	-	0,01
Марганец, мг/дм ³	0,06	0,07	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
ХПК, мг О ₂ /дм ³	27,3	27,0	26,8	63	53	50	15	21	17	37	37	33	30
Растворённый кислород, мгО ₂ /дм ³	8,60	9,33	8,99	7,73	8,28	6,84	5,63	6,20	6,27	-	-	-	-
Цветность, град. цветности	127	98	127	104	80	88	51	54	56	86	87	91	-

Примечание. Цифрами обозначены части водохранилищ: 1 – верховье, 2 – средняя, 3 – приплотинная. Жирным шрифтом выделены превышения ПДК.

В средней части водоёма, вблизи лечебно-оздоровительного профилактория «Металлург» (участок отбора проб № 3), было отмечено довольно высокое содержание ионов аммония, в два раза выше, чем в верховье и в приплотинной части пруда. У профилактория средняя концентрация ионов аммония составляла $1,14 \text{ мг/дм}^3$, а в верховье и низовье $0,56$ и $0,53 \text{ мг/дм}^3$ соответственно. Известно, что в 2011 г. сброс сточных вод от профилактория осуществлялся в водохранилище. Это объясняет повышение содержания биогенных элементов на данном участке. Высокие концентрации аммония также наблюдались в центральной части водохранилища. Вероятно, источником аммонийного азота на этом участке являются удобрения, бытовые стоки, поступающие с ливневыми осадками с территории садово-огородных участков в водоём. Кроме того, на всей акватории нами были отмечены довольно высокие значения ХПК. В разных участках водохранилища они отличались незначительно и составляли в среднем 27 мг О/дм^3 , что свидетельствует о больших запасах ОВ в водоёме. При анализе проб воды, отобранных с поверхностного (глубина отбора 0-0,3 м) и придонного горизонтов (глубина 4-6 м), отмечены возрастание концентрации минеральных форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного) в 2 и более раза и увеличение цветности с глубиной. Содержание фосфора в воде с увеличением глубины не изменялось. Концентрация растворённого кислорода и значение водородного показателя с ростом глубины уменьшались. Увеличение содержания биогенных элементов в воде и уменьшение концентрации растворённого кислорода с возрастанием глубины отмечают многие авторы как для пресноводных, так и для морских экосистем [129-131].

В 2012 г. химический состав воды в Омутнинском водохранилище изменился. Содержание аммонийного азота в средней части пруда уменьшилось почти в два раза и составило $0,62 \text{ мг/дм}^3$. При этом на остальной акватории, по сравнению с 2011 г., концентрации ионов аммония изменились незначительно. Причиной данных изменений является введение

в эксплуатацию в 2012 г. новых очистных сооружений профилактория «Металлург». Уменьшение концентрации аммонийного азота в воде в средней части пруда свидетельствует об эффективности введенных в строй очистных сооружений профилактория. Однако, в целом по акватории, содержание ионов аммония в центральной и приплотинной частях водохранилища было выше, чем в верховье. Вероятно, это связано с поступлением в водоём с городской территории и садоводческих обществ поверхностного ливневого стока. По сравнению с 2011 г., содержание нитратов увеличилось в три раза. Наибольший рост концентраций отмечен в приплотинной части, что, скорее всего, связано с поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод. Повышение содержания нитратов в верховье и средней части пруда объясняется протеканием в воде естественных процессов нитрификации аммонийных ионов. Содержание железа и значения ХПК в 2012 г. возросли. Концентрация железа в воде составила в среднем $0,70 \text{ мг/дм}^3$. Для ХПК зафиксировано увеличение значений до 56 мгО/дм^3 . Рост значений бихроматной окисляемости указывает на увеличение содержания ОВ в водоёме. Вероятно, возрастание их концентраций в пруду связано с интенсивным «цветением» воды в 2011 г., накоплением большой биомассы, её последующим разложением и высвобождением ОВ в 2012 г. Увеличение содержания ОВ подтверждается снижением концентрации в воде растворённого кислорода. В целом, в 2012 г. отмечено улучшение ситуации в средней части водоёма, у профилактория. Однако на всей акватории водохранилища зарегистрировано превышение установленных нормативов по двум показателям: бихроматной окисляемости и содержанию железа.

В 2013 г. зафиксировано снижение показателя ХПК воды ниже ПДК и небольшое снижение содержания железа. Также отмечено уменьшение концентрации растворённого кислорода. Содержание аммония, напротив, увеличилось. Наибольшие концентрации аммонийного азота отмечены в верховье водохранилища. На данный участок антропогенная нагрузка

минимальна (любительское рыболовство), жилые и промышленные объекты отсутствуют, можно предположить, что повышенное содержание аммония связано с естественными процессами биodeградации ОВ. Содержание нитратов уменьшилось до уровня 2011 г., что может быть связано с потреблением их фитопланктоном и денитрофицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление ОВ.

В 2014 г. вновь отмечен рост концентрации железа и увеличение показателя ХПК до 37 мг О/дм³. Это свидетельствует о том, что содержание ОВ в Омутнинском водохранилище возросло. Зафиксировано уменьшение содержания в воде аммонийного азота и увеличение концентраций нитрит-ионов. Известно, что повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения ОВ в условиях более медленного окисления NO_2^- в NO_3^- . Данный факт указывает на загрязнение водного объекта.

В 2014 г. определяли содержание в воде анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ). В научной литературе приводятся данные о негативном воздействии ПАВ на представителей основных функциональных блоков экосистем [132]. Данные о концентрации АПАВ в воде Омутнинского водохранилища представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние концентрации АПАВ в воде Омутнинского водохранилища в 2014 г., мг/дм³

Дата анализа	Участок водохранилища		
	верховье	средний	приплотинный
май	< 0,025	< 0,025	< 0,025
июнь	0,071 ± 0,024	0,071 ± 0,024	0,063 ± 0,020
июль	0,048 ± 0,015	0,060 ± 0,019	0,047 ± 0,015
ПДК	0,50		

Согласно данным таблицы, максимальное содержание АПАВ в воде наблюдается в июне. Именно в этом месяце в водохранилище наблюдается первая вспышка «цветения» воды. Как известно, некоторые синтетические ПАВ (СПАВ) вызывают прирост биомассы фитопланктона, во-первых, ввиду

того, что одним из компонентов СПАВ является фосфор, а, во-вторых, за счет повышения функциональной активности водорослей [132, 133]. Вероятно, появление в водоёме в мае-июне АПАВ и повышение температуры воды стимулируют развитие водорослей и цианобактерий. В июле наблюдается небольшое снижение концентраций АПАВ. Связано оно, скорее всего, с потреблением поверхностно-активных веществ фитопланктоном в качестве питательных веществ.

В ходе проведения гидрохимического анализа воды Омутнинского водохранилища в 2011-2014 гг. была выявлена достоверная положительная корреляция (коэффициент корреляции Пирсона $r=0,98$) между содержанием железа общего и ОВ в воде. Известно, что железо играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах, процессах трансформации и перераспределения органических и минеральных соединений в водоёмах. Основным источником поступления соединений железа и ОВ в Омутнинский пруд являются болотные воды и поверхностный сток с водосбора. Также, особенно в приплотинной части пруда, важен вклад ливневых сточных вод и металлургического завода.

Концентрации тяжёлых металлов в воде Омутнинского пруда в течение всего периода исследований были невысокие. Их величина отличалась на разных участках акватории. Согласно полученным результатам (таблица 3.3), содержание меди, цинка и свинца увеличивалось в направлении от верховья к приплотинной части водохранилища. Наибольшие концентрации марганца зафиксированы в средней части пруда. Содержание кадмия в воде было крайне мало на всей акватории. Основным источником поступления меди в природные воды являются предприятия цветной металлургии (промышленные выбросы, отходы, сточные воды), транспорт, медьсодержащие удобрения, пестициды, процесс сварки, сжигание топлива в различных отраслях промышленности [134]. К числу наиболее важных источников поступления свинца относят продукты, образующиеся при высокотемпературных технологических процессах, выхлопные газы

двигателей внутреннего сгорания. С выхлопными газами в атмосферу поступает до 260000 тонн свинца. Около 50 % всех выбросов в атмосферу свинца происходит при сжигании топлива (нефти, бензина). Другим источником является выплавка цветных и черных металлов, горнодобывающая промышленность. Ареал рассеивания свинца вокруг металлургических предприятий достигает 30-40 км [135, 136]. Цинк в водные объекты может поступать из почвы. Эродированные ветром почвенные частицы вносят до 58 % цинка, поступающего из природных источников в биосферу. Поступление с растительной продукцией составляет около 20 %. Антропогенный вклад цинка в окружающую среду превышает природный в 8 раз, причем производство и использование цветных металлов дает до 43 % общего выброса этого металла в атмосферу. Определенную долю вносит сжигание древесины и отходов [137]. Вероятно, деятельность металлургического завода и расположение автомобильной дороги на берегах в приплотинной части пруда являются причиной повышенного содержания тяжёлых металлов на данной территории.

По результатам гидрохимического анализа Омутнинского водохранилища за период 2011-2014 гг. (таблица 3.3) можно сделать вывод, что вода в этом объекте исследования является загрязнённой. Отмечены высокие значения по содержанию железа и ХПК, аммонийного азота. Выявлена неблагоприятная тенденция к снижению концентрации растворённого кислорода в воде и увеличению содержания ОВ, что может способствовать интенсификации процессов эвтрофикации в водохранилище.

В целом, согласно результатам гидрохимического анализа, в воде всех изучаемых водохранилищ отмечается превышение ПДК по содержанию железа. Это объясняется особенностями почв, близким расположением месторождений железных руд, болот. Во всех водоёмах зафиксировано низкое содержание биогенных элементов и растворённого кислорода. Согласно классификации по УКИЗВ вода Белохолуницкого и Чернохолуницкого водохранилищ является слабо-загрязнённой, а вода

Омутнинского и Большого Кирсинского прудов – загрязнённой. Как отмечалось в предыдущей главе, Белохолуницкий и Чернохолуницкий пруды в меньшей степени испытывают техногенную нагрузку, чем два других объекта исследования. Их основное назначение – рекреационное. Наибольший вклад в загрязнение Большого Кирсинского водохранилища внесли проводимые торфоразработки, в загрязнение Омутнинского водохранилища – ливневые сточные воды садоводческих обществ и городской территории. На берегах этих двух водоёмов расположены более крупные населённые пункты и объекты промышленности (АО «Омутнинский металлургический завод» и завод «Кирскабель»), которые также влияют на качество воды в прудах.

Таким образом, можно сделать вывод, что разный характер использования водоёмов и прилегающей территории, гидрологические особенности прудов оказывают влияние на химический состав воды водохранилищ. Это влияние проявляется в повышенном значении содержания аммонийного азота, бихроматной окисляемости, снижении концентрации растворённого кислорода в приплотинных участках прудов. Особенности химического состава воды водохранилищ оказали влияние на биологические объекты. В частности, высокие значения индексов загрязнения воды в Омутнинском водохранилище согласуются с результатами биоиндикационной оценки воды по макрозообентосу. Подробная характеристика зообентоса Омутнинского пруда приведена в главе 4. Химический состав воды в изучаемых водоёмах оказывает влияние на наличие и распространение в водоёмах высших водных растений, водорослей и цианобактерий (глава 4).

3.2. Особенности химического состава донных отложений исследуемых водохранилищ

Пробы донных отложений в Омутнинском водохранилище отбирали в июле 2011-2013 гг., в Белохолуницком, Большом Кирсинском и Чернохолуницком – в июле 2013 г.

Отбор проб проводился с трёх участков водоёмов: верховья, центрального и приплотинного (Рисунки 3.5-3.8). Исключение составил Большой Кирсинский пруд. На этом водохранилище пробы отобрать удалось только с центральной и приплотинной части.

Результаты химического анализа донных отложений представлены в таблицах 3.5-3.6.

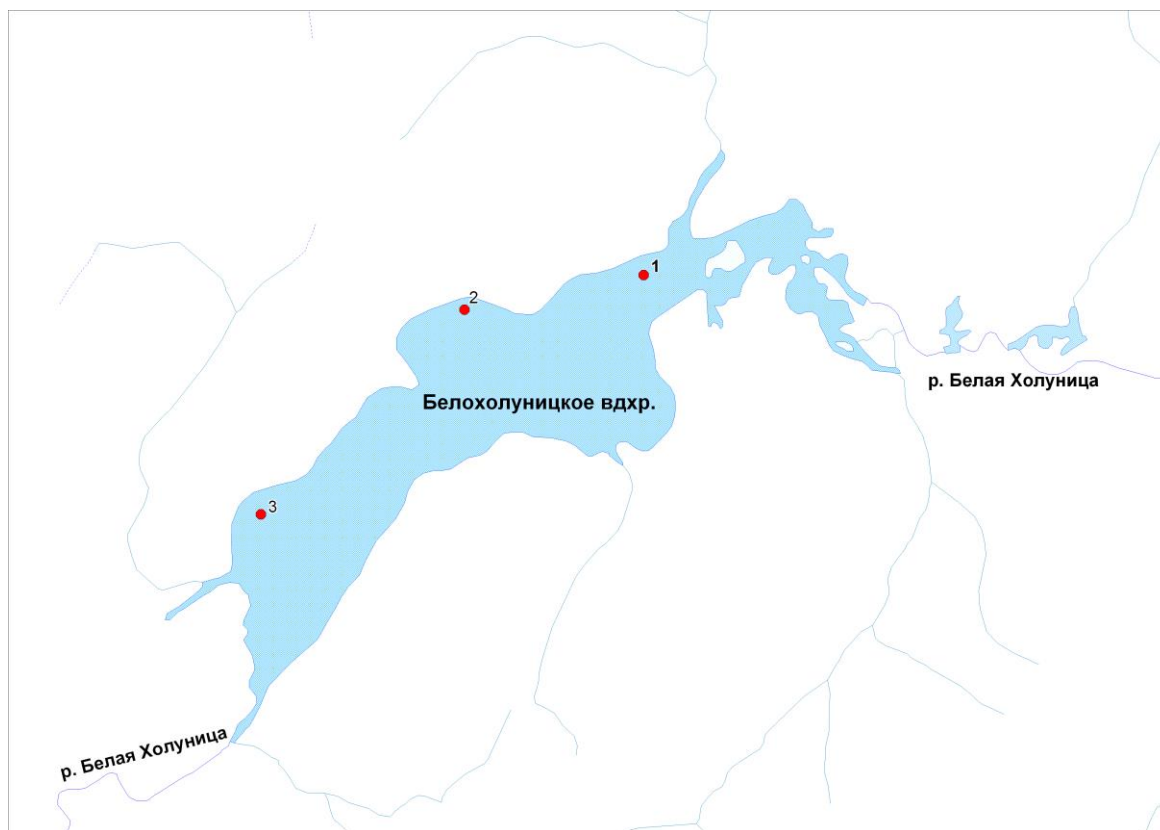


Рисунок 3.5 – Участки отбора проб донных отложений в Белохолуницком водохранилище

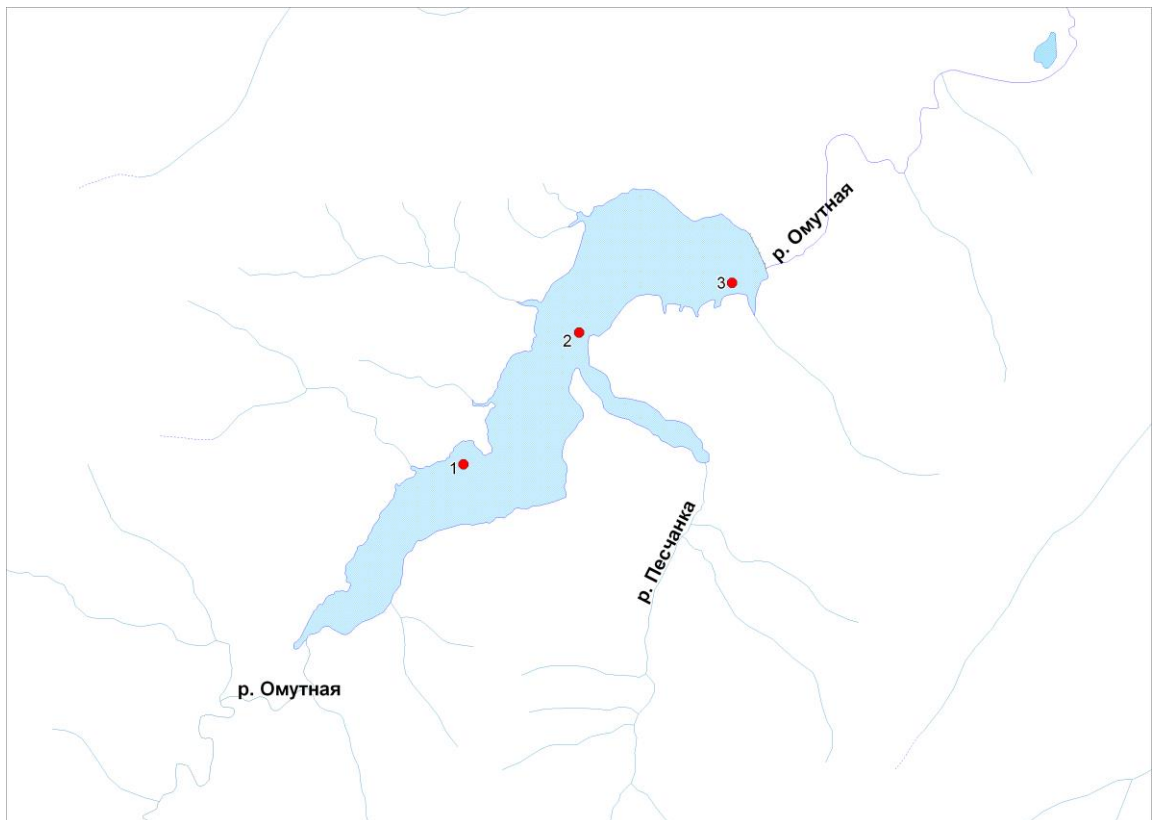


Рисунок 3.6 – Участки отбора проб донных отложений в Омутнинском водохранилище



Рисунок 3.7 – Участки отбора проб донных отложений в Большом Кирсинском водохранилище

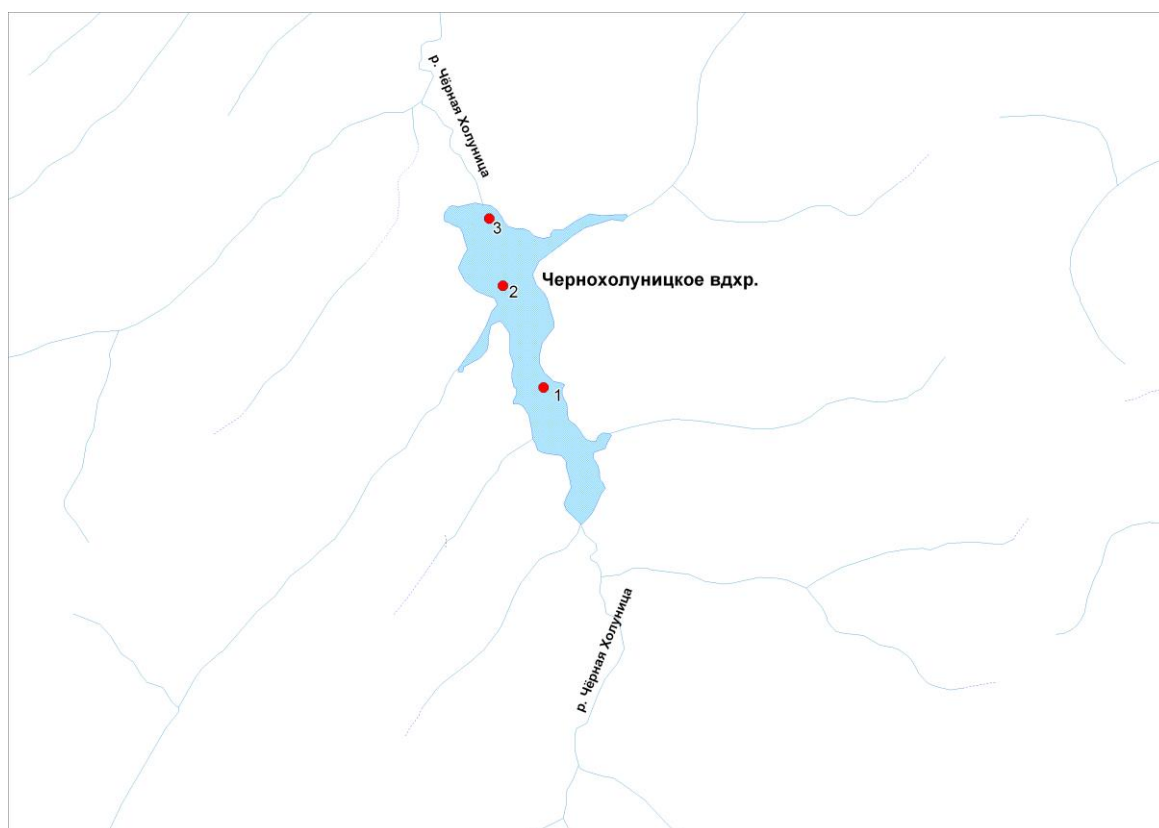


Рисунок 3.8 – Участки отбора проб донных отложений в Чернохолуницком водохранилище

По материалам исследований были выявлены некоторые особенности содержания ТМ (меди, свинца, никеля, цинка, железа, кадмия, марганца) в донных отложениях изучаемых водохранилищ. [138-140] Так, зафиксировано, что наибольшие значения концентраций всех исследуемых тяжёлых металлов зафиксированы в донных отложениях Омутнинского водохранилища (Рисунок 3.9). Данный факт можно объяснить нахождением в непосредственной близости от водоёма действующего более 200 лет Омутнинского металлургического завода. В связи с этим Омутнинский пруд испытывает самую высокую техногенную нагрузку по сравнению с другими объектами исследования.

