Н. Г. Максимович
С. В. Пьянков

МАЛЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Монография

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н. Г. МАКСИМОВИЧ
С. В. ПЬЯНКОВ

МАЛЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

МОНОГРАФИЯ

ПЕРМЬ 2012

УДК 502.51:504.5
ББК 26.22
М18

Николай Георгиевич Максимович
Сергей Васильевич Пьянков

МАЛЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Монография

Печатается по решению
ученого совета Естественнонаучного института
Пермского государственного национального
исследовательского университета

Максимович Н. Г.
М18 Малые водохранилища: экология и безопасность: монография / Н. Г. Максимович, С. В. Пьянков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 256 с., ил.

В монографии рассматриваются экологические проблемы, возникающие при создании, эксплуатации и ликвидации малых водохранилищ, а также вопросы их безопасности, связанные с возможными аварийными ситуациями. На примере Нижнезырянского водохранилища, расположенного в районе крупного промышленного центра г. Березники (Пермский край), детально изучено его влияние на биотические и абиотические компоненты. Дан прогноз и оценка экологических последствий, связанных с предполагаемым снижением уровня водохранилища.

В основу монографии положены комплексные полевые и лабораторные исследования, обработка данных которых проведена с применением математико-картографического моделирования и геоинформационных технологий. Издание предназначено для преподавателей, студентов и специалистов в области гидрологии, экологии, гидротехники, геологии, гидрогеологии, биологии, геоинформатики и охраны окружающей среды.

Монография издана при финансовой поддержке ООО «Природоохранные технологии» и ООО «Центр космических технологий и услуг», гранта РФФИ 10-05-96017 р_урал_а и программы «Поддержка научно-педагогических кадров России 2009-2013» № 2012-1.2.2-12-000-1007-013 (руководитель Н. Г. Максимович), грантов РФФИ № 11-05-96026-р_урал_а и № 11-05-00858-а (руководитель С. В. Пьянков).

УДК 502.51:504.5
ББК 26.22

Рецензенты: д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки, зав. кафедрой гидрофизики и гидропрогнозов В. В. Коваленко (Российский гос. гидрометеорологический ун-т); канд. геогр. наук, ведущий науч. сотр. А. В. Кошкарев (Ин-т географии Рос. акад. наук); лаборатория охраны геологической среды Моск. гос. ун-та им. М. В. Ломоносова.

ISBN 978-5-7944-1944-3

Введение

Пруды и водохранилища на Урале создавались с XVIII века, в основном для промышленного водоснабжения. Они были неотъемлемой частью планировки горнозаводских поселков и городов. Большинство водоемов относятся к малым водохранилищам (согласно классификации А. Б. Авакяна – объемом от 1 до 10 млн м^3), которые и сейчас расположены в старопромышленных районах. Такие объемы воды существенно меняют экосистему прилегающих территорий и влияют на безопасность в случае аварийных ситуаций.

В нижнем бьефе заводских прудов, как правило, расположены селитебные территории. Известны случаи прорывов малых водохранилищ, которые сопровождались большими разрушениями и человеческими жертвами, например, на Киселевском и Тирлянском водохранилищах. На фоне старения и обветшания гидротехнических сооружений риск таких аварий увеличивается.

В связи с изменением структуры производства и землепользования, старые заводские пруды меняют свое функциональное назначение и в ряде случаев становятся источником экологических проблем, возникновение которых в период их строительства было трудно предположить. Одна из наиболее типичных – формирование донных отложений, в которых аккумулируются загрязнители, поступающие в водоем в течение десятков лет. Плановый или аварийный спуск водохранилища приводит к возникновению целого комплекса негативных последствий: пылевое загрязнение, активизация эрозии, ухудшение санитарной обстановки и др. Негативному воздействию в этом случае подвергается значительная территория, в том числе селитебные и рекреационные зоны. При значительном объеме накопленных донных отложений быстрое решение подобных проблем невозможно.

В настоящей работе экология малых водохранилищ рассмотрена на примере Нижнезырянского водохранилища, расположенного в границах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (над выработанным пространством соляных шахт), вблизи крупного промышленного центра Пермского края г. Березники. Аварийная ситуация привела к затоплению одного из рудников и образованию крупного провала в промышленной части города, в непосредственной близости от водохранилища.

Во избежание катастрофических процессов, без достаточных обоснований, было начато снижение его уровня, а в перспективе был поставлен вопрос о полном спуске. В этой связи возникла необходимость в сжатые сроки оценить экологические последствия ликвидации данного водоема. Полученные в ходе выполнения данные показали, что резкое снижение уровня, особенно в летнее время, создает значительные экологические риски. На основании этого, и с учетом развития ситуации на затопленном руднике, водохранилище снова начали наполнять.

Комплекс работ по оценке влияния снижения уровня водохранилища на экологическую ситуацию включал детальное изучение гидрологических, геологических, гидрогеологических, санитарно-эпидемиологических условий состояния атмосферного воздуха, почв, растительного и животного мира, ландшафтов. Был выполнен значительный объем полевых и лабораторных исследований. Обработка данных проводилась с применением методов математического моделирования и использованием ГИС-технологий. В результате этого дан прогноз, и проведена оценка последствий снижения уровня водохранилища с позиции влияния на экологию и безопасность прилегающих территорий, в соответствии с нормативными документами, действовавшими на момент проведения исследования.