Содержание ТМ в донных отложениях Омутнинского пруда изучается с 2011 г. За этот период исследований отмечаются существенные отличия по содержанию ТМ на разных участках водохранилища. Результаты исследований свидетельствуют о наметившейся тенденции к увеличению

содержания цинка, кадмия и свинца в донных отложениях в направлении от верховьев к приплотинной части пруда, что связано с увеличением техногенной нагрузки в приплотинной части водоёма, где кроме металлургического завода, располагается городская застройка и автомобильная дорога районного значения. Берега в приплотинной части регулярно укрепляют путём отсыпки шлаком. Все перечисленные объекты могут быть источником дополнительного поступления ТМ в воду, а затем и в донные отложения.

В донных отложениях Белохолуницкого, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого прудов концентрации всех определяемых ТМ значительно ниже, чем в Омутнинском пруду (Рисунок 3.9).

При этом следует отметить, что валовое содержание свинца, марганца и меди в донных отложениях Белохолуницкого пруда выявляет некоторые отличия на разных (верховье, центральная и приплотинная) участках его исследования. Достаточно низкое содержание данных металлов отмечено в пробах донных отложений, отобранных в верховье и центральной части водоёма (выполняющих в основном рекреационное назначение), в то время как повышенные значения свинца, марганца и меди характерны для приплотинной части водоёма. Жилая и хозяйственная застройка районного центра г. Белая Холуница, «Белохолуницкий машстройзавод», специализирующийся на производстве конвейеров, расположены большей частью в приплотинной части данного пруда. Кроме того, с 2011 года в приплотинной части пруда возобновлена деятельность гидроэлектростанции. В непосредственной близости от водоёма проходит автомобильная трасса федерального значения. Как отмечалось в главе 1, повышенное содержание в воде ТМ и железа угнетающе действует на развитие некоторых организмов, в частности инфузорий [76].

Таблица 3.5 – Содержание валовых форм тяжёлых металлов в донных отложениях водохранилищ, расположенных в северо-восточной части территории Кировской области в 2013 г.

Объект исследования	Участок	Содержание, мг/кг						
		Медь	Цинк	Никель	Кадмий	Свинец	Марганец	Железо
Белохолуницкий пруд	верховье	$2,0 \pm 0,5$	17 ± 6	$4,1 \pm 1,1$	$0,115 \pm 0,034$	$1,64 \pm 0,34$	81 ± 19	1900 ± 500
	центральная часть	$2,0 \pm 0,5$	16 ± 5	$5,0 \pm 1,4$	$0,14 \pm 0,04$	$2,4 \pm 0,5$	53 ± 12	2800 ± 700
	приплотинная часть	$3,1 \pm 0,7$	$11,0 \pm 3,6$	$5,0 \pm 1,4$	$0,15 \pm 0,04$	$2,0 \pm 0,4$	142 ± 33	2800 ± 700
Омутнинский пруд	верховье	$10,6 \pm 2,4$	66 ± 22	30 ± 8	$0,23 \pm 0,06$	$7,6 \pm 1,6$	510 ± 120	10500 ± 2600
	центральная часть	$11,2 \pm 2,6$	73 ± 24	31 ± 9	$0,25 \pm 0,06$	$7,2 \pm 1,5$	390 ± 90	9200 ± 2300
	приплотинная часть	$9,0 \pm 2,1$	96 ± 32	21 ± 6	$0,30 \pm 0,08$	$8,7 \pm 1,8$	400 ± 90	9600 ± 2400
Большой Кирсинский пруд	центральная часть	$2,2 \pm 0,5$	20 ± 7	$4,3 \pm 1,2$	$0,21 \pm 0,05$	$3,9 \pm 0,8$	180 ± 40	4000 ± 1000
	приплотинная часть	$3,2 \pm 0,7$	19 ± 6	$4,0 \pm 1,1$	$0,110 \pm 0,033$	$2,7 \pm 0,6$	81 ± 19	2900 ± 700
Чернохолуницкий пруд	верховье	$4,5 \pm 1,0$	26 ± 9	$12,9 \pm 3,6$	$0,14 \pm 0,04$	$3,8 \pm 0,8$	270 ± 60	4700 ± 1200
	центральная часть	$2,1 \pm 0,5$	20 ± 7	$6,1 \pm 1,7$	$0,120 \pm 0,036$	$2,7 \pm 0,6$	161 ± 37	2800 ± 700
	приплотинная часть	$4,6 \pm 1,1$	46 ± 15	$4,3 \pm 1,2$	$0,20 \pm 0,06$	$7,8 \pm 1,6$	510 ± 120	3500 ± 900
ПДК		55	100	85	-	32	1500	-

Примечание: ПДК для почв (согласно ГН 2.1.7.2041-06)

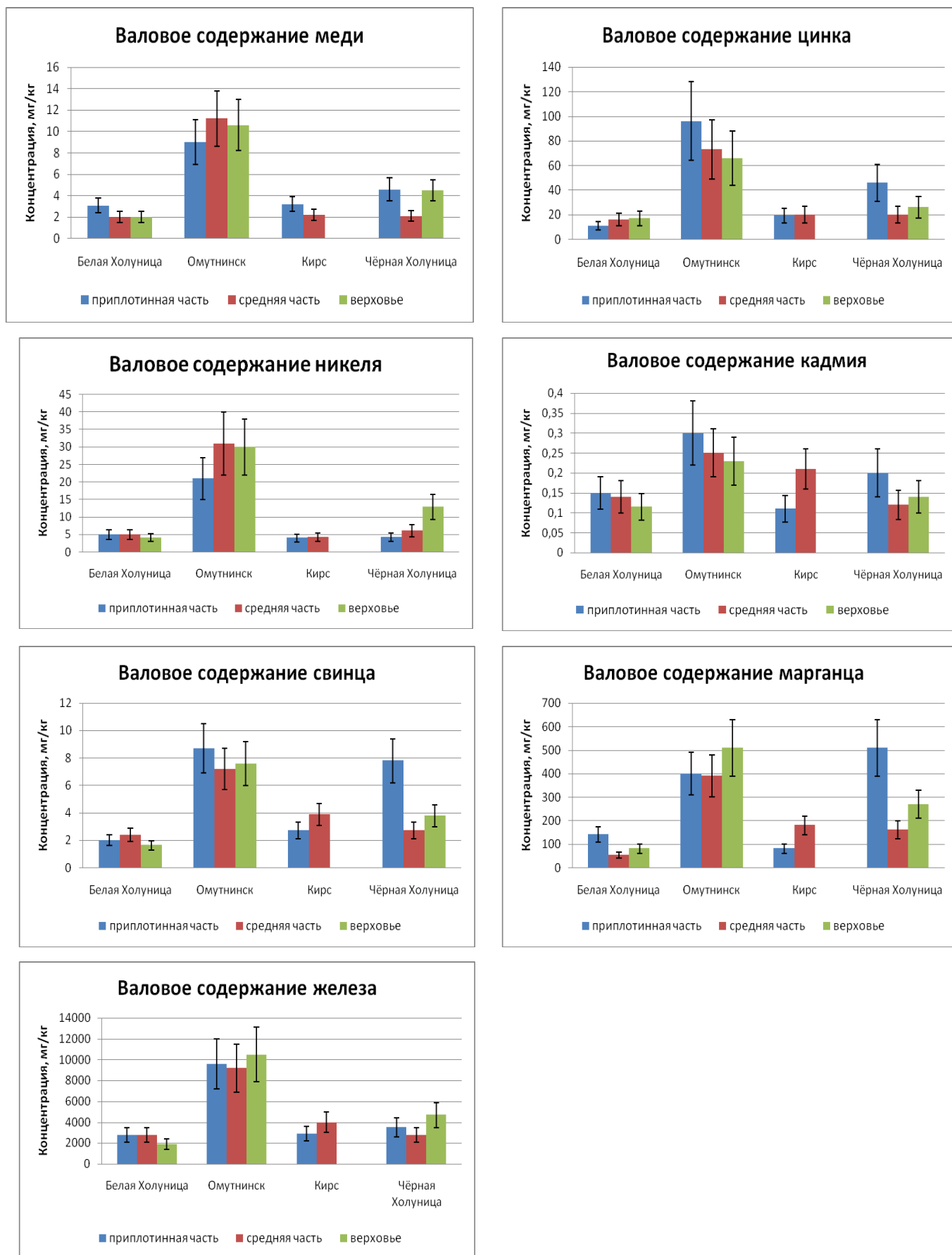


Рисунок 3.9 – Валовое содержание тяжёлых металлов в донных отложениях изучаемых прудов

Значительных отличий по содержанию ТМ (медь, свинец, никель, цинк, железо) в донных отложениях центральной и приплотинной части Большого Кирсинского пруда не выявлено. Исключение составляет только содержание марганца и кадмия в донных отложениях в центральной части водохранилища. По берегам пруда расположена жилая застройка г. Кирс, а в центральной его части действует в течение многих лет Кирсинский кабельный завод. Поэтому не случайно в донных отложениях центральной части Большого Кирсинского пруда обнаружено повышенное содержание соединений марганца и кадмия.

В донных отложениях приплотинной части Чернохолуницкого пруда отмечены повышенные значения концентраций марганца, свинца и цинка по сравнению с содержанием их в пробах донных отложений верховья и центральной части водоёма. Приплотинная часть Чернохолуницкого пруда, также как и Омутнинского, занята жилой застройкой, по гребню плотины проходит автомобильная дорога местного значения.

Чтобы оценить, насколько велико содержание валовых форм ТМ в донных отложениях изученных прудов, проведено сравнение полученных данных с имеющимися нормативами. Так как утвержденных экологических нормативов содержания ТМ для донных отложений не существует, при анализе полученных результатов были использованы ПДК для почв (таблица 3.5). В целом превышения значений ПДК тяжёлых металлов в донных отложениях всех исследуемых водоёмов нами не зафиксированы, но отмечено довольно высокое содержание цинка (на уровне ПДК) в донных отложениях Омутнинского пруда.

Вероятность вторичного загрязнения водоёма ТМ от донных отложений по системе «донные осадки – поровые воды – придонные воды», мы определяли по отношению содержания подвижных форм ТМ к валовым. Концентрации подвижных форм ТМ представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Содержание подвижных форм тяжёлых металлов в донных отложениях водохранилищ, расположенных в северо-восточной части территории Кировской области в 2013 г.

Объект исследования	Участок	Содержание, мг/кг						
		Медь	Цинк	Никель	Кадмий	Свинец	Марганец	Железо
Белохолуницкий пруд	верховье	$0,140 \pm 0,039$	$0,41 \pm 0,18$	$< 0,1$	$< 0,01$	$< 0,1$	$6,5 \pm 1,5$	240 ± 60
	центральная часть	$0,17 \pm 0,05$	$0,67 \pm 0,22$	$< 0,1$	$0,020 \pm 0,006$	$< 0,1$	$11,6 \pm 2,7$	141 ± 35
	приплотинная часть	$0,133 \pm 0,037$	$0,24 \pm 0,10$	$< 0,1$	$< 0,01$	$0,81 \pm 0,20$	$14,3 \pm 3,3$	72 ± 18
Омутнинский пруд	верховье	$0,39 \pm 0,11$	$1,9 \pm 0,6$	$2,0 \pm 0,6$	$0,075 \pm 0,023$	$0,55 \pm 0,14$	74 ± 17	990 ± 250
	центральная часть	$0,47 \pm 0,13$	$4,0 \pm 1,3$	$1,30 \pm 0,36$	$0,085 \pm 0,026$	$1,36 \pm 0,29$	64 ± 15	1400 ± 350
	приплотинная часть	$0,50 \pm 0,12$	$7,9 \pm 2,6$	$1,0 \pm 0,4$	$0,070 \pm 0,021$	$1,53 \pm 0,32$	45 ± 10	1430 ± 360
Большой Кирсинский пруд	центральная часть	$0,16 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,20$	$< 0,1$	$0,022 \pm 0,007$	$0,52 \pm 0,13$	$14,3 \pm 3,3$	340 ± 80
	приплотинная часть	$0,23 \pm 0,07$	$0,72 \pm 0,24$	$< 0,1$	$< 0,01$	$0,56 \pm 0,14$	$9,1 \pm 2,1$	210 ± 50
Чернохолуницкий пруд	верховье	$0,18 \pm 0,05$	$0,43 \pm 0,18$	$0,16 \pm 0,07$	$0,030 \pm 0,009$	$1,61 \pm 0,34$	$16,9 \pm 3,9$	70 ± 17
	центральная часть	$0,17 \pm 0,05$	$0,53 \pm 0,18$	$0,19 \pm 0,08$	$< 0,01$	$0,40 \pm 0,10$	$16,5 \pm 3,8$	91 ± 23
	приплотинная часть	$0,70 \pm 0,16$	$3,9 \pm 1,3$	$0,45 \pm 0,19$	$0,022 \pm 0,007$	$1,00 \pm 0,25$	31 ± 7	500 ± 120

Как следует из таблицы 3.6, вклад подвижных форм ТМ в общее содержание небольшой (в среднем – 10%). По этим данным можно сделать вывод, что большинство поступающих ТМ оседают в донных отложениях, и лишь меньшая их часть может переходить обратно в раствор. То есть, вероятность вторичного загрязнения ТМ исследуемых водохранилищ невелика.

Таким образом, нами было изучено валовое содержание тяжёлых металлов и их подвижных форм в донных отложениях 4-х прудов Кировской области. Отмечено, что в каждом из исследуемых водоёмов значения концентраций ТМ в донных отложениях имеют свои отличительные особенности и связаны они в основном с воздействием характерных для них источников загрязнения. Наибольшее содержание всех определяемых ТМ зафиксировано в пробах донных отложений из Омутнинского пруда (в приплотинной части которого действует металлургический завод). Содержание органического вещества в донных отложениях данного водоёма изменяется от 0,5 до 5,3%. Повышенные значения свинца, марганца, меди и цинка характерны также для донных отложений в приплотинной части Белохолуницкого и Чернохолуницкого прудов, а марганца и кадмия в донных отложениях центральной части Большого Кирсинского пруда, где расположены основные источники техногенного загрязнения.

3.3. Сравнительная характеристика исследуемых водохранилищ с различной природно-техногенной нагрузкой

Проведение анализа космических снимков, визуального наблюдения на изучаемых водохранилищах, химического анализа проб воды и донных отложений позволяет сделать сравнительную характеристику исследуемых водохранилищ.

Наибольшая природно-техногенная нагрузка оказывается на Омутнинский пруд. Её природная составляющая обусловлена влиянием болот, расположенных на территории вблизи впадения р. Омутной в пруд, холмистого рельефа водосборной площади пруда в средней и приплотинной частях, развитии эрозионных процессов. Вклад в техногенную нагрузку вносят металлургический завод и городская застройка, расположенные в приплотинной части, лечебно-оздоровительные учреждения и садоводческие общества в средней части водоёма. В местах совокупного действия антропогенных и природных факторов наблюдается наибольшее загрязнение, вызванное поступлением поллютантов и органических веществ. По степени загрязнённости воды органическими веществами, согласно главе 1, Омутнинский пруд и живущих в нём живых организмов можно отнести к мезосапробным. В воде Омутнинского водохранилища выявлено повышенное содержание аммонийного азота, общего железа, высокое ХПК, низкое содержание растворённого кислорода. В донных отложениях в приплотинной части отмечена высокая концентрация цинка, кадмия и свинца. Как отмечалось в главе 1, различные формы загрязнения, антропогенная трансформация водосборной площади и эвтрофирование оказывают влияние на развитие фитопланктона водоёма и, в частности, на увеличение доли ЦБ в общей численности фитопланктона. В Омутнинском пруду в течение ряда лет отмечается очень интенсивное «цветение» воды, вызванное преимущественно ЦБ. Высокое содержание органических веществ способствует быстрому росту ЦБ в водохранилище.

Высокую природно-техногенную нагрузку испытывает Большое Кирсинское водохранилище. Его характерными природными особенностями является расположение в районе преобладания болотно-подзолистых почв и питание водами Кирсового болота, расположенного выше по течению р. Дальняя. Техногенная нагрузка на водоём обусловлена влиянием торфоразработок на Кирсовом болоте, жилой и промышленной застройкой г. Кирс, деятельностью завода «Кирскабель». Неблагоприятным фактором, также оказывающим влияние на качество воды, является слабая проточность этого водоёма по сравнению с Омутнинским водохранилищем. В Большом Кирсинском пруду выявлено загрязнение воды аммонийным азотом, общим железом. Также зафиксировано высокое ХПК и низкое значение pH. Донные отложения в центральной части водоёма загрязнены марганцем и кадмием. По степени загрязнённости воды органическими веществами данный пруд и живые организмы в нём являются мезосапробами. Развитие фитопланктона и других водных организмов ингибируется слабокислой реакцией среды.