Разделы, касающиеся экологических характеристик донных отложений, почв, растительности и ландшафтов, подготовлены при непосредственном участии к. г. н. Е. А. Ворончихиной, животного мира и водной растительности – к. б. н. М. А. Бакланова, общей характеристики малых водохранилищ – к. г. н. Ю. Н. Шавниной, физико-географических условий – И. В. Китаевой, которым авторы приносят глубокую благодарность.

Авторы благодарны уважаемым рецензентам – д. т. н. В. В. Коваленко, к. г. н. А. В. Кошкареву, сотрудникам лаборатории охраны геологической среды Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова – за ценные замечания и советы, которые были учтены при подготовке монографии к печати.

Глава 1

Малые водохранилища и особенности их эксплуатации

1.1. Обзор современного состояния водоподпорных гидротехнических сооружений России

Водные ресурсы и водохозяйственный комплекс во многом определяют социально-экономическую устойчивость и направление развития страны. Важной составляющей водохозяйственного комплекса является система гидротехнических сооружений, которая предназначена для регулирования – аккумулирования и перераспределения – стока рек, снижения максимальных расходов половодий и паводков, защиты территорий от затопления. Объектами этой системы являются сами гидротехнические сооружения, а также изменяемые и образуемые ими водные объекты – реки и искусственные водоемы.

Гидротехнические сооружения (ГТС) – это сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и для предотвращения негативного воздействия вод (рис. 1.1, 1.2). При осуществлении водохозяйственных мероприятий ГТС, объединенные общим предназначением и располагаемые в одном месте, составляют комплексы, называемые гидроузлами.

Водоподпорные или напорные ГТС состоят, как правило, из плотины, водосброса и искусственного водоема (пруд, водохранилище).

Плотины относятся к основным постоянным ГТС (рис. 1.1). С их помощью перегораживают речные долины и создают искусственные водоемы, поднимая уровень воды в верхнем бьефе. В зависимости от природных условий и создаваемых напоров их подразделяют на низконапорные (до 10 м), средненапорные (от 10 до 50 м) и высоконапорные (50 м и более) (Гидротехнические сооружения…, 1983). По основным материалам, из которого возводят плотины, различают земляные, каменно-набросные, каменно-земляные (Михайлов, Китаев, 2010, 2011).

Все постоянные ГТС делят на четыре класса капитальности. Для водоподпорных сооружений класс назначают в зависимости от их высоты, типа основания, последствий аварий и нарушений их эксплуатации (Гидротехнические сооружения…, 2006).

Ключевыми элементами водоподпорных ГТС являются искусственные водоемы, поскольку именно они позволяют осуществлять регулирование водных ресурсов. В них накапливаются запасы воды в периоды, когда приток превышает потребление, а расходу-

Гидротехнические сооружения

- **Постоянные**
  - **Основные** — сооружения, ремонт или авария которых приводят к полной остановке работы объекта либо существенно снижают эффект его действия
  - **Второстепенные** — сооружения и их отдельные части, прекращение работы которых не влечет за собой столь тяжелых последствий
- **Временные** — сооружения, используемые только в период строительства и ремонта постоянных

Рисунок 1.1.
Классификация ГТС по срокам использования.

Гидротехнические сооружения

- **Общие**
  - **Водоподпорные** — создают напор или разность уровней воды перед сооружением и за ним
  - **Водозаборные** — устраивают для забора воды из водоисточника и направления ее в водовод
  - **Водосбросные** — служат для пропуска излишков воды из водохранилищ, каналов, напорных бассейнов и пр.
  - **Водопроводящие** — служат для переброски воды в заданные пункты
  - **Регуляционные** — предназначены для изменения и улучшения естественных условий протекания водотоков и защиты русел и берегов рек от размывов, отложения наносов, воздействия льда и др.
- **Специальные** — сооружения, возводимые для какой-либо одной отрасли водного хозяйства

Рисунок 1.2.
Классификация ГТС по видам использования.

ются – когда потребление воды превышает ее приток. Кроме того, искусственный водоем используется для снижения максимальных расходов половодий и паводков на участке реки, расположенном ниже (Чеботарев, 1978).

Все искусственно созданные водоемы делят на водохранилища и пруды. Водохранилищами считают искусственные водоемы с полным объемом более 1 млн м^3. К категории малых водохрани-