Белохолуницкое водохранилище, по сравнению с двумя предыдущими водоёмами, испытывает низкую нагрузку. Причём природные условия, в которых создано и функционирует водохранилище, практически не влияют на поступление загрязняющих веществ в водоём. Нагрузка на водоём обусловлена деятельностью человека. Расположенные в приплотинной части ОАО «Белохолуницкий машстройзавод», городская застройка оказывают влияние на загрязнение донных отложений этого участка водоёма свинцом, марганцем и медью. По степени загрязнения органическими веществами Белохолуницкий пруд близок к олиготрофным водоёмам. Невысокое содержание биогенных элементов и органических веществ отрицательно влияет на развитие водорослей и ЦБ в пруду. Повышенное содержание ТМ в донных отложениях и высокие концентрации железа в воде могут угнетающе действовать на развитие живых организмов в приплотинной части водоёма.

Самая низкая природно-техногенная нагрузка в настоящее время отмечена для Чернохолуницкого пруда. Она складывается из влияния немногочисленных болот, расположенных выше по течению р. Чёрная Холуница (верховье пруда) и жилой застройки одноимённого посёлка в приплотинной части. Проявляется эта нагрузка в повышенном содержании в донных отложениях приплотинной части водоёма марганца, свинца и цинка. Согласно главе 1, Чернохолуницкое водохранилище и живые организмы в нём по степени загрязнения воды органическими веществами можно отнести к олиготрофным.

Таким образом, установлено, что Белохолуницкое, Омутнинское, Большое Кирсинское и Чернохолуницкое водохранилища испытывают различную природно-техногенную нагрузку. Степень нагрузки и её характер отражаются в химическом составе воды и донных отложений прудов. Общим для всех водоёмов, независимо от степени природно-техногенной нагрузки, является повышенное содержание загрязняющих веществ в воде и донных отложениях приплотинных участков прудов. В зависимости от характера и степени загрязнения прудов, их можно разделить на две группы: мезотрофные и олиготрофные. Различная природно-техногенная нагрузка водоёмов, процессы эвтрофирования оказывают влияние на развитие и распространение в водоёме растительности и животного мира. Наиболее подвержено эвтрофикации, согласно данным химического анализа, Омутнинское водохранилище.

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ ОМУТНИНСКОГО ПРУДА)

Данная глава посвящена изучению влияния процессов эвтрофирования на биоту Омутнинского водохранилища. Приводятся результаты токсикологической оценки абиотических составляющих водоёма: воды и донных отложений. Для изучения особенностей биоты применялись методы биоиндикации и биотестирования. В Омутнинском пруду изучены высшие водные растения, фитопланктон и зообентос, определена степень развития гнилостных микроорганизмов.

4.1. Характеристика доминирующих видов высших водных растений в Омутнинском водохранилище

Из литературных данных [141] известно, что водная растительность тесно связана с гидрологическими особенностями водоема, размерами и морфометрией котловины, химическим составом вод, характером и распределением донных отложений и рядом других факторов. Флористические исследования высшей водной растительности были начаты в июне 2011 г. В рамках исследования изучали высшие водные и прибрежно-водные растения Омутнинского водохранилища и их распределение по акватории. По собранным материалам составлена карта-схема распределения высшей водной растительности по акватории Омутнинского пруда (Рисунок 4.1).

Высшая водная растительность в 2011 г. развивалась в мелководных участках пруда, образуя сплошную или прерывистую полосу вдоль берега различной ширины. Среди растений преобладали прибрежно-водные виды и виды переувлажненных местообитаний, которые, заходя в водоём, способствовали его зарастанию.

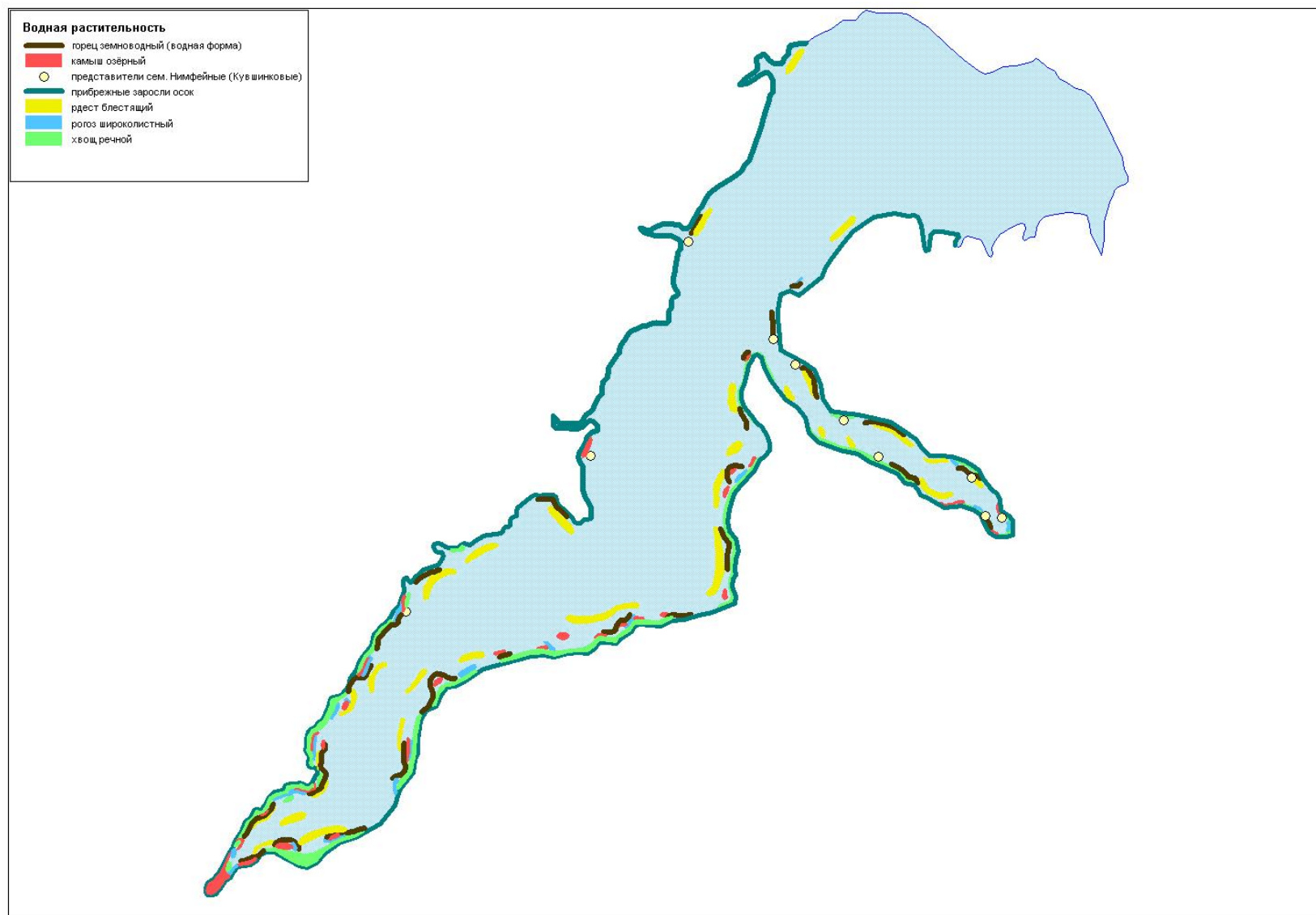


Рисунок 4.1– Распространение высших водных и прибрежно-водных растений по акватории Омуртинского водохранилища в 2011 г.

Среди водных и прибрежно-водных растений обследованного водоёма выделено 33 доминирующих вида. Группы высших растений приводятся в соответствии с классификацией А. Г. Лапирова [142]:

1. Истинно-водные растения (гидрофиты)

1.1. Погруженные плавающие в толще воды

Роголистник темно-зеленый – *Ceratophyllum demersum* L.

Пузырчатка обыкновенная – *Utricularia vulgaris* L.

1.2. Погруженные укореняющиеся или прикрепляющиеся

Элодея канадская – *Elodea canadensis* Michx.

Уруть мутовчатая – *Myriophyllum verticillatum* L.

Рдест злаковый – *Potamogeton gramineus* L.

Рдест пронзеннолистный – *Potamogeton perfoliatus* L.

Рдест блестящий – *Potamogeton lucens* L.

Рдест сплюснутый – *Potamogeton compressus* L.

Рдест туполистный – *Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch

Рдест гребенчатый – *Potamogeton pectinatus* L.

Ежеголовник (водная форма)

1.3. Укореняющиеся с плавающими на воде листьями

Кубышка желтая – *Nuphar lutea* (L.) Smith

Кувшинка чистобелая – *Nymphaea candida* J. Presl.

Горец земноводный (водная форма) – *Persicaria amphibia* (L.) S. F. Gray (*Polygonum amphibium* L.)

Рдест плавающий – *Potamogeton natans* L.

1.4. Плавающие на поверхности воды

Водокрас обыкновенный – *Hydrocharis morsus-ranae* L.

Ряска трехраздельная – *Lemna trisulca* L.

Ряска малая – *Lemna minor* L.

Многокоренник обыкновенный – *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.

2. Прибрежно-водные, или воздушно-водные растения (гелофиты)

Рогоз широколистный – *Typha latifolia* L.

Ежеголовник простой – *Sparganium emersum* Rehm. (S. simplex Huds.)

Ежеголовник ветвистый – *Sparganium erectum* L. (S. ramosum Huds.)

Частуха подорожниковая – *Alisma plantago-aquatica* L.

Стрелолист обыкновенный – *Sagittaria sagittifolia* L.

Сусак зонтичный – *Butomus umbellatus* L.

Среди растений-гидрофитов (переувлажненных местообитаний), частично вызывающих зарастание, отмечены:

Ситник сплюснутый – *Juncus compressus* Jacq.

Ситник нитевидный – *Juncus filiformis* L.

Хвощ речной – *Equisetum fluviatile* L.

Осока вздутоносная – *Carex rhynchophylla* C. A. Mey.

Осока вздутая – *Carex rostrata* Stores.

Осока двусемянная – *Carex disperma* Dew.

Осока удлиненная – *Carex elongata* L.

Осока острая – *Carex acuta* L.

Визуальное изучение акватории Омутнинского водохранилища показало, что наибольшее видовое разнообразие характерно для мест впадения рек Песчанка и Омутная. Водное зеркало на этих участках чистое, прозрачное, свободное от взвешенных в толще воды водорослей, вызывающих её массовое «цветение». Вдоль правого берега водохранилища, на участке от плотины до залива (в который впадает р. Песчанка), из высших растений отмечены протяжённые заросли осок и локально расположенные небольшие заросли рдеста блестящего. В заливе, на участках, периодически подверженных высыханию, встречены крупные заросли хвоща речного, а также ситники сплюснутый и нитевидный, осоки: вздутоносная, удлиненная, острая, вздутая, двусемянная. Также здесь отмечены ежеголовник простой, единичные экземпляры камыша озерного. На глубине 0,5-1,5 м встречались тонколистные (туполистный, сплюснутый) и широколистные (пронзеннолистный, блестящий, плавающий) виды рдестов, многочисленные особи кубышки желтой и

кувшинки чисто-белой, водная форма ежеголовника. В очень малом количестве присутствовали пузырчатка обыкновенная, уруть мутовчатая и элодея канадская. На поверхности и в толще воды были заметны плавающие и погруженные листья стрелолиста обыкновенного. Встречались обширные заросли горца земноводного и рдеста блестящего в виде прибрежных полос (на глубине 1,5 м). Ширина их составляла 20-30 м., длина от 200 до 400 м. Плавающие листья этих растений образовали сплошное покрытие водного зеркала (сомкнутость листьев более 60 %; рисунок 4.2). При дальнейшем продвижении вдоль правого берега пруда, ближе к его центральной части, на глубине 2,2 м зафиксированы большие заросли рдеста блестящего в виде куртин диаметром от 3 до 4 м. Площадь куртин возрастала по направлению к верховью пруда. В средней части водоёма, на глубине более 2 м, растения рдеста занимали уже большие площади, разрастаясь в виде полос. На данном участке, возле берега, на глубине 0,8-1,4 м, изредка встречались особи камыша озерного.

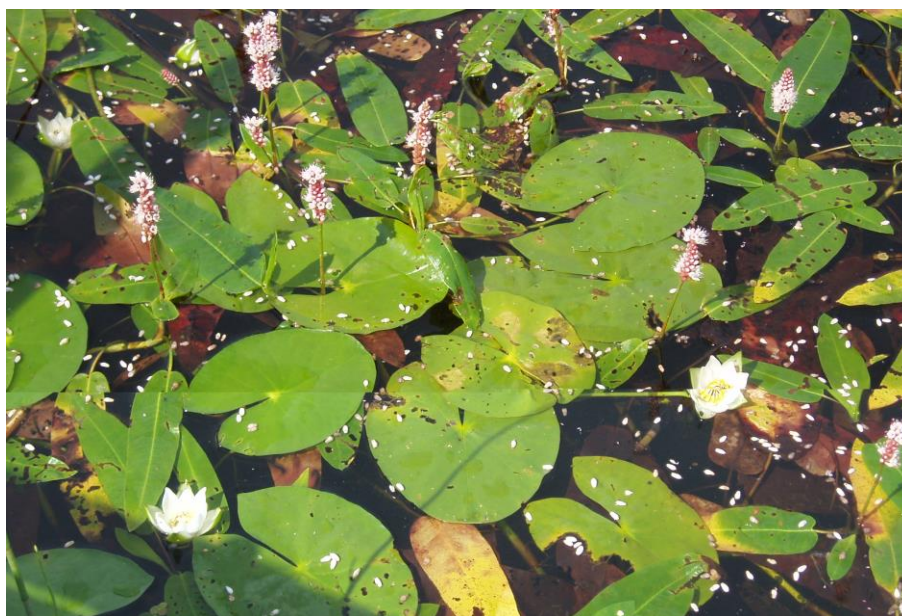


Рисунок 4.2 – Заросли горца земноводного и рдеста блестящего в Омутнинском водохранилище в 2011 г.

Ближе к верховью пруда, от береговой линии и до глубины 1,2-1,4 м (реже до 2 м) отмечено сплошное зарастание хвощем речным (Рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Прибрежные заросли хвоща речного в верховье Омутнинского водохранилища в 2011 г.

Отдельными куртинами встречался камыш озерный. На глубине 1,3 м и менее были отмечены кувшинка и широколистные виды рдестов, горец земноводный. В самом верховье, в месте впадения р. Омутная в пруд, на глубине 1,5-1,7 м, камыш и горец образовали сплошные заросли. При уменьшении глубины и продвижении к берегу снова лидирующее положение занимал хвощ речной. На левом берегу пруда, при движении в направлении от верховья к приплотинной части, характер произрастания растительности был практически идентичен таковому на противоположном берегу. Встречались осоки (вздутоносная, удлиненная, острая и др.), лютик ползучий, жерушник земноводный. Вдоль берега в воде отмечены сплошные заросли хвоща с осоками. На глубине 1,6-1,9 м – куртины рдестов пронзеннолистного и блестящего, окружающие большие популяции камыша озерного и горца земноводного. В центральной части пруда, в местах с небольшими глубинами, снова полосами разрастался хвощ (ширина полос 3-5, длина – 50-100 метров). Такое же поясное разрастание на данном участке было характерно и для рогозов. Вдоль берега отмечены значительные заросли рогоза с камышом, окруженные широколиственными рдестами, кубышкой желтой и горцем земноводным.

Изредка встречались небольшие подводные куртины тонколистных рдестов.

В целом, по результатам изучения растительности в 2011 г., можно сделать следующие выводы. Большинство видов Омутнинского водохранилища – погруженные и полупогруженные растения, занимающие большие площади и представляющие собой мозаичный комплекс, в котором доминируют рдест блестящий, горец земноводный, камыш озерный, хвощ речной, рдест пронзеннолистный, рдест плавающий, кувшинка чисто-белая, кубышка желтая, рогоз широколистный и др. Из растений переувлажненных местообитаний доминируют осоки, обильно разрастающиеся по берегам и местами заходящие в воду. Особи практически всех встреченных видов водных и прибрежно-водных растений находились в хорошем жизненном состоянии. Известно, что признаки жизненного состояния растений (развитие нормальное, выше или ниже нормального) и общий облик растений могут быть использованы при индикации трофности водной среды [113]. Видовой состав высшей водной растительности в Омутнинском водохранилище соответствовал видовому составу, типичному для мезотрофных и слабозвтрофных водоёмов. Распространение водных растений в Омутнинском пруду в 2011 г. наблюдалось с глубины от 0 до 5-6 м, что является типичным для русловых водохранилищ.

Повторное обследование акватории и прилегающих территорий для изучения высшей водной растительности проводилось в июле 2014 г. Распространение преобладающих видов по акватории Омутнинского пруда в 2014 г. представлено на рисунке 4.4. Видовой состав высшей водной растительности, по сравнению с 2011 г., изменился. В 2014 г. среди истинно-водных доминирующих видов растений были отмечены: роголистник тёмно-зелёный (*Ceratophyllum demersum* L.), пузырчатка обыкновенная (*Utricularia vulgaris* L.), уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum* L.), рдесты злаковый (*Potamogeton gramineus* L.),

пронзённолистный (*P. perfoliatus* L.), блестящий (*P. lucens* L.), сплюснутый (*P. compressus* L.), туполистный (*P. obtusifolius* Mert. et Koch), гребенчатый (*P. pectinatus* L.), плавающий (*P. natans* L.), кувшинка чистобелая (*Nymphaea candida* J. Presl.), горец земноводный (водная форма) (*Polygonum amphibium* L.), водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsus-ranae* L.). Среди прибрежно-водных растений отмечены: рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), ежеголовник простой (*Sparganium emersum* Rehm.), ветвистый (*S. erectum* L.), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), ситник сплюснутый (*Juncus compressus* Jacq.), ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.), хвощ речной (*Equisetum fluviatile* L.), осоки вздутоносная (*Carex rhynchophylla* C. A. Mey.), вздутая (*C. rostrata* Stores.), двусемянная (*C. disperma* Dew.), удлинённая (*C. elongata* L.), острая (*C. acuta* L.).

Всего зафиксировано 27 доминирующих видов водных и прибрежно-водных растений. Все растения находились в хорошем жизненном состоянии. Большинство растений были в фазе вегетации.

Как представлено на рисунке 4.4, крупные заросли растений располагались в верховье и средней части водохранилища. Аналогичное расположение зарослей растений было отмечено в 2011 г. В приплотинной части пруда высшие растения практически отсутствовали. Это связано с тем, что берега на данном участке регулярно отсыпают шлаком, в этой части водоёма наибольшие глубины и выше скорость течения. В 2014 г. отмечены небольшие заросли рогоза широколистного на двух участках в черте города Омутнинска. В 2011 г. высшие растения на данных участках отмечены не были. По некоторым данным [113], рогоз широколистный является индикатором органического загрязнения и загрязнения тяжёлыми металлами. Проведённый химический анализ воды и донных отложений с этих участков подтверждает наличие данного вида загрязнения.