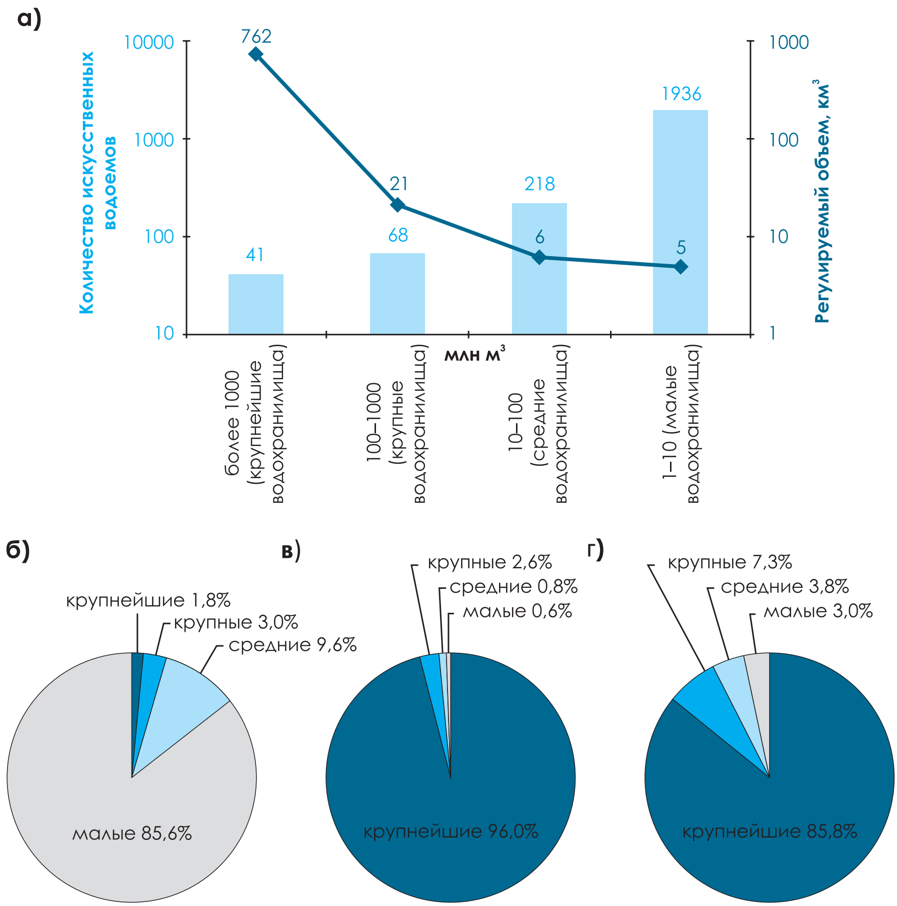


Рисунок 1.3.
Водохранилища России по объему наполнения (а) и доля каждой категории от общего: количества (б), объема (в), площади зеркала (г) (Справочник водохранилищ…, 1988; Вода России. Водно-ресурсный…, 2000; Вода России. Водохранилища, 2001).

лищ обычно относят искусственные водоемы объемом менее 10 млн $м^3$ и площадью зеркала менее 2 $км^2$ (Авакян и др., 1987). Классификация водохранилищ России представлена на рисунке 1.3. Деление водохранилищ России и Пермского края по объему наполнения приведено в таблице 1.1.

В соответствии с ГОСТ 19179–73, пруды – это мелководные водохранилища площадью не более 1 $км^2$. К прудам всегда условно относят водохранилища объемом менее 1 млн $м^3$, однако никаких физически обоснованных критериев для такого деления не существует.

Между прудом и водохранилищем не существует принципиальной разницы, если не считать различия в размерах и размещении в разных звеньях гидрографической сети (Буторин, 1969; Прыткова, 1979; Василевский и др., 1998). Водоемы имеют морфологическое сходство, определяющее общность многих процессов, развивающихся в них, общим является и их назначение – искусственное регулирование стока.

Таблица 1.1.
Водохранилища России и Пермского края по объему наполнения.

Категория водохранилищ по объему*	Количество водохранилищ (% от общего)		Суммарные значения			
			Объем, $км^3$ (% от общего)		Площадь зеркала, тыс. $км^2$ (% от общего)	
	Россия*	Пермский край**	Россия*	Пермский край**	Россия*	Пермский край**
Крупнейшие, с объемом более 1 $км^3$	41 (1,8%)	2 (5,5%)	762 (96,0%)	21,56 (96,5%)	56,4 (85,9%)	3,04 (95%)
Крупные, с объемом от 100 млн $м^3$ до 1 $км^3$	68 (3,0%)	1 (2,8%)	21 (2,6%)	0,53 (2,4%)	4,8 (7,3%)	0,04 (1,3%)
Средние, с объемом от 10 млн $м^3$ до 100 млн $м^3$	218 (9,6%)	6 (18,2%)	6 (0,8%)	0,18 (0,8%)	2,5 (3,8%)	0,09 (2,8%)
Малые, с объемом от 1 млн $м^3$ до 10 млн $м^3$	1936 (85,6%)	27*** (73,5%)	5 (0,6%)	0,07 (0,3%)	2,0 (3,0%)	0,03 (0,9%)
Всего:	2263	36	794	22,34	65,7	3,20

Примечания:
* Справочник водохранилищ…, 1988; Вода России. Водно-ресурсный потенциал, 2000; Вода России. Водохранилища, 2001.
** Результаты инвентаризации ГТС Пермского края, Пермгипроводхоз, 2003–2006 гг.
*** По уточненным на 01.01.2011 г. данным в Пермском крае насчитывается 29 малых водохранилищ.

Размеры и размещение искусственных водоемов зависят от рельефа и структуры гидрографической сети (Мильков, 1973; Дроздов, 1974; Прыткова, 1979), а также определяются особенностями их создания: возведенная в любом створе потока плотина, в зависимости от высоты, может образовывать водохранилище разной емкости. При осреднении большого количества данных по морфометрии водоемов можно исключить элемент случайности и установить связь между их размерами и местоположением в гидрографической сети. Так, например, рост объема с увеличением порядка водотока происходит не за счет увеличения их глубины, а за счет расширения верхнего бьефа, вызванного усилением интенсивности переработки берегов (Прыткова, 1979).