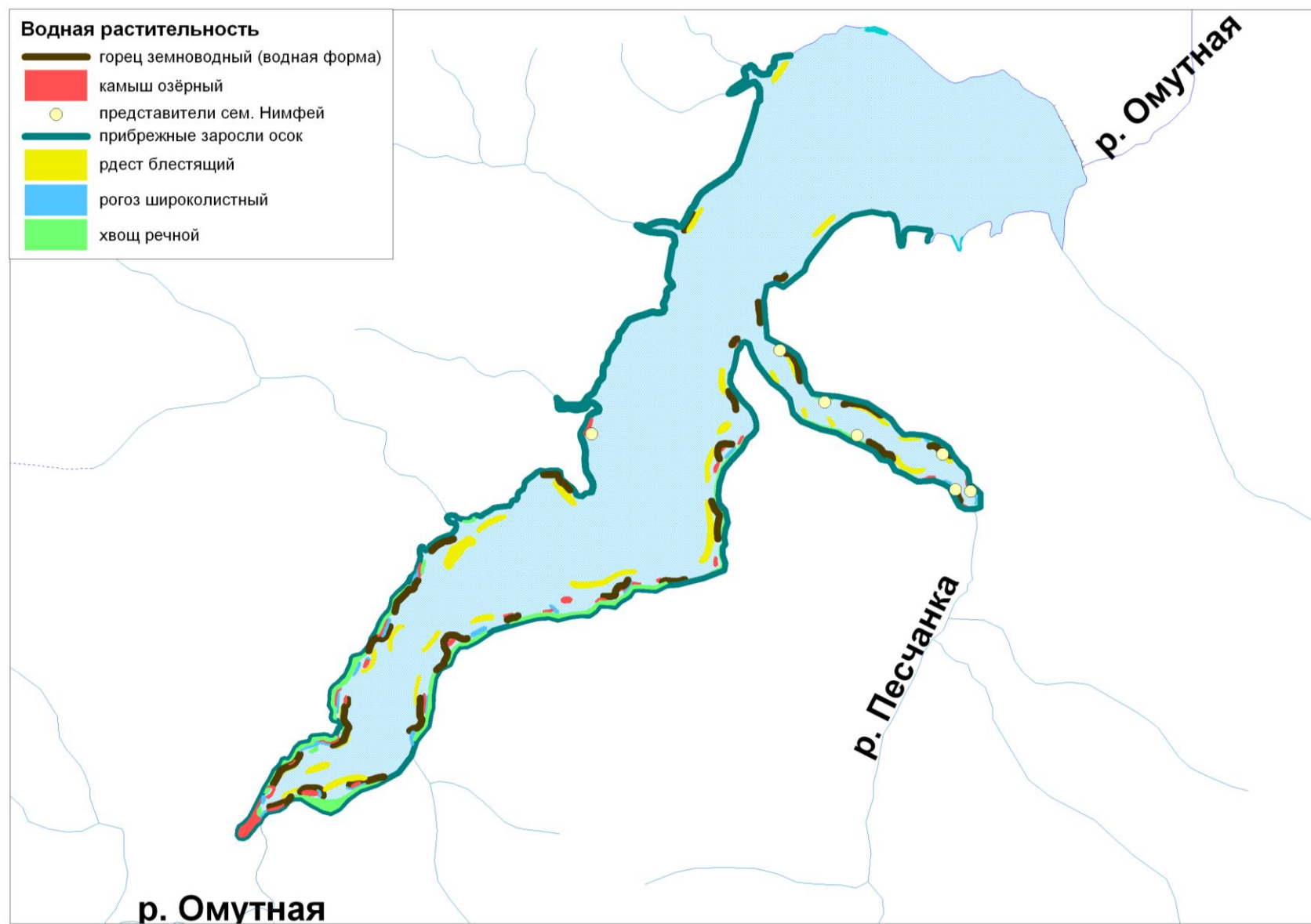


Рисунок 4.4 – Распространение высших водных и прибрежно-водных растений по акватории Омутнинского водохранилища в 2014 г.

По сравнению с 2011 г., отмечены изменения в распространении растений по водоёму. В частности, заросли хвоща в средней части водохранилища, в районе впадения р. Песчанки, в 2014 г. занимают меньшие площади по сравнению с 2011 г. А заросли в верховье пруда, наоборот, стали обширнее. Реже стали встречаться представители семейства Кувшинковые (Нимфейные). Увеличение площади зарастания высшими водными растениями характерно при переходе водоёма от мезотрофного к эвтрофному типу. Известно, что степень зарастания определяется морфометрией котловины, долей мелководий в общей площади водоёма и средней его глубиной; для слабоэвтрофных водоёмов глубиной до 4 м и наличием мелководий она составляет около 35% [113].

В целом, высшие водные и прибрежно-водные растения в Омутнинском водохранилище отличаются хорошим жизненным состоянием, распространяются преимущественно вдоль береговой линии. Наибольшие площади зарослей высших растений отмечены в мелководных участках в верховье пруда, где для них складываются наиболее благоприятные условия. В приплотинной, самой глубокой, части водоёма, испытывающей повышенную техногенную нагрузку, высшая водная растительность практически отсутствует. Однако, на этом участке ежегодно фиксируется массовое развитие водорослей и цианобактерий. Данный факт согласуется с литературными данными [26]. Видовой состав высших растений в Омутнинском пруду является характерным для слабоэвтрофных водоёмов. Количество доминирующих видов небольшое, в период с 2011 г. по 2014 г. сократилось с 33 до 27 видов. Согласно литературным данным [141], антропогенное эвтрофирование водоёмов приводит к структурной перестройке сообщества гидрофитов; в результате изменяется видовой состав доминирующего комплекса, появляются или исчезают индикаторные виды растений. Подобные изменения зафиксированы нами в Омутнинском водохранилище.

4.2. Изучение влияния процессов эвтрофирования на видовой состав высшей водной растительности Омутнинского водохранилища

Видовой состав прибрежно-водной растительности позволяет достаточно точно охарактеризовать экологическое состояние экосистемы [113]. Количество видов, соотношение разных экологических групп растений, степень зарастания водоёма – это индикаторные признаки, указывающие на различные изменения в экосистеме. По характеристикам высшей водной растительности можно судить о трофности водного объекта.

В Омутнинском водохранилище количество доминирующих видов растений небольшое и за 4 года исследований оно сократилось с 33 до 27 видов. Соотношение экологических групп показывает, что по числу видов преобладают гигрофиты, представленные в основном прибрежно-водной растительностью (Рисунок 4.5).

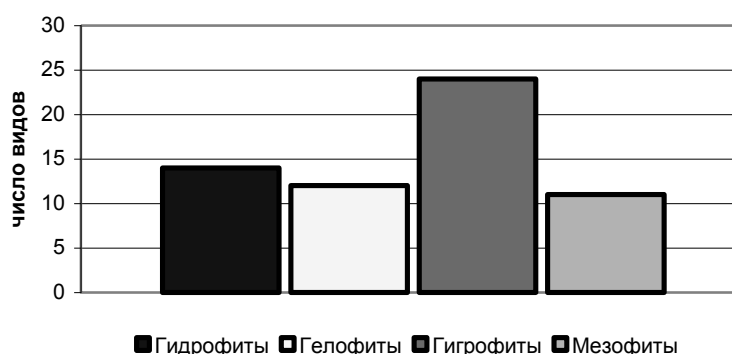


Рисунок 4.5 – Соотношение экологических групп растений Омутнинского водохранилища и прибрежной зоны

Степень зарастания составляет в среднем 35%, наибольшие площади зарастания отмечены в мелководных участках в верховье и вдоль береговой линии в средней части пруда. По этим признакам Омутнинское водохранилище можно отнести к слабоэвтрофным водоёмам. Однако за весь период исследований отмечена тенденция к увеличению трофности водоёма, переходу к эвтрофному, что подтверждается результатами химического анализа воды (Таблица 3.3). Проявляется она в изменении видового состава высшей растительности (увеличении доли рогоза,

рдестов, камыша), наблюдении в летние месяцы более интенсивного «цветения» воды. Связаны данные изменения с поступлением большого количества органических веществ, биогенных элементов (аммонийного азота) с поверхностным ливневым стоком с водосбора.

Таким образом, влияние процессов эвтрофирования на видовой состав высшей водной и прибрежно-водной растительности Омутнинского пруда проявилось в увеличении доли численности рогоза широколистного, рдестов блестящего и пронзённолистного, камыша озёрного, уменьшении общего количества видов высших растений, массовом развитии водорослей и цианобактерий. В период исследований были отмечены признаки перехода водохранилища от мезотрофного к эвтрофному. По состоянию на 2014 г., состав высшей водной растительности позволяет отнести Омутнинское водохранилище к слабоэвтрофным водоёмам.

4.3. Выявление растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования в Омутнинском водохранилище

Во время маршрутного обследования Омутнинского водохранилища в 2011 г. и 2014 г. при изучении его растительности отмечалось наличие в водоёме видов растений, которые являются индикаторами загрязнения и эвтрофирования. Такие растения были обнаружены на нескольких участках: в районе расположения санатория-профилактория «Металлург», (2011 г.), в заливе вблизи устья р. Песчанка (2011, 2014 гг.), в черте г. Омутнинска в приплотинной части пруда (2014 г.).

Санаторий-профилакторий «Металлург» до 2012 г. осуществлял сброс сточных вод в Омутнинский пруд. В 2011 г. в месте выпуска сточных вод профилактория были обнаружены: рдест пронзённолистный (*P. perfoliatus* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), ряска малая и трёхдольная (*Lemna minor* L. и *L. trisulca* L.), многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid). Последние три вида свободно-плавающих водных растений образовали возле коллектора

плотный зелёный ковер, покрывающий всю поверхность воды (Рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Растительность возле коллектора санатория-профилактория «Металлург» в 2011 г.

Как известно [138], локальное интенсивное развитие рясковых указывает на места поступления биогенных веществ в водоёмы. Рдест пронзённолистный встречается на участках, подверженных загрязнению тяжёлыми металлами. Массовое развитие рогоза широколистного может свидетельствовать о наличии загрязнения органическими веществами и тяжёлыми металлами.

В 2012 г. выпуск сточных вод профилактория в Омутнинское водохранилище был прекращён. В 2014 гг. ряска малая и трёхдольная, многокоренник обыкновенный в месте расположения коллектора нами не обнаружены (Рисунок 4.7).

В заливе, вблизи места впадения в пруд р. Песчанка, были обнаружены растения-индикаторы органического загрязнения: рогоз широколистный, рдест плавающий. На данный участок оказывают влияние расположенные на правом берегу садоводческие общества. Этот берег

выше противоположного, и все сточные воды с его территории попадают в залив пруда.



Рисунок 4.7 – Растительность возле коллектора санатория-профилактория «Металлург» в 2014 г.

В приплотинной части водохранилища в 2014 г. зафиксированы заросли рогоза широколистного. Находились они в мелководных участках в непосредственной близости от жилых домов частного сектора г. Омутнинска. С данной территории поверхностный ливневый сток попадает в пруд и стимулирует развитие рогоза. Согласно химическому анализу, в донных отложениях на этих участках зафиксировано высокое содержание цинка, кадмия и свинца.

Таким образом, в Омутнинском водохранилище были обнаружены высшие растения-индикаторы эвтрофирования, загрязнения тяжёлыми металлами, органическими веществами. Массовое развитие этих видов растений отмечено в приплотинной части водохранилища, в городской черте, и в средней части (правый берег, у санатория-профилактория «Металлург» и в заливе). Данные участки испытывают наибольшую антропогенную нагрузку по сравнению со всей акваторией.

4.4. Выявление доминирующих видов водорослей в Омутнинском водохранилище

Впервые изучение водорослей в Омутнинском водохранилище проведено в 1947 году Э. А. Штиной [145]. Согласно её данным, фитопланктон водохранилища был представлен видами: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *Anabaena scheremetievi*, *Melosira granulate*, *Ceratium hirundinella*, *Scenedesmus* sp. Численность составляла 27 млн. клеток/л. Фитопланктон водохранилища в 1947 г. был оценён как олигосапробный (чистый).

В летний сезон 2011 г. вновь были отобраны пробы воды для изучения состава водорослей Омутнинского водохранилища. Всего отобрано 16 проб. Пробы отбирали с глубины 0,3 м. Размещение участков отбора проб воды для анализа фитопланктона большей частью совпадает с размещением участков отбора проб воды для химического анализа (Рисунок 4.8), но увеличено число мест отбора в средней части водохранилища.

В отобранных пробах были выявлены доминирующие виды водорослей: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena crassa*, *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena limmermanii*, *Anabaena planctonica*, *Nostoc* sp. (Cyanophyta), *Stephanoidiscus* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia palea*, *Pinnularia* sp. (Bacillariophyta), *Mallomonas* sp. (Chrysophyta), *Peridinium cinctum* (Dinophyta), *Sphaerocystis planctonica*, *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta). Распределение выявленных видов по акватории, в связи с различием экологических условий в разных участках водохранилища, характеризуется сильной неравномерностью (таблица 4.1, рисунок 4.8).

Таблица 4.1 – Распределение доминантных видов водорослей по акватории Омутнинского водохранилища

Участок отбора проб	Видовой состав (доминанты)	Примечание
Участок № 1	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Много

Участок № 13 Участок № 14	<i>Anabaena crassa</i> <i>Anabaena spiroides</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>	цианобактерий (токсично)
Участок № 2	<i>Anabaena limmermanii</i> <i>Anabaena spiroides</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Цианобактерии (токсично)
Участок № 3	<i>Stephanodiscus sp.</i> – много <i>Anabaena spiroides</i> – единично	(довольно чисто)
Участок № 4	<i>Stephanodiscus sp.</i>	(чисто)
Участок № 5 Участок № 8	<i>Anabaena limmermanii</i> <i>Anabaena spiroides</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Stephanodiscus sp.</i> <i>Mallomonas sp.</i> (отдел Chrysophyta)	Много цианобактерий (токсично)
Участок № 6	<i>Anabaena limmermanii</i> <i>Anabaena spiroides</i> <i>Anabaena planctonica</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Stephanodiscus sp.</i>	Много цианобактерий (токсично)
Участок № 7	<i>Stephanodiscus sp.</i>	(чисто)
Участок № 9	<i>Anabaena spiroides</i> – много <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> – много <i>Stephanodiscus sp.</i>	Много цианобактерий (токсично)
Участок № 10	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Цианобактерий немного
Участок № 11	<i>Chlorella vulgaris</i>	(чисто)
Участок № 12	<i>Stephanodiscus sp.</i> <i>Nitzschia palea</i> <i>Peridinium cinctum</i> (Dinophyta)	(чисто)
Участок № 15	<i>Pinnularia sp.</i> <i>Sphaerocystis planctonica</i> – показатель чистой воды	(чисто)
Участок № 16	<i>Nastoc sp.</i> <i>Navicula sp.</i>	(чисто)

На восьми участках водохранилища (таблица 4.1, рисунок 4.8) (участки №№ 1-2, 5-6, 8-9, 13-14) зафиксированы цианобактерии (ЦБ), способные вызывать «цветение» воды, среди них *Aphanizomenon flos-aquae* и *Anabaena spiroides*. Данные участки характеризуются большими глубинами (более 3 м), повышенным содержанием биогенных элементов,

пониженным содержанием железа. На семи участках (№№ 3-4, 7, 11-12, 15-16) данные виды ЦБ не обнаружены. Эти участки отличаются меньшим содержанием биогенных элементов.

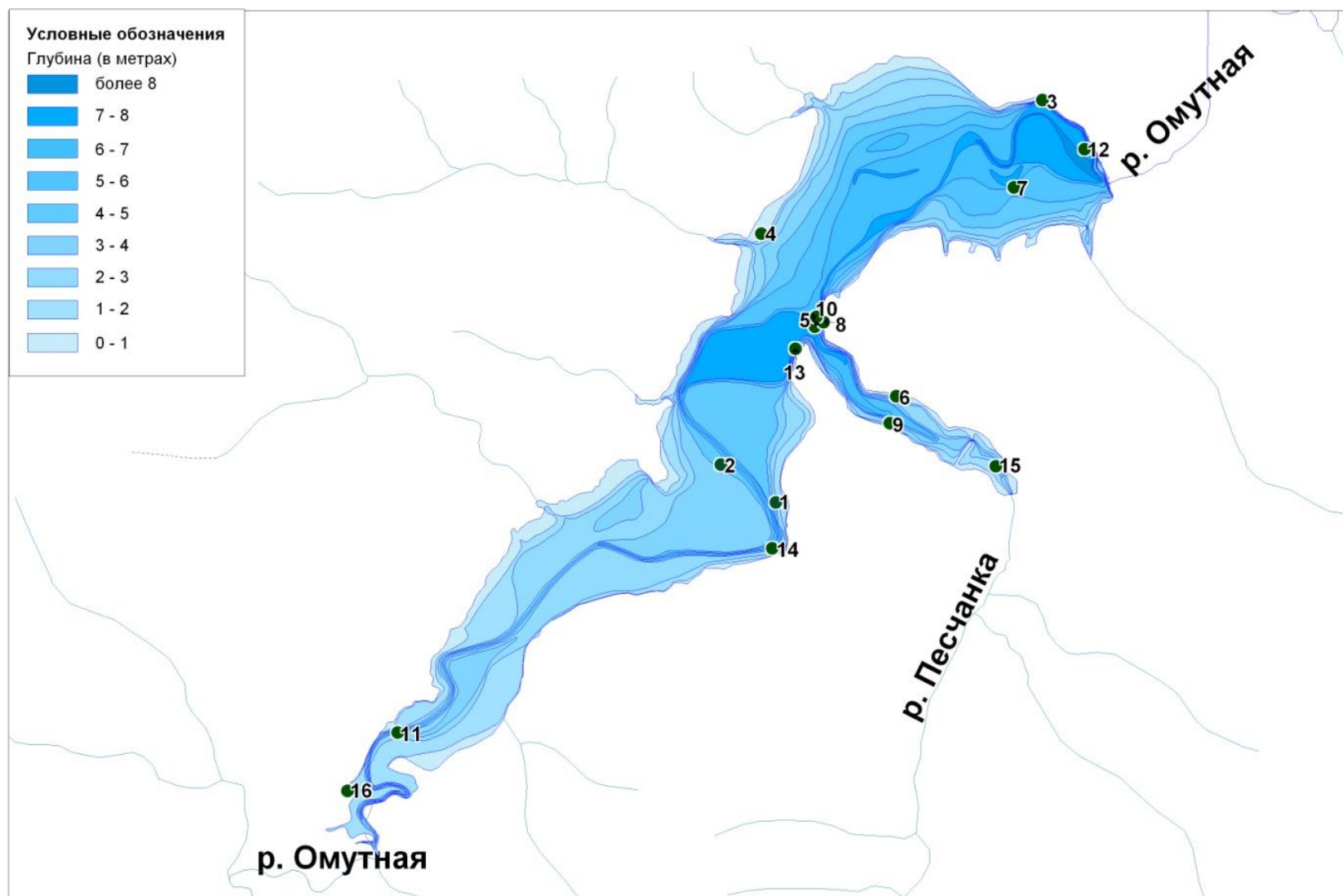


Рисунок 4.8 – Карта-схема мест отбора проб воды в Омутнинском водохранилище для определения видового состава водорослей

Согласно данным [52], ЦБ, вызывающие «цветение» воды, массово обычно развиваются в слабопроточных, богатых органическими веществами и биогенными элементами водоёмах и водохранилищах с малым водообменом. При хорошей аэрации они обычно не развиваются или развиваются намного хуже. Омутнинское водохранилище, согласно классификации по величине внешнего водообмена, является умеренно проточным. Содержание органических веществ на всей акватории водоёма довольно высокое. Содержание биогенных элементов, согласно результатам гидрохимического анализа, низкое. Отмечено лишь небольшое повышение концентрации аммонийного азота в средней части водохранилища. Таким образом, цианобактерии в Омутнинском пруду развиваются при умеренной проточности водоёма, на участках с глубиной более 3 метров, высокой концентрации в воде органических веществ, железа, низком содержании биогенных элементов.

В целом, анализ проб воды в июле 2011 г. показал, что фитопланктон Омутнинского водохранилища может быть оценён как мезосапробный (средняя степень загрязнения). По сравнению с 1947 г. видовой состав фитопланктона в пруду изменился. Химический состав воды и увеличение антропогенной нагрузки оказали влияние на видовой состав водорослей. В настоящее время преобладающими видами являются мезосапробы, что указывает на увеличение степени загрязнения Омутнинского водохранилища. Кроме того, в водоёме обнаружены представители трёх родов ЦБ (*Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*), которые чаще всего вызывают «цветение» воды в водоёмах Европейской части России [16, 52].

4.5. Изучение донных беспозвоночных Омутнинского водохранилища

Гидробиологический анализ Омутнинского водохранилища включал в себя изучение макрозообентоса водоёма. Отбор проб проводили в сентябре 2014 г., в конце вегетационного периода, на участках в верховье, средней и приплотинной части пруда с глубиной до 1,5 метров. Всего было отобрано и проанализировано 5 проб макрозообентоса: одна проба из верховья пруда,

одна из средней части у правого берега, одна – из средней части у левого берега, и две из приплотинной части (Рисунок 4.9).

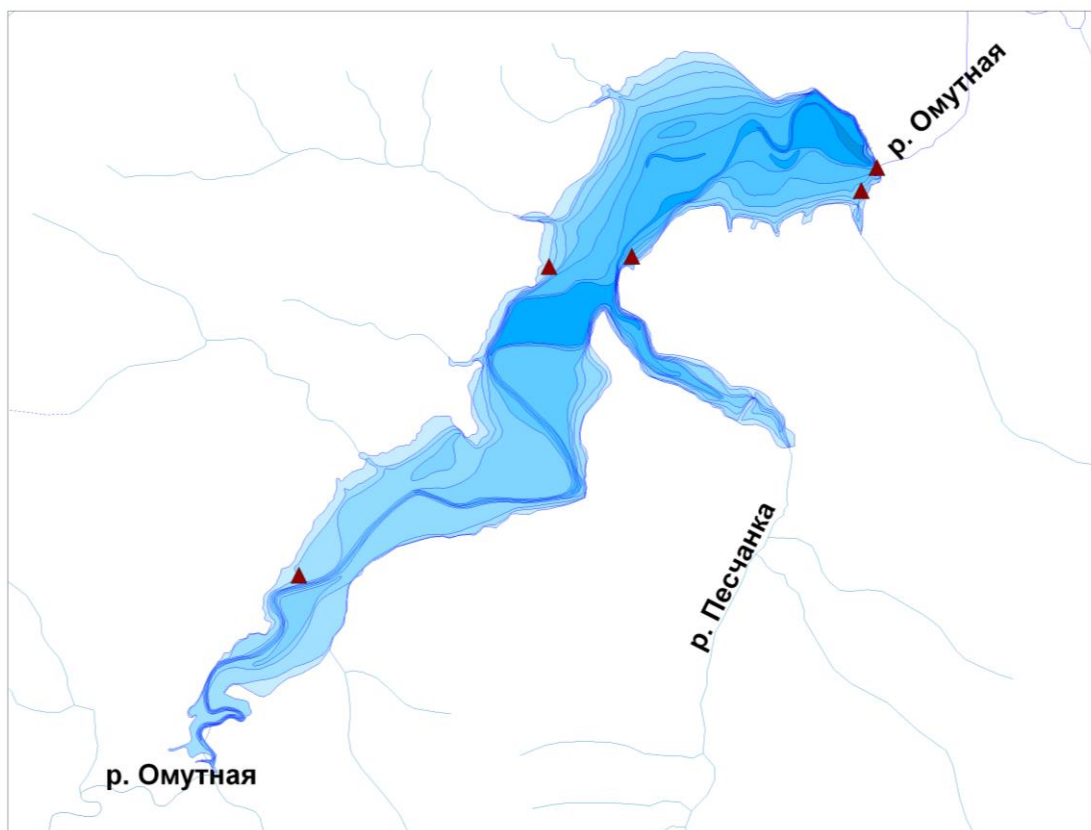


Рисунок 4.9 – Расположение участков отбора проб зообентоса в Омутнинском водохранилище в 2014 г.

Средние количественные показатели развития макрозообентоса Омутнинского пруда и состав групп приведены в таблице 4.2.

В составе зообентоса Омутнинского пруда найдено 8 систематических групп водных беспозвоночных: гидры (Hydrida), круглые черви (Nematoda), малощетинковые черви (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), водяные клопы (Heteroptera), личинки ручейников (Trichoptera), представители семейств двукрылых: комары-звонцы (Chironomidae) и мокрецы (Ceratopogonidae). В верховье пруда отмечено 7 групп, в средней и приплотинной частях – по три группы.

Максимальные значения численности донных беспозвоночных отмечены в верховье пруда (23,5 тыс.экз./м²), минимальные – в средней части (12,8 тыс.экз./м²) (таблица 4.2). Показатели биомассы снижаются от

максимальных значений (40,2 мг/м²), зафиксированных в верховье пруда до минимальных – в приплотинной части (6,3 мг/м²).

В структуре зообентоса (таблица 4.2) по численности и биомассе доминируют личинки хирономид, причем наибольшая их доля по численности зафиксирована в приплотинной части пруда (84,2%), по биомассе – в средней части (90,9%).

**Таблица 4.2 – Показатели макрозообентоса Омутнинского пруда
(1 – доля по численности, %; 2 – доля по биомассе, %)**

Группы зообентоса	Верховье		Средняя часть		Приплотинная часть	
	1	2	1	2	1	2
Hydrida	*	*	–	–	–	–
Nematoda	7,7	2,2	40,6	5,1	2,4	1,0
Oligochaeta	34,9	9,5	–	–	13,4	27,0
Hirudinea	0,8	2,7	–	–	–	–
Heteroptera, lv.	–	–	1,6	4,0	–	–
Trichoptera, lv.	*	*	–	–	–	–
Chironomidae, lv.	56,2	85,6	57,8	90,9	84,2	73,0
Ceratopogonidae, lv.	0,4	0,1	–	–	–	–
Средняя численность, тыс. экз./м ²	23,5		12,8		16,4	
Средняя биомасса, мг/м ²		40,2		19,8		6,3

Примечание. «*» – группа зообентоса найдена в качественных пробах;
«–» – группа зообентоса не обнаружена.

Как отмечалось в главе 1, для оценки трофности водных объектов разработаны различные индексы и показатели. В данной работе использованы 4 индекса, наиболее часто используемые для биоиндикации водоёмов на территории Европейской России.

Анализ биоиндикационных данных (Таблица 4.3) показал, что значения биотического индекса Вудивисса на всех участках характеризовали воды пруда пятым классом качества – грязные.

По индексу Балускиной воды Омутнинского пруда оцениваются как загрязненные.

Индекс Шеннона на различных участках изменялся от 0,73 до 1,08 бит/экз. Наиболее высокие значения индекса зафиксированы в средней части пруда, минимальные – в приплотинной.

По результатам олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея, качество вод пруда изменяется от очень чистых (в приплотинной части) до умеренно загрязненных (в средней части).

Таблица 4.3 – Результаты оценки по биоиндикационным показателям качества воды Омутнинского водохранилища

Показатель	Верховье	Средняя часть	Приплотинная часть
Биотический индекс Вудивисса, баллы	2	2	2
Индекс Балушкиной	6,89	7,18	6,86
Индекс Шеннона, бит/экз.	1,02	1,08	0,73
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея, %	34,9	40,6	13,4

В ходе работы проанализирована зависимость данных гидробиологического анализа от гидрохимического. Отмечено, что число групп зообентоса прямо зависит от содержания в ДО валовых форм марганца, численность донных беспозвоночных – от содержания в ДО валовых форм железа и содержания в воде калия, олигохетный индекс – от содержания в ДО валовых форм меди и содержания в воде нитрат-ионов, индекс Шеннона – от содержания в ДО валовых форм никеля.

В целом, по результатам изучения проб зообентоса можно сделать вывод, что в Омутнинском водохранилище отмечается снижение таксономического разнообразия донных беспозвоночных. Единственный представитель индикаторов чистых вод – личинка ручейника, была обнаружена только в одном экземпляре в качественной пробе из верховья пруда. Массовое развитие получают личинки хирономид. Полное отсутствие чувствительных к загрязнению личинок веснянок и поденок [146] низкие показатели индекса Шеннона свидетельствуют о значительной трансформации сообществ донных беспозвоночных пруда. По результатам биоиндикационной оценки воды Омутнинского пруда в основном отнесены к классам грязных и загрязнённых.

4.6. Изучение степени развития гнилостных бактерий в Омутнинском водохранилище

Микробиологический анализ проб воды из Омутнинского водохранилища проводился в 2013-2014 гг. Отбор проб производили с двух участков пруда в октябре 2013 г., и с трёх – в июне и октябре 2014 г.

В ходе анализа определяли степень развития гетеротрофных бактерий (сапрофитов). Результаты микробиологического анализа изучаемого водоёма представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Средняя численность микроорганизмов в воде Омутнинского водохранилища в 2013-2014 гг.

Дата анализа	Участок водохранилища		
	Верховье	Центральная часть	Приплотинная часть
Октябрь 2013 г.	-	70000 ± 10000	14000 ± 4300
Июнь 2014 г.	6667 ± 1527	4667 ± 1154	13000 ± 360
Октябрь 2014 г.	1840 ± 358	5270 ± 257	58667 ± 980

Согласно полученным результатам, отмечается увеличение численности микроорганизмов в приплотинной и центральной частях в конце летне-осеннего периода по сравнению с верховьем водохранилища и началом летнего сезона, что объясняется естественными причинами. В летне-осенний период наблюдаются наиболее благоприятные температуры для развития и жизнедеятельности микроорганизмов.

Численность бактерий значительно отличается на разных участках водохранилища. Вода в центральном и приплотинном участках по степени развития микроорганизмов относится к мезосапробной зоне. Согласно классификации водоёмов по бактериальным показателям вода в верховье водоёма является «удовлетворительно чистой», в средней части соответствует классу качества воды «загрязнённая», в приплотинной – «грязная». То есть, в направлении от верховья пруда к его приплотинной части численность микроорганизмов в воде возрастает (Таблица 4.4). Это объясняется увеличением антропогенной нагрузки на водоём в средней и приплотинной части, накоплением на этих участках большого запаса

загрязнителей органической природы. В 2014 году значения показателей степени развития микроорганизмов в центральной части Омутнинского пруда уменьшились в 14 раз в сравнении с 2013 г. (Таблица 4.4), что является следствием реконструкции очистных сооружений санатория-профилактория, расположенного на правом берегу водоёма. В приплотинной части данный показатель увеличился в 4 раза, что является следствием влияния урбанизированной территории и промышленных предприятий. Обилие сапрофитной микрофлоры в средней и приплотинной частях Омутнинского пруда является косвенным доказательством микробиологического загрязнения водоёма.

Помимо общей численности микроорганизмов в воде, большое значение имеет их групповой и видовой состав. В большинстве случаев бактерии в воде из Омутнинского пруда представлены родом *Bacillus*. Принадлежность к данному роду установлена по наличию эндоспор в жизненном цикле бактерий и характеру роста колоний. Все эти бактерии – аэробы или факультативные анаэробы, грамположительные бактерии, активные аммонификаторы. Некоторые штаммы являются деструкторами АПАВ [143, 144]. Внешнее изучение характера разрастания микроорганизмов в воде показало, что видовой состав микроорганизмов в разных частях водохранилища отличается. Для воды из центральной части Омутнинского пруда характерны следующие особенности: очень большие размеры колоний, свидетельствующие о высокой скорости роста, большое количество пигментированных колоний, наличие микроорганизмов-антагонистов. В приплотинной части пруда таких особенностей не обнаружено. Это связано с тем, что глубины, химический состав воды, перемешивание воды на двух изученных участках водохранилища отличаются.

В целом, результаты микробиологического анализа свидетельствуют о более высокой степени развития гнилостных процессов в средней и приплотинной части Омутнинского пруда (Таблица 4.4). Ранее, при проведении химического анализа проб воды, мы отмечали большое

содержание ОБ в водоёме. Вероятно, за время эксплуатации водохранилища, накопилось большое количество ОБ, которые в настоящее время используются микроорганизмами в качестве питательной среды и способствуют их массовому развитию.

4.7. Токсикологическая оценка проб воды и донных отложений

Омутнинского водохранилища

Токсикологический анализ проводили с применением методов биотестирования. В процессе исследования определяли острую и хроническую токсичность.

Для анализа проб воды и ДО использовали три тест-объекта разных уровней организации: бактериальную тест-систему «Эколюм», простейших *Paramecium caudatum* Ehrenberg, низших ракообразных *Daphnia magna* Straus.

Предварительно перед проведением анализа была установлена чувствительность используемых тест-объектов к стандартным токсикантам в соответствии с требованиями аттестованных методик.

Результаты установления острой токсичности проб воды, отобранных в летний и осенний периоды, представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты биотестирования проб воды Омутнинского водохранилища

Место отбора пробы		Токсичность			Заключение о токсичности
		Инфузории, Т (у.е.)	Тест-система «Эколюм», Т (у.е.)	Смертность <i>D. magna</i> , %	
Верховье	лето	0,30 I группа	0 (-24,2) I группа	0	Пробы не оказывают острого токсического действия
	осень	0,35 I группа	2,2 I группа	0	
Средняя часть	лето	0,24 I группа	0 (-1,0) I группа	0	
	осень	0,29 I группа	3,1 I группа	0	
Приплотинная часть	лето	0,24 I группа	8,42 I группа	0	
	осень	0,28 I группа	3,5 I группа	0	

Все пробы оказались не токсичными для трех используемых тест-объектов: гибели дафний в течение 96 часов не наблюдалось, двумя экспресс-методам установлено, что пробы относятся к I группе.

Несмотря на невысокие индексы токсичности Т (Таблица 4.5), наблюдается тенденция их повышения в осенний период. Пробы, отобранные летом в верховье и средней части водохранилища, оказывали на бактериальную тест-систему «Эколюм» стимулирующее воздействие: индексы Т приравнены к нулю, что рекомендовано методикой в случае получения отрицательных значений, свидетельствующих об увеличении биолюминесценции по сравнению с контролем. В осенний период вода с данных участков таким действием уже не обладает. Биолюминесценция угнетается в пределах диапазона I группы.

Биотестирование с помощью *D. magna* дает возможность проводить исследование для определения не только острой, но и хронической токсичности. Результаты приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты установления хронической токсичности воды с помощью *D. magna*

Место отбора пробы		Плодовитость	Заключение о токсичности
Контроль	лето	$4,7 \pm 0,8$	
	осень	$7,3 \pm 0,1$	
Верховье	лето	$26,1 \pm 0,9^*$	+ по критерию стимуляции
	осень	$5,6 \pm 1,6$	-
Средняя часть	лето	$31,3 \pm 4,7^*$	+ по критерию стимуляции
	осень	$4,3 \pm 1,2^*$	+ по критерию угнетения
Приплотинная часть	лето	$18,4 \pm 2^*$	+ по критерию стимуляции
	осень	$3,1 \pm 1,7^*$	+ по критерию угнетения

Примечание: * - значения достоверно отличаются от контрольных; плюс – проба оказывает хроническое токсическое действие; минус – проба не оказывает хронического токсического действия.

Воздействие проб, отобранных летом и осенью, значительно отличалось. Летом для всех наблюдаемых участков выявлена значительная стимуляция плодовитости дафний по сравнению с контролем, а осенью напротив – способность к размножению снижается, причем в средней и приплотинной части водохранилища отличия от контроля достоверны.

Вероятно, увеличение плодovitости рачков в летний период связано с поступлением в водоем с городской территории и от садоводческих обществ ливневых сточных вод, обогащенных питательными веществами.

Донные отложения были отобраны осенью. Результаты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты биотестирования проб донных отложений Омутнинского водохранилища

Место отбора пробы	Токсичность			Заключение о токсичности
	Инфузории, Т (у.е.)	Тест-система «Эколюм», Т (у.е.)	Смертность <i>D. magna</i> , %	
Верховье	0,16 I группа	0 (-16,28) I группа	0	Пробы не оказывают острого токсического действия
Средняя часть	0,15 I группа	0 (-33,52) I группа	0	
Приплотинная часть	0,04 I группа	0 (-50,21) I группа	0	

Донные отложения являются аккумулярующей частью водных экосистем и часто накапливают загрязняющие вещества в высоких концентрациях. Однако, согласно проведённому токсикологическому анализу, ДО Омутнинского водохранилища являются нетоксичными. По тест-системе «Эколюм» выявлена стимуляция тест-функции. Это может быть связано с наличием биогенных элементов в исследуемых пробах. Как отмечалось в главе 1, инфузории чувствительны к повышенному содержанию железа и тяжёлых металлов. Сопоставление результатов химического анализа воды, донных отложений и токсикологического анализа подтверждают эти данные.

4.8. Выявление характерных особенностей антропогенного эвтрофирования исследуемых водоёмов

Согласно проведённым исследованиям, водохранилища, расположенные в северо-восточной части Кировской области, в разной степени подвержены антропогенной эвтрофикации. Характерной особенностью химического состава всех изучаемых водохранилищ является

высокое содержание в воде общего железа, что связано как с природными особенностями, так и с антропогенным влиянием.

В Большом Кирсинском пруду наряду с большими концентрациями железа наблюдаются высокие значения ХПК и низкие значения растворённого кислорода, что указывает на большие запасы ОВ в водоёме. Особенности химического состава водохранилища оказывают влияние на развитие и жизнедеятельность живых организмов. Высокое содержание ОВ может стимулировать бурное развитие водорослей и высших растений, микроорганизмов. Однако в Большом Кирсинском пруду этого не наблюдается. Вероятно, сдерживающим фактором здесь является низкое значение рН.

В Омутнинском водохранилище также зафиксированы высокие значения ХПК и низкая концентрация растворённого в воде кислорода. Однако значение рН в этом водоёме почти на единицу выше. Такая реакция среды более благоприятна для развития водорослей и цианобактерий пруда, вызывающих «цветение» воды. Развитие гидробионтов также поддерживается наличием в воде и донных отложениях таких элементов, как цинк и кадмий. Цинк является микроэлементом, влияющим на рост и нормальное развитие организмов. Высокие концентрации цинка отмечены в приплотинной части водохранилища. Здесь же регистрируется наиболее сильное «цветение» воды. На основе данных многофакторного системного анализа, выделены зоны повышенного стока в водоём биогенных элементов с берегов водохранилища, зоны повышенного содержания химических веществ и массового развития цианобактерий (Рисунок 4.10).