На размеры и размещение искусственных водоемов оказывают влияние и хозяйственные потребности человека. Требования различных отраслей хозяйства к качеству, количеству и срокам подачи воды разнообразны и часто противоречивы, что существенно осложняет планирование водопользования и распределение воды между различными пользователями. Как правило, рано или поздно все искусственные водоемы становятся объектами комплексного назначения с приоритетным использованием водных ресурсов какой-либо одной отраслью хозяйства.

В России на обширных территориях созданы системы и каскады водохранилищ, регулирующие сток и одновременно оказывающие огромное влияние на развитие половодий и паводков. Ошибки в эксплуатации таких систем приводят к тяжелым последствиям – каскадному прорыву плотин, затоплению и сносу жилых и производственных зданий, разрушению дорог, мостов, линий электропередачи и т. п.

Из общего количества ГТС средних и малых водохранилищ России (Вода России. Водно-ресурсный…, 2000):

- около 10% являются бесхозяйными, не имеют службы эксплуатации и не ремонтируются в течение десятилетий;
- 70% сооружений не имеют технических проектов;
- 11% плотин находятся в опасном состоянии;
- 19% плотин и 22% водосбросов требуют капитального ремонта;
- 40% водохранилищ имеют возраст более 30 лет.

С течением времени происходит естественное старение гидроузлов и вероятность аварий на них увеличивается до 10–19% (Вода России. Социально-экологические…, 2000). Поэтому обследование ГТС и водохранилищ, составление реестра, обобщение информации по их состоянию, моделирование возможных техногенных аварий и их последствий является актуальной проблемой.

В последние годы состояние гидротехнических сооружений постоянно ухудшается. Например, в 1993 г. ущерб от разрушения Киселевского водохранилища (Свердловская область) составил 70 млрд руб. в текущих ценах; при разрушении Тирлянского гидроузла (Башкортостан, 1994) ущерб составил более 10 млрд руб., погибло 22 человека; авария западной нитки Пермского шлюза (1994) нанесла ущерб 20 млрд руб.; события в Ленске (2001) и Южном федеральном округе (2002) сопровождались многомиллиардными (до 30 млрд руб.) убытками и человеческими жертвами; авария на Нижнем Дону (1 ноября 2004 г.) парализовала навигацию и привела к огромным убыткам судоходных компаний (Давидович, 2009). При крупной технологической аварии на Саяно-Шушенской ГЭС (17 августа 2009 г.) погибло 75 человек.

По данным Росводресурсов, за последние 5 лет в РФ имели место более 300 аварий гидротехнических сооружений; в основном это гидротехнические сооружения IV и частично III класса. Среднемировой показатель аварийности в РФ превышен в 2,5 раза (Давидович, 2009).

Основными причинами аварий на ГТС являются их неудовлетворительное техническое состояние и низкий уровень эксплуатации, дефекты при строительстве, неправильная оценка гидрологической обстановки при пропуске половодий и паводков, ошибки при проектировании ГТС.

Основным фактором, влияющим на уровень безопасности ГТС, является значительный срок их эксплуатации – от 40 до 100 лет и больше. Темпы ремонтных и восстановительных работ отстают от прогрессирующих процессов разрушения. Для обеспечения безопасного уровня эксплуатации ГТС требуется увеличение объемов ремонтных и восстановительных работ.

В соответствии с Положением о декларировании безопасности гидротехнических сооружений (Постановление Правительства РФ № 1303 от 06.11.1998) проводится декларирование безопасности ГТС, аварии на которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Декларированию безопасности подлежат все ГТС I, II, III классов капитальности. Для ГТС IV класса капитальности декларация безопасности разрабатывается при напоре на сооружениях более 3 м и объемах водохранилища более 0,5 млн м^3. По решению органов надзора за безопасностью могут быть подвергнуты декларированию ГТС и по другим параметрам, если авария этих сооружений может причинить значительный ущерб, или после их реконструкции, капитального ремонта, восстановления, либо консервации. Декларация безопасности эксплуатируемых ГТС представляется в орган надзора не реже одного раза в 5 лет.

После выхода Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» (ФЗ № 117 от 21.07.1997) увеличилось количество исследований в области безопасности (Золотов и др., 1997; Малаханов, 2000, 2003; Максимович, 2006) и экологического мониторинга ГТС (Алтунин, 1997; Карасев, 1997; Салтанкин и др., 1997; Арефьев и др., 1998; Семенов и др., 1998; Федоров и др., 1998).

Значительную роль в оптимизации управления системой ГТС и в целом водными ресурсами играют: создание информационных банков и баз данных по водным объектам, разработка и внедрение автоматизированных систем поддержки принятия решений, обеспечивающих подготовку и согласование на основе единого подхода (Бутаков и др., 2003; Пьянков и др., 2006).

1.2. Малые водохранилища в системе водоподпорных ГТС Пермского края

1.2.1. Анализ современного состояния

По данным инвентаризации, проведенной ОАО «Пермгипроводхоз» по заданию Министерства природных ресурсов Пермского края в 2003–2006 гг., выявлено 1368 гидротехнических сооружений прудов и водохранилищ различной формы собственности. В 2010 г. проведена актуализация данных инвентаризации на основе информации органов местного самоуправления (Шавнина и др., 2011).

По состоянию на 01.01.2011 г. в Пермском крае насчитывается 1203 ГТС водохранилищ и прудов, из них: спущено – 104 (8,6%), действующих – 1098 (91,3%), строящихся – 1 (0,1%).

Для классификации искусственных водоемов по морфометрическим признакам (Гидрология суши…, 1988) выделяются четыре категории для водохранилищ: очень большие или крупнейшие, большие или крупные, средние, малые; и три для прудов: крупные, средние, малые (рис. 1.4).

В Пермском крае существует 38 водохранилищ. К категории очень больших (крупнейших) относятся два – Камское и Воткинское. Малых водохранилищ в Пермском крае насчитывается 29 (рис. 1.5–1.10). С понижением категории по объему наполнения увеличивается количество водоемов (табл. 1.2) и уменьшается суммарный регулируемый объем стока.

Гидротехнические сооружения малых водохранилищ относятся, в основном, к IV классу капитальности. На рисунке 1.11 представлены ГТС водохранилищ различных классов капитальности в долях от общего количества и объема регулируемого стока. Основные характеристики ГТС малых водохранилищ Пермского края приведены в таблице 1.3.

По своему назначению все искусственные водоемы являются объектами комплексного назначения с приоритетным использованием водных ресурсов какой-либо одной отраслью хозяйства. Наиболее крупные водохранилища Пермского края – Камское, Воткинское и Широковское – были созданы для нужд гидроэнергетики; остальные, по первоначальному предназначению, можно подразделить на несколько групп (рис. 1.12): водохранилища, созданные для промышленного водоснабжения, для орошения, для рекреации и др.

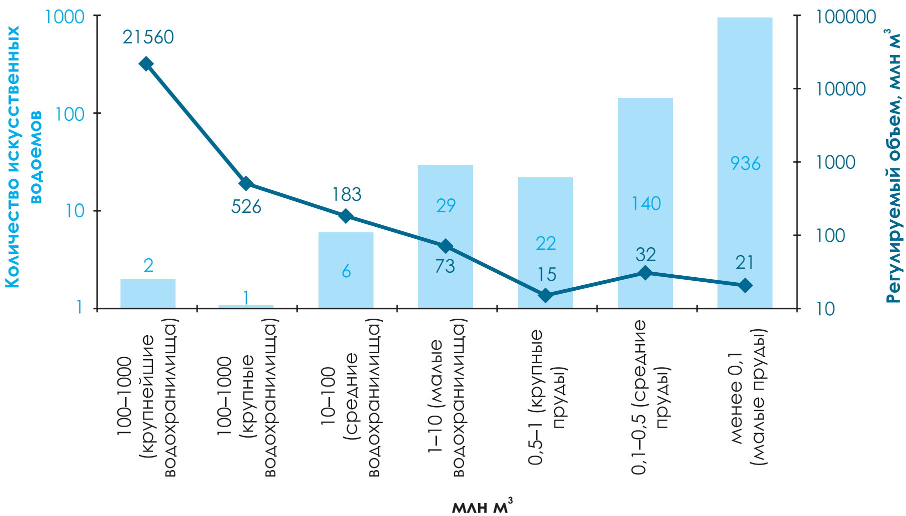


Рисунок 1.4.
Категории искусственных водоемов Пермского края по объему наполнения (на 01.01.2011 г.).

Рисунок 1.5.
Большесосновское водохранилище.

Рисунок 1.6.
Водохранилище на р. Кува (г. Кудымкар).


Рисунок 1.7.
Путинское водохранилище.


Рисунок 1.8.
Сивинское водохранилище.

Рисунок 1.9.
Александровское водохранилище.

Рисунок 1.10.
Уинское водохранилище.

Таблица 1.2.
Характеристика объемов прудов и водохранилищ в районах Пермского края (на 01.01.2011 г.).

№	Муниципальный район	>1000 млн м^3	100–1000 млн м^3	10 – 100 млн м^3	1–10 млн м^3	0,5–1 млн м^3	0,1–0,5 млн м^3	<0,1 млн м^3	Нет данных
1	Александровский	–	–	–	2	1	2	1	–
2	Бардымский	–	–	–	–	1	3	4	–
3	Березниковский городской округ	–	–	2	1	–	1	–	–
4	Березовский	–	–	–	–	–	8	34	–
5	Большесосновский	–	–	–	1	-	9	101	6
6	Верещагинский	–	–	–	2	2	6	68	2
7	Гайнский	–	–	–	–	–	–	1	2
8	Горнозаводский	–	–	–	2	–	–	3	–
9	Губахинский	–	1	–	–	1	–	–	–
10	Добрянский	–	–	–	1	–	2	–	–
11	Еловский	–	–	–	–	1	3	31	4
12	Ильинский	–	–	1	–	–	–	27	1
13	Карагайский	–	–	–	2	–	7	34	–
14	Кизеловский	–	–	–	–	–	–	5	–
15	Кишертский	–	–	–	–	–	1	9	–
16	Кочевский	–	–	–	–	–	2	16	–
17	Красновишерский	–	–	–	1	4	2	2	–
18	Краснокамский	–	–	–	–	–	1	4	–
19	Кудымкарский городской округ	–	–	–	1	–	–	–	–
20	Кудымкарский	–	–	–	1	1	10	47	2
21	Куединский	–	–	–	1	2	3	9	3
22	Кунгурский	–	–	–	–	–	9	44	–
23	Лысьвенский	–	–	1	–	–	5	28	3
24	Нытвенский	–	–	1	1	–	5	36	5
25	Октябрьский	–	–	–	–	–	8	6	–
26	Ординский	–	–	–	1	1	2	19	–
27	Осинский	–	–	–	–	1	–	7	–
28	Оханский	–	–	–	–	–	1	22	5
29	Очерский	–	–	1	2	1	2	26	3
30	Пермский городской округ	1	–	–	–	–	1	2	–
31	Пермский	–	–	–	2	1	7	65	5
32	Сивинский	–	–	–	3	–	–	55	5
33	Соликамский	–	–	–	–	–	1	3	–
34	Суксунский	–	–	–	1	–	2	16	1
35	Уинский	–	–	–	1	–	6	21	1
36	Чайковский	1	–	–	1	2	14	79	4
37	Частинский	–	–	–	2	–	1	13	–
38	Чердынский	–	–	–	–	–	3	8	4
39	Чернушинский	–	–	–	–	3	11	41	11
40	Чусовской	–	–	–	–	–	–	4	–
41	Юрлинский	–	–	–	–	–	2	44	–
42	Юсьвинский	–	–	–	–	–	–	1	–
	Всего	2	1	6	29	22	140	936	67