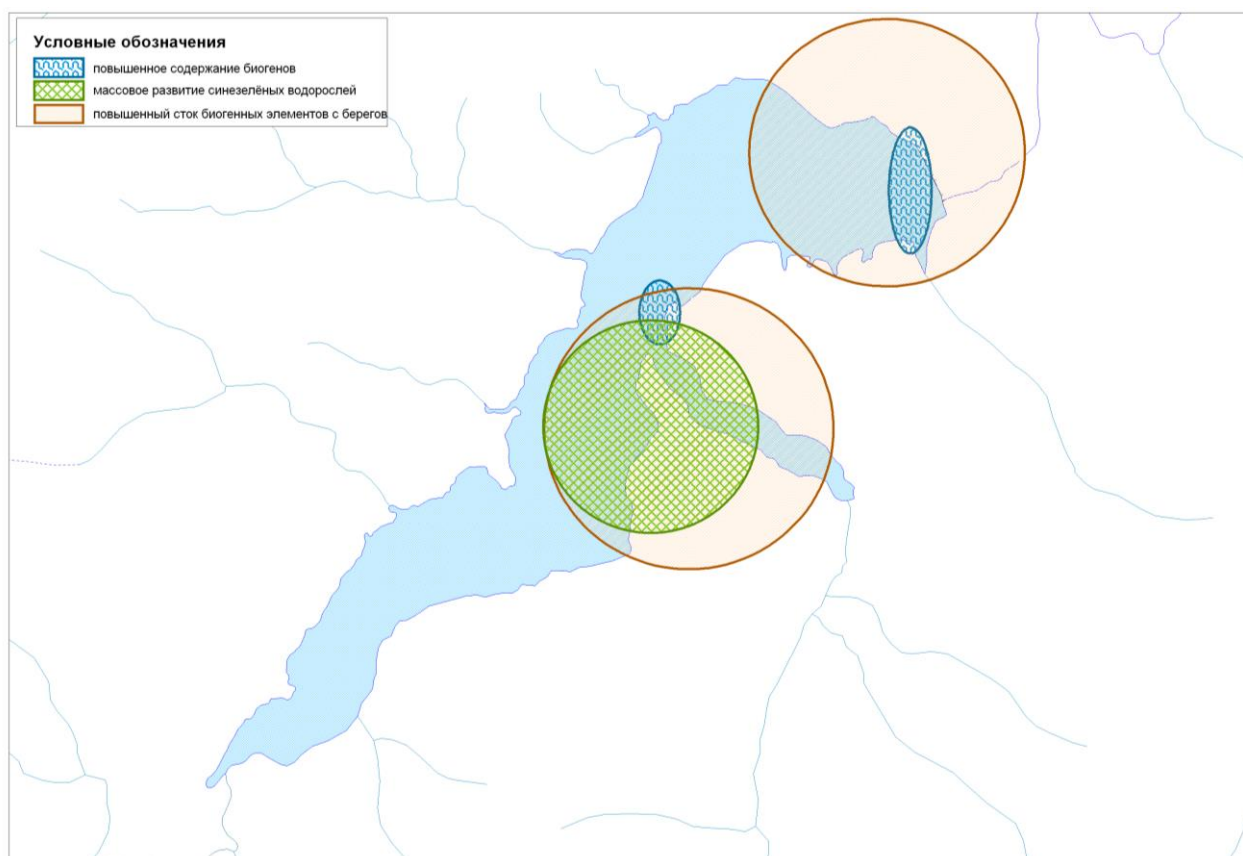


Рисунок 4.10 – Участки Омутнинского водохранилища, наиболее подверженные процессам эвтрофикации

Таким образом, в Омутнинском водохранилище четко выделяются два участка антропогенной эвтрофикации. Они находятся в низовье водохранилища, в городской черте и в районе впадения р. Песчанки.

Процессы эвтрофирования в Белохолуницком водохранилище проявляются в основном в сильном зарастании высшей водной растительностью. Способствуют этому морфометрические параметры пруда, большое число мелководных участков, илистое дно. Особенностью этого водоёма является повышенное содержание в приплотинной части таких металлов, как медь, марганец и свинец. Медь – один из основных микроэлементов, принимающий участие в процессах фотосинтеза и влияющий на усвоение азота растениями. В Белохолуницком водохранилище медь стимулирует развитие высшей водной растительности и ингибирует развитие водорослей и цианобактерий. Запасы ОВ в данном водоёме

значительно меньше по сравнению с Большим Кирсинским и Омутнинским прудами и эвтрофикация проявляется в меньшей степени.

В Чернохолуницком пруду отмечена наименьшая степень проявления эвтрофикации. Особенность данного водоёма – отсутствие ощутимой антропогенной нагрузки более 50 лет. Запасы органического вещества здесь небольшие. В приплотинной части пруда наблюдаются повышенные концентрации цинка и марганца, которые положительно влияют на развитие водной флоры. Однако массового развития цианобактерий и водорослей не наблюдается, заросли высших растений занимают небольшие площади.

Таким образом, характерными особенностями эвтрофирования водохранилищ, расположенных в северо-восточной части Кировской области, являются высокое содержание в воде общего железа, хорошая обеспеченность такими элементами, как цинк, медь, марганец и кадмий, большие запасы ОВ, накопленные за время эксплуатации водохранилищ и пополняемые в настоящее время за счёт природных и антропогенных факторов. Высокие концентрации ОВ в воде, присутствие в достаточных количествах микроэлементов оказывают стимулирующее влияние на высшую водную растительность, водоросли и цианобактерии, микроорганизмы.

4.9. Рекомендации по снижению процессов эвтрофирования в водоёмах Кировской области

По проведённым комплексным исследованиям крупных водохранилищ Кировской области было выявлено, что наиболее интенсивно процессы эвтрофирования проявляются в Омутнинском пруду. В последние годы в этом водоёме наблюдается очень интенсивное «цветение» воды. В естественных условиях вода начинает «цвести» обычно в конце летнего периода (июль-август). Массовое развитие водорослей и цианобактерий в Омутнинском водохранилище наблюдается уже в июне. Причинами ускоренного развития цианобактерий в водных объектах являются: содержание в воде в повышенных концентрациях биогенных элементов [56],

морфометрические особенности водоёма (небольшая глубина, большая площадь эпилимниона), достаточное количество таких микроэлементов как медь, кобальт, железо, ванадий, температура воды от 15 до 30°C [147-153]. В Омутнинском пруду факторами, стимулирующими эвтрофикацию водоёма и его «цветение», являются морфометрические параметры водоёма, большое количество органических веществ, а также повышенное содержание аммонийного азота и железа общего в воде. В других водохранилищах региона в настоящее время процессы эвтрофирования проявляются менее интенсивно.

*Предложения и рекомендации по снижению процессов эвтрофирования
в Омутнинском водохранилище*

Учитывая природные особенности Омутнинского водохранилища и характер его использования местным населением, рекомендуются следующие предложения для снижения интенсивности процессов эвтрофирования. Во-первых, необходимо снизить внешнюю нагрузку на водоём, а именно ограничить поступление в пруд ОВ, тяжёлых металлов, биогенных элементов, стимулирующих эвтрофикацию. Во-вторых, нужно уменьшить внутреннюю нагрузку на водоём, состоящую в аккумуляции загрязняющих и органических веществ, тяжёлых металлов донными отложениями и их последующим высвобождением в результате биохимических процессов.

Для уменьшения локального поступления с водосбора биогенных элементов, в частности азота, рекомендуется установка очистных сооружений на предприятиях, осуществляющих выпуск сточных вод в пруд. Таковым до 2012 г. являлся санаторий-профилакторий «Металлург». В 2011 г. в месте выпуска сточных вод данного санатория концентрация аммонийного азота по материалам диссертационного исследования была в 2 раза выше по сравнению со всей акваторией. Администрации санатория-профилактория было предложено построить очистные сооружения. В 2012 г.

очистные сооружения были установлены, и содержание ионов аммония в воде на данном участке существенно снизилось.

Для уменьшения поступления в водоём ОВ, тяжёлых металлов, биогенных элементов с поверхностным ливневым стоком, необходимо создать в г. Омутнинске систему ливневой канализации, а также укрепить берега водоёма, наиболее подверженные эрозии.

Чтобы уменьшить вероятность вторичного загрязнения водоёма от донных отложений, а именно содержащихся в них ОВ и тяжёлых металлов, рекомендуется удалять из водоёма донные отложения. При использовании этого метода несколько увеличивается глубина водоёма. Однако данный метод технически осуществим только на мелководных водоёмах. Кроме того, неизбежен ущерб донной фауне водного объекта, а, следовательно, и его экосистеме.

Для подавления «цветения» воды в Омутнинском пруду может быть использован приём с использованием ячменной соломы в качестве ингибитора развития цианобактерий. Данный метод является наиболее экологически безопасным, хорошо зарекомендовал себя во многих странах. Данные модельных экспериментов [94] свидетельствуют о высокой альгицидной активности продуктов разложения соломы в отношении нитчатых водорослей. Использование ячменной соломы считается успешным способом борьбы с «цветением» воды без каких-либо нежелательных побочных эффектов.

Также на Омутнинском пруду может быть применён метод, описанный в работах [81, 154]. Он состоит из двух этапов. На первом предлагается изменение соотношения азота к фосфору в сторону его увеличения, на втором – вселение в водоём растительноядной рыбы (белого и пёстрого толстолобика). У ЦБ и диатомовых водорослей оптимальным считается отношение азота к фосфору от двух до пяти. Увеличение этого отношения приводит к подавлению цветения ЦБ и доминированию протококковых зеленых микроводорослей. Необходимое увеличение достигается за счет

добавления в эвтрофированный водоём соединений азота. На втором этапе предлагается интродукция в водоём фитопланктоядных рыб, переводящих избыточную первичную продукцию активно потребляемых протококковых во вторичную продукцию рыб. Предложенный метод регуляции типа «цветения» (смена доминирования ЦБ на преобладание зелёных водорослей) применим для рекреационных водоёмов, для водоёмов-охладителей, для водоёмов питьевого и комплексного назначения.

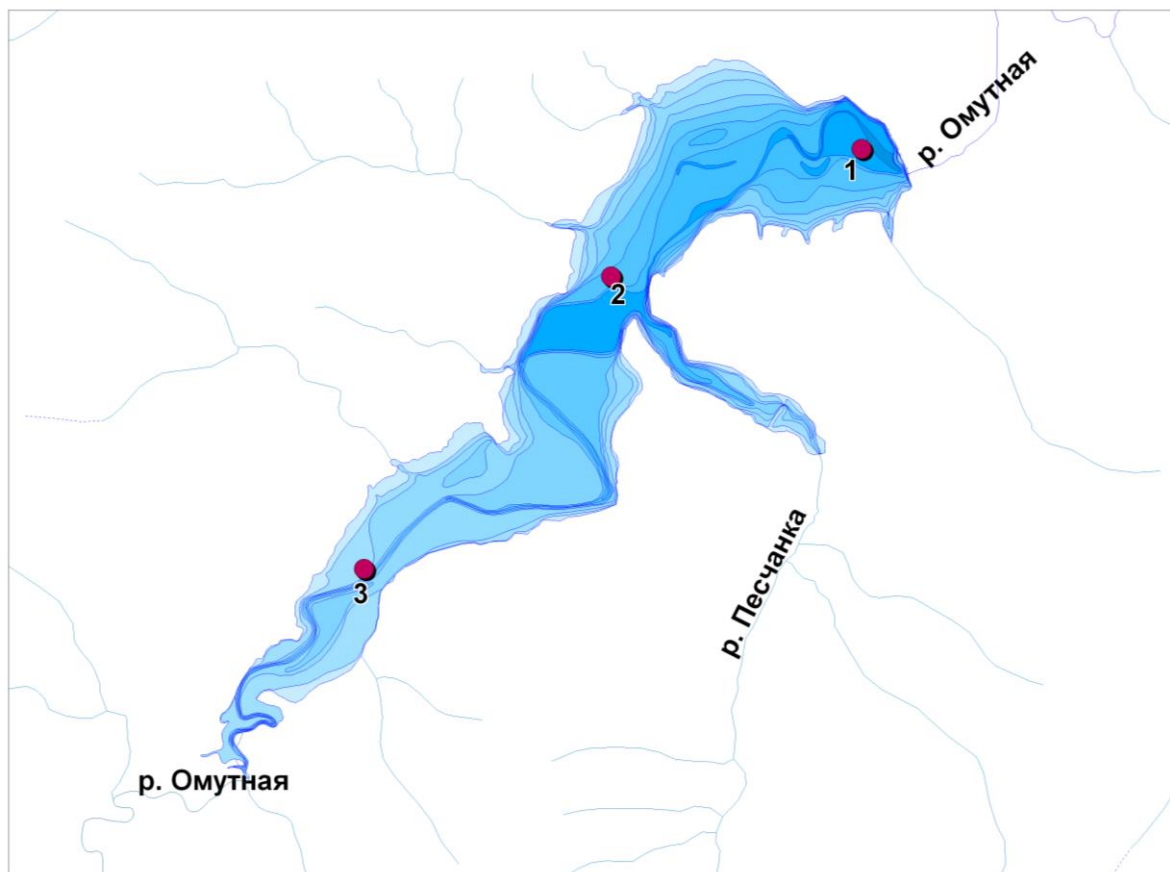
Для контроля влияния принимаемых мер по снижению интенсивности процессов эвтрофирования на водоёме рекомендуется проводить регулярные наблюдения за состоянием Омутнинского водохранилища. Для этих целей разработан проект программы мониторинга пруда. В качестве наиболее информативных показателей состояния экосистемы могут быть использованы химические, микробиологические, токсикологические и биоиндикационные показатели. Для полной характеристики водоёма необходимо проводить качественный и количественный анализ всех его компонентов: воды, донных отложений, биоты (растений, животных и микроорганизмов). Соответственно, мониторинг Омутнинского водохранилища должен включать в себя следующие виды работ: проведение химического и токсикологического анализа проб воды и донных отложений, анализ видового состава и распространения низших и высших водных растений, анализ видового состава и биомассы зообентоса. Среди всего разнообразия животных выбран именно зообентос по ряду причин. Животные макрозообентоса удовлетворяют следующим требованиям к биоиндикаторам: повсеместная встречаемость, достаточно высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора и обработки, сочетание приуроченности к определенному биотопу с определенной подвижностью, достаточно продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период. Бентосные организмы, как правило, не являются хозяйственно ценными или

уникальными объектами, поэтому изъятие их из водоёма в исследовательских целях не наносит ущерб его экосистеме.

Программа мониторинга Омутнинского водохранилища (проект)

Программа мониторинга Омутнинского водохранилища разрабатывается с целью организации системы наблюдений, контроля и прогнозирования состояния Омутнинского водохранилища.

Выбор участков для отбора проб воды, донных отложений, растительности. Омутнинское водохранилище по степени антропогенной нагрузки можно разделить на три ключевых участка: верховье, средняя и приплотинная части. В верховье влияние человека минимально, берега пруда заняты естественной растительностью, в основном еловыми лесами. В средней части на берегах пруда находятся садоводческие общества, лечебно-оздоровительные учреждения. Часть берегов в этой части занята естественной растительностью – еловыми лесами, часть – бывшими пашнями и покосами. Берега в приплотинной части пруда испытывают наибольшую антропогенную и техногенную нагрузку. Здесь расположен г. Омутнинск, крупные автомобильные дороги, Омутнинский металлургический завод. Расположение пунктов отбора проб в Омутнинском водохранилище, с учётом степени антропогенной нагрузки на разные его участки, представлено на рисунке 4.11.



Примечание: 1 – участок в приплотинной части, 2 – участок в средней части, 3 – участок в верховье пруда.

Рисунок 4.11 – Расположение пунктов отбора проб воды, донных отложений и растительности в Омутнинском водохранилище

Проведение химического анализа проб воды.

Отбор проб воды для проведения химического анализа следует проводить в течение всего календарного года с учётом гидрологического режима водохранилища: во время зимней межени (январь), весеннего половодья (апрель-май), летней межени (июль-август), начала (май-июнь) и конца (сентябрь-октябрь) вегетационного сезона.

Обязательные показатели, определяемые при гидрохимическом анализе: реакция среды (рН), электропроводность, содержание биогенных элементов (азота и фосфора), ХПК, БПК, содержание растворённого кислорода, АПАВ.

Результаты гидрохимического анализа представляют в виде таблицы, графиков. По данным анализа вычисляют индекс загрязнения воды и определяют класс качества.

Проведение химического анализа проб донных отложений. Пробы донных отложений для проведения химического анализа следует отбирать раз в год, в конце вегетационного периода (сентябрь-октябрь).

Обязательные показатели, определяемые при химическом анализе: реакция среды (pH), содержание органического вещества, содержание валовых и подвижных форм цинка, кадмия, свинца, меди.

Результаты химического анализа представляют в виде таблиц, графиков.

Проведение микробиологического анализа проб воды. Отбор проб воды для проведения микробиологического анализа производят в начале (май-июнь) и в конце (сентябрь-октябрь) вегетационного периода.

В качестве основного показателя при микробиологическом анализе определяется степень развития микроорганизмов.

Результаты анализа представляются в виде таблицы. По результатам определяется зона сапробности и класс качества воды.

Проведение токсикологического анализа проб воды и донных отложений. Пробы воды и донных отложений для изучения степени токсичности отбирают 1 раз в год. Пробы воды – в середине вегетационного периода (июль-август), пробы донных отложений – в конце вегетационного процесса (сентябрь-октябрь).

Острую и хроническую токсичность отобранных образцов определяют по двум тест-объектам: простейшим *Paramecium caudatum* Ehrenberg и низшим ракообразным *Daphnia magna* Straus.

Результаты анализа представляются в виде таблиц. По результатам определяется степень токсичности образцов.

Проведение анализа высшей водной растительности. Проведение анализа высшей водной и прибрежно-водной растительности проводится 1 раз в год во время маршрутного обследования водохранилища в середине вегетационного периода (июль-август). Встреченные виды растений и их место их нахождения отмечаются в регистрационный бланк.

Результаты анализа растительности представляются в виде списка доминирующих видов, карты-схемы их распространения и списка растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования.

Проведение анализа низших водных растений (фитопланктона). Отбор проб для проведения анализа фитопланктона проводится 1 раз в год, в середине вегетационного периода (июль-август). Анализ видового состава и биомассы осуществляется в камеральных условиях.

Результаты анализа фитопланктона представляются в виде списка доминирующих видов и видов-индикаторов загрязнения и эвтрофирования.

Проведение анализа проб зообентоса. Отбор проб зообентоса проводится 1 раз в год, в конце вегетационного периода (сентябрь).

Обязательные показатели: видовой состав, численность, биомасса.

Результаты анализа проб зообентоса представляются в виде таблиц. По результатам производится расчёт биотических индексов и определяется степень загрязнённости воды.

Все полученные результаты учитываются в комплексе при оценке состояния водоёма.

План-график реализации программы мониторинга Омутнинского водохранилища представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – План-график программы мониторинга Омутнинского водохранилища

Объект	Определяемая характеристика	Сроки проведения												Общее количество проб
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Вода	Химический состав	+			+	+		+	+	+	+			15
	Степень развития гнилостных бактерий					+	+			+	+			6
	Токсичность							+	+					3
ты ые отл ож	Химический состав									+	+			3

	Токсичность									+	+			3
Вышая водная растительность	Видовой состав							+	+					-
	Наличие индикаторных видов							+	+					-
Фито- планктон	Видовой состав							+	+					3
	Наличие индикаторных видов							+	+					3
Зоо- планктон	Видовой состав									+	+			3
	Биомасса									+	+			3
Общее количество проб за год														42

Реализация предложенной программы мониторинга позволит контролировать состояние Омутнинского водохранилища, оперативно выявлять изменения в химическом составе воды и донных отложений, в составе и структуре биоты.