Таблица 1.3.
Основные характеристики ГТС малых водохранилищ Пермского края (на 01.01.2011 г.).

№	Населенный пункт	Река (бассейн)	Класс	Год*	Плотина			Водоем			Основное назначение	Собственность
					L, м	H, м	B, м	W, тыс. м^3	S, га	$h_{ср}$, м		
1	г. Александровск	р. Лытва (р. Вильва)	IV	1802	940	9	14	4500	228	2	техническое водоснабжение, рекреация	частная
2	п. Яйва	р. Яйва (Камское вдхр)	II	1963	92	15,8	23	4000	135	3	техническое водоснабжение	частная
3	г. Березники	р. Зырянка (Камское вдхр)	IV	1985	785	10	8	10200	420	2,43	техническое водоснабжение, пруд-охладитель	частная
4	с. Большая Соснова	р. Соснова (р. Сива)	IV	1983	500	5	9	1080	69,5	1,55	рыбохозяйственное, противоэрозионное	муниципальная
5	с. Путино	р. Лысьва (р. Обва)	IV	1980	800	6	7	1500	60	2,5	рекреация, противопожарное	краевая
6	д. Енино	р. Сепыч (р. Ласьва)	IV	1950	400	5	6	1980	132	1,5	рекреация	муниципальная
7	пос. Бисер	р. Мерзлая, Бисер (р. Койва)	IV	1870	300	8	15	1770	43,8	3,91	рекреация, противопожарное, техническое водоснабжение	муниципальная
8	пос. Пашия	р. Пашийка (р. Вижай)	III	1786	120	12	30	1313	36,7	3,5	техническое водоснабжение	частная
9	г. Добрянка	р. Тюсь (Камское вдхр)	II	1987	888	12	6	7405	184	3,6	питьевое водоснабжение	частная
10	д. Канюсята	р. Лопва (р. Язьва)	IV	1985	350	4	10	1440	105	1,6	рыбохозяйственное, мелиоративное	не определена
11	с. Нердва	р. Нердва (р. Обва)	IV	1784	628	7	10	1200	94,8	1,26	противоэрозионное, рекреация	не определена
12	пос. Северный Колчим	р. Колчим (р. Язьва)	IV	1964	520	9,8	6	4500	129	3,5	пруд-отстойник	частная
13	г. Кудымкар	р. Кува (р. Иньва)	IV	1953	1195	6	12	1632	83,2	4	рекреация, резервное водоснабжение, противопожарное	муниципальная
14	с. Кува	р. Кува (р. Иньва)	IV	1853	600	6,5	12	2400	141	1,7	противопожарное, рекреация, рыборазведение, противоэрозионное	не определена
15	с. Бикбарда	р. Бикбардинка (р. Буй)	IV	1917	560	6,2	9	2000	80	2,5	рыбохозяйственное	муниципальная

Продолжение таблицы 1.3.

№	Населенный пункт	Река (бассейн)	Класс	Год*	Плотина			Водоем			Основное назначение	Собственность
					L, м	H, м	B, м	W, тыс. $м^3$	S, га	$h_{ср}$, м		
16	с. Григорьевское	р. Сюзьва (Воткинское вдхр)	IV	1890	300	11,2	8	2390	94	2,6	рекреация, противопожарное, противоэрозионное	муниципальная
17	с. Большой Ашап	р. Ашап (р. Ирень)	IV	1986	224	12,6	12	1401	64,5	2,17	рыбохозяйственное, рекреация	муниципальная
18	д. Уварово	р. Очер (Воткинское вдхр)	IV	1988	300	5	6	1450	105	1,38	рыбохозяйственное	частная
19	с. Дворец	р. Нытва (Воткинское вдхр)	IV	1992	230	6	9	750	49,8	1,5	противоэрозионное	муниципальная
20	пос. Юго-Камский	р. Юг (Воткинское вдхр)	III	1746	652	9	9,4	4000	150	2,6	техническое водоснабжение, рекреация	частная
21	пос. Звездный	р. Юг (р. Бабка)	IV	1973	539	8,4	10	1080	34	3,2	рекреация	муниципальная
22	с. Буб	р. Буб (р. Обва)	IV	1982	450	7,2	7	1010	60	1,33	противопожарное, рекреация	муниципальная
23	с. Сива	р. Сива (р. Обва)	IV	1977	832	6,6	16	2160	196,3	1,1	рекреация	муниципальная
24	пос. Северный Коммунар	р. Малая Сива (р. Сива)	IV	1977	460	8	10,7	1260	62	2	техническое водоснабжение	смешанная
25	пос. Суксун	р. Суксунчик (р. Сылва)	III	1729	297	8	16	4500	250	1,8	рыбохозяйственное, техническое водоснабжение, лечебные грязи	муниципальная
26	с. Уинское	р. Уя (р. Аспа)	IV	1756	200	7	10	1150	63	1,83	водоснабжение, рыбохозяйственное, рекреация, противоэрозионное	муниципальная
27	с. Сосново	р. Соснова (р. Пизь)	IV	1979	368	4	4,5	1144	66,5	1,72	рыбохозяйственное, рекреация	частная
28	д. Верх-Рождество	р. Ножовка (Воткинское вдхр)	IV	1952	130	12	12	3400	100	3,4	рекреация, противопожарное, рыбохозяйственное	муниципальная
29	с. Ножовка	р. Ножовка (Воткинское вдхр)	IV	1905	150	8	10	1500	80	1,9	противопожарное, рекреация	муниципальная