Таким образом, рекомендации по снижению процессов эвтрофирования в водоёмах Кировской области сводятся к двум группам мероприятий. Первая заключается в сокращении количества поступающих в водоём с водосбора биогенных элементов, органических и загрязняющих веществ, то есть в уменьшении внешней нагрузки на водоём. А вторая группа направлена на снижение внутренней нагрузки (удаление уже находящихся в водном объекте веществ, стимулирующих эвтрофикацию). Комбинирование предложенных выше методов позволит существенно снизить скорость эвтрофикации Омутнинского пруда и других водохранилищ Кировской области, а выполнение программы мониторинга – контролировать и прогнозировать экологическое состояние водохранилища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное диссертационное исследование посвящено выявлению региональных особенностей антропогенной эвтрофикации водоёмов Кировской области для принятия мер по снижению в них процессов эвтрофирования. Объектами исследования являются 4 водохранилища Кировской области (Белохолуницкое, Омутнинское, Большое Кирсинское и Чернохолуницкое водохранилища (пруды)). Изучаемые водоёмы имеют как общие черты, так и отличительные особенности. Общим для всех объектов исследования являются сходные природно-климатические условия, а именно: преобладание холмисто-равнинного рельефа, хорошее обеспечение влагой, типично таёжный климат с хорошо выраженными временами года, сходный видовой состав флоры и фауны. Водоохранилища были созданы в одно и то же время в районах добычи и разработки железных руд. С момента создания до середины XX в. выполняли общую функцию – обеспечение водоснабжения металлургического производства. Наиболее освоены и интенсивно используются берега в приплотинных участках водохранилищ. Основные отличия водоёмов состоят в морфометрических параметрах, ориентации в пространстве, форме чаши и изрезанности береговой линии, гидрологическом режиме, в степени и характере техногенной нагрузки. Проведена сравнительная характеристика водохранилищ. Разный характер и интенсивность антропогенного использования водоёмов и прилегающей территории, гидрологические особенности прудов оказывают влияние на химический состав воды водохранилищ. Это влияние проявляется в увеличении содержания аммонийного азота, бихроматной окисляемости, снижении концентрации растворённого кислорода в приплотинных участках прудов. Повышение содержания в воде биогенных элементов, в частности азота, стимулирует развитие в приплотинных участках водохранилищ процессов эвтрофикации. Следствием данного процесса является накопление в воде большого количества органических веществ и интенсивное, продолжительное «цветение» воды.

В водохранилищах Кировской области отмечается загрязнение донных отложений приплотинных участков водоёмов ТМ. В каждом из водоёмов выделены характерные источники загрязнения. Наибольшее содержание всех определяемых ТМ зафиксировано в пробах донных отложений из Омутнинского пруда (в приплотинной части которого действует металлургический завод). Повышенные значения свинца, марганца, меди и цинка характерны для приплотинной части Белохолуницкого и Чернохолуницкого прудов, а марганца и кадмия в донных отложениях центральной части Большого Кирсинского пруда, где расположены основные источники техногенного загрязнения. Повышенная техногенная нагрузка на водосбор и процессы эвтрофирования в Омутнинском пруду оказали влияние на состав и развитие высшей водной растительности, характер зарастания водохранилища. Наибольшие площади зарослей высших растений отмечены в мелководных участках в верховье пруда, где для них складываются наиболее благоприятные условия. В приплотинной части водоёма, испытывающей повышенную техногенную нагрузку и наиболее подверженную процессам эвтрофирования, высшая водная растительность практически отсутствует. Видовой состав растений в Омутнинском пруду является характерным для слабозэтрофных водоёмов, количество доминирующих видов небольшое. В центральной и приплотинной частях Омутнинского водохранилища высоко развиты гнилостные процессы. Согласно классификации водоёмов по бактериальным показателям вода в верховье Омутнинского пруда является «удовлетворительно чистой», в средней части соответствует классу качества воды «загрязнённая», в приплотинной – «грязная». Это объясняется увеличением антропогенной нагрузки на водоём в средней и приплотинной части, накоплением на этих участках в результате процессов эвтрофирования большого запаса соединений органической природы. Химический состав воды, увеличение антропогенной нагрузки, интенсивность процессов эвтрофирования оказали влияние на видовой состав водорослей. Фитопланктон водохранилища в

настоящее время представлен видами-мезосапробами, что указывает на увеличение степени загрязнения Омутнинского водохранилища. В водоёме обнаружены представители трёх родов ЦБ (*Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*), которые чаще всего вызывают «цветение» воды в водоёмах Европейской части России. Таким образом, наиболее интенсивно процессы эвтрофирования в настоящее время проявляются в Омутнинском пруду. Факторами, стимулирующими эвтрофикацию водоёма и его «цветение», являются морфометрические параметры водоёма, большое количество органических веществ, а также повышенное содержание аммонийного азота и железа общего в воде. В других водохранилищах региона процессы эвтрофирования проявляются менее интенсивно. Для контроля за состоянием водохранилищ и уменьшения интенсивности процессов эвтрофирования предлагаются ряд мер, которые сводятся к двум группам мероприятий. Первая заключается в сокращении количества поступающих в водоёмы с водосбора биогенных элементов, органических и загрязняющих веществ, то есть в уменьшении внешней нагрузки на водоёмы. А вторая группа направлена на снижение внутренней нагрузки (удаление уже находящихся в водном объекте веществ, стимулирующих эвтрофикацию). Комбинирование предложенных методов позволит существенно снизить скорость эвтрофикации исследуемого водоёма и других водохранилищ Кировской области, а выполнение программы мониторинга – контролировать и прогнозировать состояние водохранилищ.

Важным составляющим мероприятием по сохранению водохранилищ от процессов эвтрофикации является организация экологического мониторинга, прогнозирование состояния водных объектов.

ВЫВОДЫ

1. Впервые выполнены мониторинговые исследования качества воды 4-х крупных водохранилищ Кировской области с использованием методов физико-химического, биоиндикационного, микробиологического анализов и биотестирования. Получены новые данные о классах качества воды и динамике изменений качества воды водохранилищ области. Установлено, что по химическим показателям комбинаторный индекс загрязнённости воды уменьшается в ряду: Большое Кирсинское→Омутнинское→Чернохолуницкое→Белохолуницкое. По трофо-сапробным показателям, все изучаемые водохранилища являются β-мезосапробными, по трофической шкале классификации водоёмов соответствуют эвтрофному классу. Выявлено превышение ПДК по железу общему (2-9,5 ПДК) во всех объектах исследования, в Большом Кирсинском водохранилище – по ХПК (1,6-1,7 ПДК). За период исследований в Омутнинском водохранилище выявлена тенденция к снижению концентрации растворённого кислорода в воде (с 9 до 6 мг/дм³), что указывает на процессы эвтрофикации данного водоёма.

2. Впервые проведён анализ донных отложений водохранилищ на содержание тяжёлых металлов (Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn). Отмечено увеличение содержания Cd и Cu в приплотинных участках водоёмов по сравнению с верховьем и центральными участками. Наибольшая концентрация Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn отмечена в донных отложениях Омутнинского водохранилища, рядом с которым находится АО «Омутнинский металлургический завод».

3. Впервые проведена комплексная оценка состояния Омутнинского водохранилища по высшим растениям, фототрофным и гетеротрофным микроорганизмам, зообентосу. За четырёхлетний период наблюдений выявлены изменения в доминирующем комплексе высшей водной растительности: уменьшение числа доминирующих видов с 33 до 27, увеличение площади проективного покрытия *Typha latifolia* L., толерантного к органическому загрязнению (на 5%), и увеличение площади зарастания акватории водоёма до 35%. Выявлены виды-индикаторы на наличие органического загрязнения – *Typha latifolia* L. и *Potamogeton natans* L., что согласуется с величиной биохимического потребления кислорода (ХПК – 53 мгО₂/дм³). Установлена положительная реакция *Lemna minor* L., *L. trisulca* L., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. на повышенное

содержание аммонийного азота в месте выпуска сточных вод в водоём, где содержание аммония в 2,1 раза выше по сравнению с другими участками водохранилища.

Установлено, что наличие водорослей и цианобактерий в Омутнинском водохранилище зависит от уровня техногенной нагрузки. В состав доминантов ежегодного «цветения» вод входят цианобактерии: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa*.

На основании микробиологического анализа воды Омутнинского водохранилища выявлена мезосапробная зона водоёма (центральный и приплотинный участки), что подтверждается отношением биологического потребления кислорода к перманганатной окисляемости (в среднем 27%).

4. Установленное содержание в водной среде и донных отложениях Омутнинского водохранилища загрязняющих веществ не оказывает острого и хронического токсических действий, что подтверждено токсикологической оценкой проб воды и донных отложений в биотестах по реакциям *Daphnia magna* Straus, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, бактериальной тест-системы «Эколюм». Для донных отложений по тест-системе «Эколюм» выявлена стимуляция тест-функции, что может быть связано с наличием биогенных элементов в пробах.

5. Для снижения интенсивности процессов эвтрофикации в водохранилищах Кировской области необходимо проводить комплекс мероприятий по сокращению количества поступающих в водоём с водосбора биогенных элементов, загрязняющих органических веществ и мероприятий по снижению внутренней нагрузки на водоём. Для Омутнинского водохранилища разработаны и частично реализованы рекомендации по снижению эвтрофирования водоёма, а также разработан проект программы экологического мониторинга водоёма, основанный на определении приоритетных показателей геологического, географического, химического, биологического, микробиологического анализа. Данный проект рекомендован к использованию на других водоёмах Кировской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rast W., Thornton J.A. Trends in eutrophication research and control // *Hidrological processes*. 1996. V.10. P. 295–313.
2. Еремкина Т. В. Структура и функционирование фитопланктона озер северной части Увильдинской зоны (Челябинская область) в условиях антропогенного эвтрофирования: дисс. ... к.б.н. Науч. исслед. институт водн. биоресурсов и аквакультуры, Екатеринбург, 2010 г. 139 с.
3. Россолимо Л. Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977. 120 с.
4. ГОСТ 17.1.1.01-77 Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения.
5. Сиренко Л. А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и эвтрофирование. Киев: Наук. думка, 1978. 230 с.
6. Paerl H. W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters // *Limnol. Oceanogr.* 1988. V.33. №4 (p.2). P. 823–847.
7. Кучкина М. А. Особенности процессов эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 25 с.
8. Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth // *Arch. Hydrobiol.* 1966. V. 62. P. 1–28.
9. Анциферова Г. А. Биоиндикация в геоэкологии: об эвтрофировании межледниковых голоценовых и современных поверхностных водных систем бассейна Верхнего Дона // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология.* Воронеж, 2001. № 1. С. 240–250.
10. Изменение структуры экосистем озёр в условиях возрастающей биогенной нагрузки. Л., 1988. 312 с.
11. Петрова Н. А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер. Л., 1990. 200 с.

12. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона Л., 1990. 184 с.
13. Влияние климатических изменений и эвтрофирования на динамику планктонных популяций мезотрофного озера. СПб., 2003. 125 с.
14. Ярушина М. И., Танаева Г. В., Еремкина Т. В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 308 с.
15. Горохова О. Г. Разнообразие планктонных альгоценозов малых эвтрофных водоёмов ООПТ Самарской области (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Тезисы докладов IV Международной конференции. Киев, 2012. С. 82–83.
16. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 367 с.
17. Охупкин А. Г. Особенности структурной организации фитопланктона водоёмов разного типа бассейна Средней Волги (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Тезисы докладов IV Международной конференции. Киев, 2012. С. 228–229.
18. Петрова Н. А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озёр. Л., 1990. 199 с.
19. Макаренкова Н. Н. Изменение фитопланктона озера Воже как показатель его эвтрофирования // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы докладов XIX Всероссийской молодежной научной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 2-6 апреля 2012 г.). Сыктывкар, 2012. С. 153–155.
20. Финенко З. З. Влияние света на фотосинтез и рост морских планктонных водорослей // III съезд Всесоюзн. гидробиол. о-ва: Тез. докл. Рига: Зинатне, 1976. Т.1. С. 126–127.
21. Михеева Т. М. Сукцессия видов в фитопланктоне: определяющие факторы. Минск, 1983. 72 с.

22. Гусева К. А. «Цветение» воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // Труды всесоюзного гидробиологического общества. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 3–92.
23. Шаларь В. М. Фитопланктон водохранилищ Молдавии. Кишинев: Штиница, 1972. 204 с.
24. Судницына Д. Н. Экология водорослей Псковской области. Псков.: ПГПУ, 2005. 128 с.
25. Herbst R. P., Hartman R. T. Phytoplankton Distribution of a Duckweed Covered Pond // Journal of Freshwater Ecology, 1981. Vol. 1. P. 97–111.
26. Gessner F. Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverbreitung in Wasser. Hydrobotanik. 1. Energiehaushalt. Berlin. 1955. 517 s.
27. Кушинг Д. Х. Продукционные циклы во времени и в пространстве: Морская экология и рыболовство. М., 1979. 288 с.
28. Селезнёв В. А., Селезнёва А. В. Влияние плотин на создание благоприятных условий для «цветения» воды на крупных водохранилищах // Тольятти, Институт экологии Волжского бассейна РАН / Режим доступа: <http://russiandams.ru/sites/russiandams/files/review-page/files/seleznev.doc>
29. Успенский Е. Е. Железо как фактор распределения водорослей // Труды Бот. ин-та Ассоциации науч.-исслед. ин-тов при физ.-мат. фак. Моск. гос. ун-та, 1925. С. 1–94.
30. Кузнецов С. И. Биологический метод оценки богатства водоема // Микробиология. 1945. Т. 14. № 4. С. 248–253.
31. Брагинский Л. П. О соотношении между составом прудового фитопланктона и проявлением его «потребности» в биогенных элементах // Первичн. продукция морей и внутр. вод. Минск, 1981. С. 139–147.
32. Винберг Г. Г., Ляхнович В. П. Удобрения прудов. М., 1965. 272 с.
33. Ведерников В. И., Сергеева О.М., Коновалов Б. М. Экспериментальное изучение зависимости роста и фотосинтеза

фитопланктона Черного моря от условий минерального питания // Экосистемы пелагиали Черного моря. М., 1980. С. 140–157.

34. Straw B. Algae Control: Literature Analysis. 2005. Режим доступа: https://www.sdstate.edu/nrm/outreach/pond/upload/barley_algae-control.pdf

35. Imai H., Chang K.-H., Kusaba M., Nakano S. Succession of harmful algae *Microcystis* (Cyanophyceae) species in a eutrophic pond // *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry-Biological Responses to Chemical Pollutants*. 2008. P. 367–372.

36. Total Maximum Daily Loads for Phosphorus To Address 9 Eutrophic Ponds in Rhode Island // Office of Water Resources Rhode Island Department of Environmental Management 235 Promenade St. Providence, RI 02908. 2007. Режим доступа: http://www.epa.gov/waters/tmdl/docs/33490_eutropnd.pdf

37. Stevens R. J. J., Neilson M. A. Response of Lake Ontario to the reductions in phosphorus load, 1967-82 // *Canad. J. Fish. Res. Aquat. Sci.* 1987. V. 44, № 12. P. 2059–2068.

38. Raney S. M., Eimers M. C. Unexpected declines in stream phosphorus concentrations across southern Ontario // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2014. № 71(3). P. 337–342.

39. Schein A., Courtenay S. C., Kidd K. A., Campbell K. A., Van den Heuvel M. R. Food web structure within an estuary of the southern Gulf of St. Lawrence undergoing eutrophication // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013. № 70(12). P. 1805–1812.

40. Smith V.H., Tilman G.D., Nekola J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems // *Environmental Pollution*/ 1999. V. 100. P. 179–196.

41. Li Q., Zhang L., Fengfeng C., Chen L., Jiao S. Eutrophication Control by Physical-Ecological Engineering At the Mouth of the Maixi River in Baihua Reservoir // *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. 2014. V. 4. P. 235. doi: 10.4172/2161-0525.1000235.

42. Pearsall W. H. Phytoplankton in the English lakes 2. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substances // *Journal of Ecology*. 1932. V. 20. P. 241–262.
43. Howarth R.W., Marino R. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades // *Limnology and Oceanography*. 2006. V. 51(1, part 2). P. 364–376.
44. Schindler D.W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication // *Limnology and Oceanography*. 2006. V. 51(1, part 2). P. 356–363.
45. Hegewald E., Hesse M., Jeeti-Bai N. Okologische und physiologische Studien an Planktonalgen aus ungarischen Gewässern // *Archiv fur Hydrobiologie*. 1981. Suppl. V. 60. 2. S. 172–201.
46. Ходоровская Н. И., Стурова М. В. Исследование влияния концентраций кремния и фосфора на развитие диатомовой микрофлоры водоёма // *Известия Челябинского научного центра*. 2002. Вып. 2 (15). С. 50–53.
47. Сиделев С. И. Сукцессия фитопланктона высокоэвтрофного озера Неро: автореф... канд.биол.наук. Борок, 2010. 27 с.
48. Курейшевич А. В., Минеева Н. М., Сигарева Л. Е., Медведь В. А. Соотношение между содержанием хлорофилла *a* и фосфора в водохранилищах Волги и Днепра // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. Т.2: Химический состав и качество воды*. Пермь, 2013. С. 112–117.
49. Hua-Peng Q., Soon-Thiam K., Chang L. Water exchange effect on eutrophication in landscape water body supplemented by treated wastewater // *Urban Water Journal*. 2014. Vol. 11, N. 2. P. 108–115.
50. Круговорот веществ и энергии в озёрных водоёмах. М.: «Наука», 1967. С. 96–100.
51. Экология и физиология синезелёных водорослей. М.: «Наука», 1965. С. 34–39.

52. Сиренко Л. А. Физиологические основы размножения синезелёных водорослей в водохранилищах. Монография. Киев: Наук. думка, 1972. 203 с.

53. Kagawa H., Togashi M. Contribution of dissolved calcium and magnesium to phytoplanktonic particulate phosphorus concentration at the heads of two river reservoirs // *Hydrobiologia*. 1989. V. 183. P. 185–193.

54. Клоченко П. Д., Медведь В. А. Влияние свинца и меди на некоторые показатели жизнедеятельности зеленых и синезеленых водорослей // *Гидробиологический журнал*. 1999. Т. 35. № 6. С. 52–62.

55. Елизарова В. А. Марганец и медь как факторы роста фитопланктона в мезотрофном водоеме (Рыбинское водохранилище) // *Биология внутренних вод*. 2000. №3. С. 35–41.

56. Schindler D.W., Hecky R.E., Findlay D.L., Stainton M.P., Parker B.R., Paterson M.J., Beaty K.G., Lyng M., Kasian S.E.M. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment // *PNAS*. August 12, 2008. V. 105, № 32. P. 11254-11258.

57. Гусева К. А. Роль сине-зеленых водорослей в водоеме и факторы их массового развития // *Экология и физиология сине-зеленых водорослей*. М.-Л. 1965. С. 12–32.

58. Сакевич А. И. Метаболизм водорослей как фактор детоксикации аммонийного азота водной среды // *Альгология*. 1997. Т. 7. № 1. С. 3–9.

59. Кравчук Е. С. Эколого-физиологические аспекты «цветения» воды синезелёными водорослями в двух разнотипных водохранилищах (район Красноярска): дис. ... канд. биол. наук. Институт биофизики. Красноярск, 2004. 100 с.

60. Макарецва Е. С., Трифонова И. С. Особенности сезонного функционирования сообществ фито- и зоопланктона в озерах различной трофии // *Антропог. изменения экосистемы малых озёр (причины, последствия, возможность управления)*. СПб., 1991. С. 300–304.

61. Yoshimasa Y., Hajime T., Yuko M. Relationship between environmental factors and the formation of cyanobacterial blooms in a eutrophic pond in central Japan // *Algological Studies*. 2010. Vol. 134, N. 1. P. 25–39.
62. Эдельштейн К. К., Ершова М. Г., Заславская М. Б. Биохемотренный кальцит – важный компонент круговорота веществ в эвтрофном Можайском водохранилище // *Водные ресурсы*. 2005. Том 32. № 4. С. 477–488.
63. Штина Э. А., Кондакова Л. В., Маркова Г. И. Биоиндикация качества воды с использованием водорослей (альгоиндикация) // *Экология родного края*. Киров: Вятка, 1996. С. 297–302.
64. Иванова Н. А., Шарипова Л. А. Состояние фитопланктона Ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «ИЖВОДОКАНАЛ» в 2002-2005 годах // *Вестник Удмуртского университета*. 2006. № 10. С. 17–24.
65. Сиренко Л. А. Физиологические основы массового размножения синезелёных водорослей в водохранилищах и методы его регулирования: автореф. докт. дисс. Киев, 1970.
66. Гусева К. А. «Цветение» воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // *Труды всесоюзного гидробиологического общества*. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 3–92.
67. Elser J. J. The pathway to noxious cyanobacteria blooms in lakes the food web as the final turn // *Freshwater Biology*. 1999. V. 42. P. 537–543.
68. Зареи Дарки Б. Cyanoprokaryota разнотипных водоёмов Ирана // *Альгология*. 2010. Т. 20. № 4. С. 482–491.
69. Патова Е. Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоёмов восточноевропейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // *Теоретическая и прикладная экология*. № 3, 2007. С. 4–10.
70. Филипенко С. И. Оптимизация методов оценки экологического состояния Кучурганского водохранилища по зообентосу // *Managementul*

integral al resurselor naturale din bazinul transfrontalier al fluviului Nistru. Materialele Conferintei Internationale. Chisinau: Eco-Tiras, 2004. С. 343–347.

71. Чертопруд М. В. Модификация метода Пантле-Бука для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макрозообентоса // Водные ресурсы. 2002. Том 29, № 3. С. 337–342.

72. Садчиков А. П., Котелевцев И. С. Можайское водохранилище: продукционно-деструкционные процессы. Режим доступа: http://www.moip.msu.ru/wp-content/uploads/2011/09/Mojaiskoi_vodohr.pdf

73. Кутявина Т. И., Домнина Е. А., Ашихмина Т. Я. Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности прудов Северо-Востока Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. № 2, 2013. С. 50–55.

74. Кутявина Т. И., Домнина Е. А., Ашихмина Т. Я. Оценка качества воды Омутнинского водохранилища с использованием физико-химических и биоиндикационных методов // Проблемы региональной экологии. № 1, 2014. С. 131–137.

75. Кутявина Т.И., Олькова А.С. Проблемы эксплуатации и экологического состояния Омутнинского водохранилища Кировской области / Т.И. Кутявина, А.С. Олькова // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 8 (161). с. 66-73.

76. Олькова А. А., Скугорева С. Г., Адамович Т. А., Вараксина Н. В., Ашихмина Т. Я. Оценка состояния водных объектов методами биотестирования в зоне влияния промышленных предприятий (на примере Кирово-Чепецкого химического комбината) // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С.46–52.

77. Чупис В. Н., Журавлёва Л. Л., Жирнов В. А., Ларин И. Н., Лушай Е. А., Емельянова Н. В., Ильина Е. В., Иванов Д. Е. Оценка качества воды водоёма-охладителя Балаковской атомной электростанции методами биомониторинга // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 43–50.

78. Geier P. W., Clark L. R., Anderson D. J., Nix N. A. Studies in Population Management // Occasional Papers, Ecol. Soc. Australia, Canberra. 1973. Vol. 1. P. 85–102.
79. Gold H. J. Mathematical Modeling of Biological Systems. An Introductory Guidebook. John Wiley & Sons. New York, 1977. 357 p.
80. Hornberger G. M., Spear R. C. Eutrophication in Peel Inlet-I. The problem-defining behavior and a mathematical model for the phosphorus scenario. Wat. Res. 1980. V. 14. P. 29–42.
81. Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.
82. Алексеев В. В., Крышев И. И., Сазыкина Т. Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. С.-Пб.: Гидрометеиздат. 1992. 368 с.
83. Белолипецкий В. М., Туговиков В. Б., Цхай А. А. Численное моделирование процессов эвтрофирования в нижнем бьефе водохранилища-охладителя //Вычислительные технологии. 1997. Том 2, № 2. С. 5–19.
84. Максимов В. И., Кузнецов Г. В., Литвак В. В. Математическое моделирование процессов биологического загрязнения технологических водоёмов тепловых электрических станций // Известия Томского политехнического университета. 2009. Том 314, № 4. С. 16–20.
85. Солохина Т. Ф. Определение факторов эвтрофикации природно-техногенной системы водоёма-охладителя на примере Березовской ГРЭС-1. Дисс. канд.биол.наук. Красноярск, 2003. 128 с.
86. Дебольский В.К., Дебольская Е.И. Математическое моделирование распространения загрязнений в условиях термальной и механической эрозии берегов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. Т.2: Химический состав и качество воды. Пермь, 2013. С. 63–68.

87. Крестин С. В. Математическое моделирование пространственно-распределённых экосистем: На примере процессов «цветения воды» пресноводных водоёмов. Дисс. канд.техн.наук. Ульяновск, 2004. 102 с.
88. Руховец Л. А., Астраханцев Г. П., Минина Т. Р., Полосков В. Н. Петрова Н. А., Тержевик А. Ю., Филатов Н. Н. Великие озера Европы и глобальное потепление // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2011. Т. 18, вып. 2. С. 218–234.
89. Astrakhantsev G. P., Egorova N. B., Menshutkin V. V., Pisulin I. V., Rukhovets L. A. Mathematical model for the ecosystem response of Lake Ladoga to phosphorus loading. *Hydrobiologia*, 1996. V. 322. P. 153–157.
90. Menshutkin V. V., Astrakhantsev G. P., Yegorova N. B., Rukhovets L. A., Simo T. L., Petrova N. A. Mathematical modelling the evolution and current conditions of Ladoga Lake ecosystem. *Ecol. Modelling*, 1998. V. 107, №1. P. 1–24.
91. Бобылев А. В. Создание механизма управления экосистемой малого водохранилища в условиях возрастания антропогенной нагрузки(на примере Шершневого водохранилища, г. Челябинск): автореф. ... канд.геогр.наук. Челябинск, 2012. 26 с.
92. Максимович Н. Г., Ворончихина Е. А., Пьянков С. В., Первова М. С., Шавнина Ю. Н. Оценка мощности и экологических характеристик донных отложений водохранилища с помощью геоинформационного моделирования // Инженерные изыскания. Январь, 2011. С. 1–7.
93. Сапрыгин В. В. Изучение распределения хлорофилла *a* в Азовском море по данным дистанционного зондирования Земли из космоса и результатам судовых измерений: автореф. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2011. 25 с.
94. Русанов А. Г., Станиславская Е. В. Оценка эффективности ячменной соломы как ингибитора нитчатых водорослей в лабораторных условиях // Теория и практика восстановления внутренних водоёмов. СПб.: Изд-во «Лема», 2007. С. 328–334.

95. Peretyatko A., Symoens J.J., Triest L. Impact of macrophytes on phytoplankton in eutrophic peri-urban ponds, implications for pond management and restoration // *Belgian Journal of Botany*, 2007. Vol. 140, N. 1. P. 83–99.
96. Бушмелев Г. А., Колчанов В. И., Лавров Д. Д. География Кировской области. К. 1972. 160 с.
97. Атлас Кировской области. Федеральная служба геодезии и картографии России. М. 1997. 32 с.
98. Природа Кировской области / Под ред. С.Л. Щеклеина. Ч. 2. С. 72–96.
99. Дьяконов К. Н., Аношко В. С. Мелиоративная география. М.: Изд-во МГУ, 1995. 254 с.
100. Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. Водохранилища. М. 1987. 331 с.
101. ГОСТ 17.1.1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов.
102. Водохозяйственный паспорт Белохолуницкого водохранилища. Сост. РОСГИПРОВОДХОЗ. М. 1981.
103. Водохозяйственный паспорт Омутнинского водохранилища. Сост. РОСГИПРОВОДХОЗ. М. 1981.
104. Проект «Правила использования водных ресурсов Большого Кирсинского водохранилища». ООО «Научно-производственное объединение «Омега»». Пермь, 2012. 30 с.
105. Водохозяйственный паспорт Чернохолуницкого водохранилища. Сост. ОАО «Кировводпроект».
106. Государственный водный реестр: электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.textual.ru/gvr/>
107. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. М.: Химия, 1989. 368 с.

108. Проект правил использования Омутнинского водохранилища/ Том 1. Проект правил использования водных ресурсов Омутнинского водохранилища. Шифр КВП-13-029. Киров, 2013. 74 с.

109. Кутявина Т.И. Изучение влияния эрозии берегов на качество воды Омутнинского водохранилища // Экология: синтез естественно-научного, технического и гуманитарного знания: материалы III Всерос. науч.-практ. форума (Саратов, 10-12 октября 2012 г.) и I Школы интерэкоправа (Саратов, 11-12 октября 2012 г.) / [редкол. А.В. Иванов, И.А. Яшков, Е.А. Высторобец и др.]; Сарат. гос. тех. ун-т им. Ю.А. Гагарина. Саратов: Изд-во ЕврАзНИИПП, 2012. С. 52–54.

110. Пояснительная записка районной планировки Омутнинского района. М., 1986.

111. Геосервис «Сканэкс». Режим доступа: <http://kosmosnimki.ru>

112. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности прудов Северо-Востока Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. № 2, 2013. С. 50–55.

113. Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Гидробиотика: Прибрежно-водная растительность. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.

114. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proc.15th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Eng. Ext. 1961. Ser. 106. P. 139–142.

115. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chemistry and Industry. 1964. № 11. P. 443–447.

116. Балущкина Е.В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: ЗИН АН СССР. 1976. С. 106–118.

117. Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. Советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 132–161.

118. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

119. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 319 с.

120. Кутявина Т.И., Кондакова Л.В. Изучение водорослей Омутнинского водохранилища // Экология родного края: проблемы и пути решения: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Киров: ООО «Лобань», 2012. С. 71–74.

121. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Оценка качества воды Омутнинского водохранилища с использованием физико-химических и биоиндикационных методов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 131–137.

122. Сокольский А.Ф. Биопродуктивность малых озер. Астрахань: 1995. 256 с.

123. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Динамика содержания неорганических форм азота и фосфора в воде Омутнинского водохранилища // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы X Всерос.научн.-практ. конф. с междунар.участием. Книга 2. Киров: ООО «Лобань», 2012. С. 57–60.

124. Кутявина Т. И. Изучение качества воды малых водохранилищ (на примере водохранилищ Северо-Востока Кировской области) // Современное естествознание и охрана окружающей среды: труды Международной молодежной конференции. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. С. 119–120.

125. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Изучение качества воды Омутнинского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. Т.2: Химический состав и качество воды. Пермь, 2013. С. 117–120.

126. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Изменение химического состава Омутнинского пруда под действием процессов эвтрофикации // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции-выставки инновационных проектов с международным участием. Киров: Изд-во ООО «Веси», 2013. С. 384–386.

127. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я. Изучение гидрохимического состава водоёма, подверженного эвтрофированию (на примере Омутнинского пруда) // Закономерности функционирования природных и антропогенно трансформированных экосистем: Материалы Всероссийской научной конференции. (г. Киров, 22-23 апреля 2014 г.). Киров: Изд-во ООО «ВЕСИ», 2014. С. 120–123.

128. Тюлин В.В. Почвы Кировской области Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. 288 с.

129. Анисимова Л. А., Маркевич Г. Н. Гидрологический режим и гидрохимическая основа продуктивности Кроноцкого озера в июне-сентябре 2013 г. // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2014. Вып. 6. С. 38-43.

130. Катупин Д.Н., Егоров С.Н., Кашин Д.В., Хрипунов И.А., Беспарточный Н.П., Никотина Л.Н., Кравченко Е.А., Азаренко А.В., Алымов М.В. Основные особенности гидролого-гидрохимического режима Каспийского моря в 2004 г. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Астрахань: Издат. КаспНИРХ, 2005. С. 15-24.

131. Сусарева О.М., Петрова Т.Н. Многолетний мониторинг динамики содержания фосфора в Ладожском озере // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоёмах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 62-66.

132. Остроумов С.А. Доказательство решающей роли биоты в улучшении качества воды // Вода технология и экология. 2010, № 1, с. 32–62.

133. Остроумов С.А. Дисбаланс факторов, контролирующих численность одноклеточных планктонных организмов, при антропогенных воздействиях // ДАН (Доклады Академии наук). 2001. Т. 379. № 1. С.136–138.

134. Брера-Левенсон Т.Л. Очистка и использование природных и сточных вод / Т.Л. Брера-Левенсон. М.: Наука, 1973. 250 с.

135. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. Киев: Наук. думка, 1979. 290 с.

136. Лейбович П.З. Закономерности пространственного распределения растворенных форм железа и марганца в донных отложениях Байкала / П.З. Лейбович. Лимнол. ин-т СО АН СССР. 1980. 20 с.

137. Жетписбай Д.Ш. Загрязнение воды и донных отложений реки Сырдарьи тяжелыми металлами: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук / Д.Ш. Жетписбай; Казахтанский национ. пед. ун-т им. Абая. Республика Казахстан Алматы, 2007. 15 с.

138. Кутявина Т.И., Перминова Т.Н., Березин Г.И. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях Омутнинского водохранилища // Бизнес. Наука. Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции-выставки экологических проектов с международным участием. Киров, 2013. С. 274–276.

139. Кутявина Т.И., Перминова Т.Н., Березин Г.И. Изучение содержания тяжёлых металлов в донных отложениях водохранилищ Северо-Востока Кировской области // Материалы докладов XXI Всероссийской молодёжной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (посвящённая 70-летию А.И. Таскаева). Сыктывкар, 2014. С. 203–207.

140. Кутявина Т.И., Перминова Т.Н., Березин Г.И. Изучение динамики содержания тяжёлых металлов в донных отложениях Омутнинского водохранилища // Экология родного края: проблемы и пути их решения:

Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (г. Киров, 22-24 апреля 2014 г.). Киров: Изд-во ООО «ВЕСИ», 2014. С. 48–50.

141. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Ред. Г.С.Гигевич. Минск: БГУ, 2001. 231 с.

142. Лапиров А. Г. Экологические группы растений водоемов // Гидробиотаника: методология, методы: Материалы Школы по гидробиотанике (п. Борок, 8-12 апреля 2003 г.). Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2003. С. 5–22.

143. Шарифуллин В. Н., Ахметов Т. Р., Шарифуллин А. В. Влияние поверхностно-активных веществ на скорость парообразования при пузырьковом кипении воды // Химическая технология, 2003. № 11. С. 48–52.

144. Щукин Е. Д., Перцов А. В., Амелина Е. А. Коллоидная химия. М.: Высшая школа. 2004. 445 с.

145. Штина Э. А. Флора водорослей бассейна реки Вятки. Киров, Киров. обл. тип., 1997. 96 с.

146. Srivastava V. D. Ephemeroptera larvae as component of aquatic environment and their role as bio-indicator of pollution // «Pesticide Residues Environ. Pollut.: Proc. Nat. Symp., Muzaffarnagar, Oct. 2–4, 1985». Muzaffarnagar, 1986, P. 206–218.

147. Величко И.М. Роль железа и марганца в жизнедеятельности синезеленых водорослей рода *Microcystis* // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Киев: Наукова Думка, 1968, вып.4. С.11–18.

148. Гусева К.А. Действие марганца на развитие водорослей // Микробиология. 1937. Вып. 6, №3. С.292–308.

149. Сиренко Л.А. и др. О факторах массового развития синезеленых водорослей // Гидробиологический журнал. 1969. Вып. 5, №3. С.3–11.

150. Сиренко Л.А. Основные факторы естественного и искусственного эвтрофирования водохранилищ // Водные ресурсы. 1979. №4. С.15–30.

151. Топачевский А.В., Брагинский Л.П., Сиренко Л.А. Массовое развитие синезеленых водорослей как производное экосистемы водоема // Гидробиологический журнал. 1969. Вып. 5. №6. С.5–17.
152. “Цветение” воды. Вып. 2. Киев: Наукова Думка, 1969. 267 с.
153. Экспериментальная водная токсикология. Вып.13. Рига: 1988. С.37–43.
154. Левич А. П. Экологические подходы к регулированию типов цветения эвтрофных водоемов // Докл. АН, 1995. Т. 341 № 1. С. 130–133.

ПРИЛОЖЕНИЕ



**Fourth International Environmental Congress
(Sixth International Scientific-Technical Conference)
"ECOLOGY AND LIFE PROTECTION OF INDUSTRIAL-
TRANSPORT COMPLEXES" ELPIT – 2013
21-25 September, 2013 TOGLIATTI-SAMARA, RUSSIA**

ORGANIZED BY

Ministry of Education
and Science of Russian Federation
Samara Scientific Center
of Russian Academy of Science
Togliatti State University, Russia
Institute of Ecology Volga Basin RAS
International Academy of Ecology
and Life Protection Science
Union of Engineers of Florence
(Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Firenze), Italy
Government of Samara Region
Administration of Togliatti City
AVTOVAZ Inc., Russia
KuibyshevAzot Inc., Russia
SIBUR-Holding, Russia
Togliattiazot Inc., Russia
Vie En Ro Se Ingegneria Co., Italy



**«YOUNG ELPIT» INTERNATIONAL FORUM
OF YOUNG SCIENTISTS**

ДИПЛОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

НАГРАЖДАЕТСЯ

КУТЯВИНА ТАТЬЯНА ИГОРЕВНА,

**Вятский государственный гуманитарный
университет, г. Киров, Россия
(научный руководитель д.т.н., профессор
Ашихмина Т. Я.)**

ЗА II МЕСТО

по итогам конкурса научно-инновационных проектов
молодых ученых международного инновационного
форума «YOUNG ELPIT» в рамках четвёртого
международного
экологического конгресса ELPIT-2013
(заочное участие, номинация "Аспиранты")

Председатель жюри конкурса,
научный руководитель конгресса,
д.т.н., профессор

А.В. Васильев



CONGRESS SECRETARIAT

ELPIT-2013, Togliatti State University, Belorusskaya Str. 14, Togliatti 445667, Russia
Contact phones: +7 (8482) 53-93-06, 53-92-32 Fax: +7 (8482) 54-64-84
Email address of ELPIT-2013 secretariat: elpit@tlttsu.ru ELPIT-2013 website: <http://elpit.tlttsu.ru>