Примечание:
* Год создания или последней реконструкции.

В настоящее время 86% от общего количества средних и малых по объему наполнения водохранилищ используются преимущественно для водоснабжения, в рыбохозяйственных целях и для рекреации. Прочие водоемы данной группы являются противопожарными, противоэрозионными и накопителями-отстойниками взвешенных наносов (рис. 1.13).

Наибольшее количество искусственных водоемов имеет рыбохозяйственное, рекреационное или противопожарное назначение (рис. 1.14), в то время как водоемы, используемые для водоснабжения, рыбохозяйственных целей и рекреации, имеют наибольший объем наполнения (рис. 1.15). Отметим, что в данном случае из анализа исключены три крупных водохранилища края, созданных для энергетики. Первое место по количеству занимают водоемы рыбохозяйственного назначения, по суммарному регулируемому объему стока – водоемы для водоснабжения. 98% рыбохозяйственных искусственных водоемов – пруды, регулирующие лишь 26% от общего объема данной группы.

Количество водоемов, созданных и используемых преимущественно для водоснабжения, невелико – 34, но они имеют наиболее крупные размеры: 98% суммарного объема этой группы приходится на 15 средних и малых водохранилищ.

По результатам анализа данных инвентаризации водоподпорных ГТС с помощью ГИС «Гидротехнические сооружения Пермского края» было выявлено:

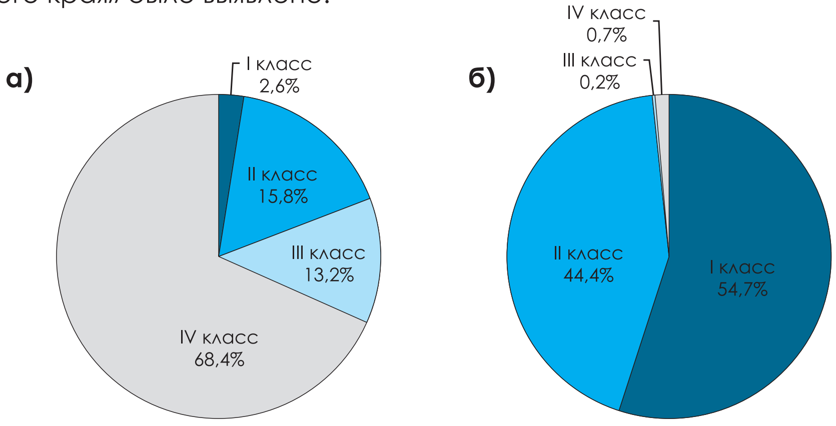


Рисунок 1.11.
Класс капитальности ГТС водохранилищ Пермского края:
а) доля от общего количества, б) от регулируемого объема.

- 95% ГТС не имеют необходимой проектной документации: как правило, это малые ГТС, построенные в сельской местности хозяйственным способом;
- 35% ГТС не имеют данных о собственниках или являются бесхозяйными;
- 38% ГТС в неудовлетворительном состоянии – эксплуатируются, имея различные технические неисправности, в том числе 7% находятся в предельно допустимом, предаварийном и

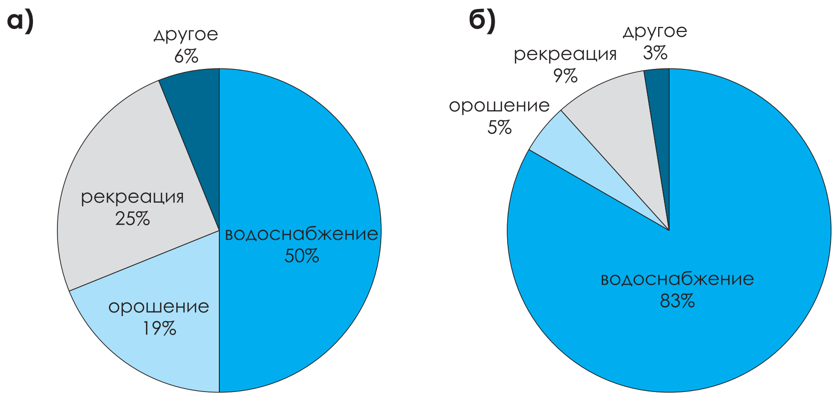


Рисунок 1.12.
Первоначальное назначение средних и малых по объему водохранилищ Пермского края: а) общее количество, б) регулируемый объем.

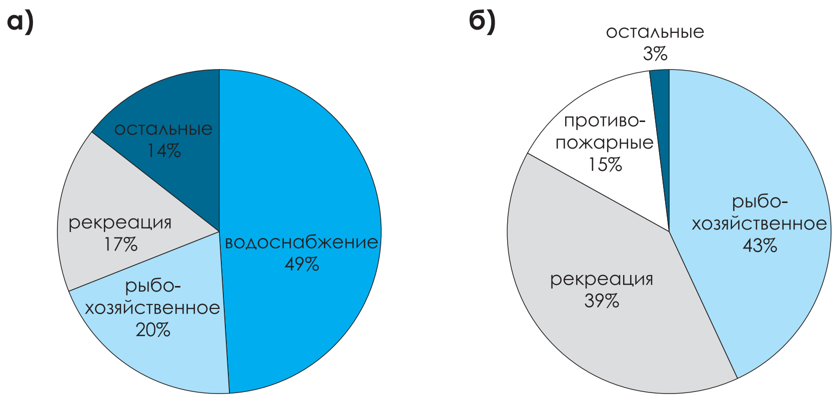


Рисунок 1.13.
Основное назначение искусственных водоемов Пермского края (на 01.01.2011 г.): а) средних и малых по объему водохранилищ, б) прудов.

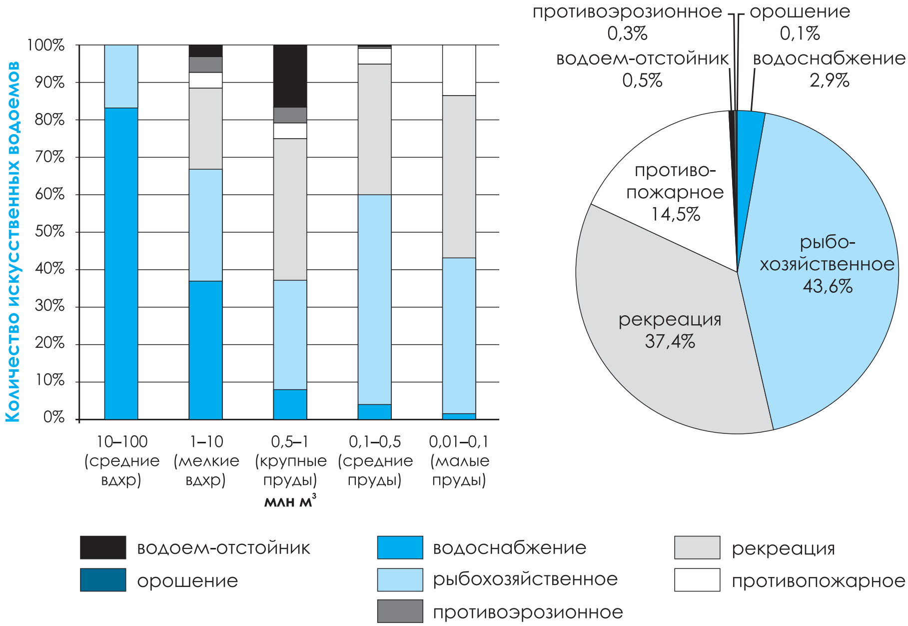


Рисунок 1.14.
Основное назначение искусственных водоемов Пермского края в процентах от общего количества (на 01.01.2011 г.).

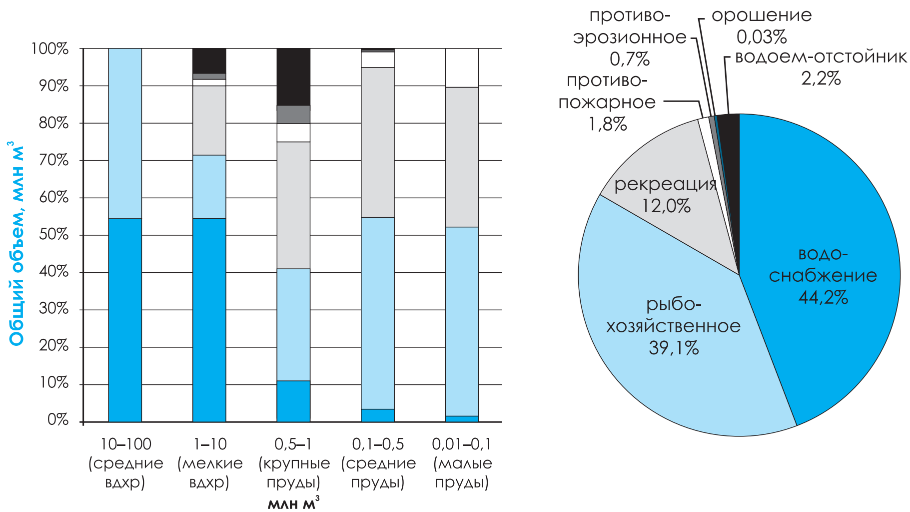


Рисунок 1.15.
Основное назначение искусственных водоемов Пермского края в процентах от общего объема (на 01.01.2011 г.).

Рисунок 1.16.
Уровень безопасности ГТС по Пермскому краю (на 01.01.2011 г).

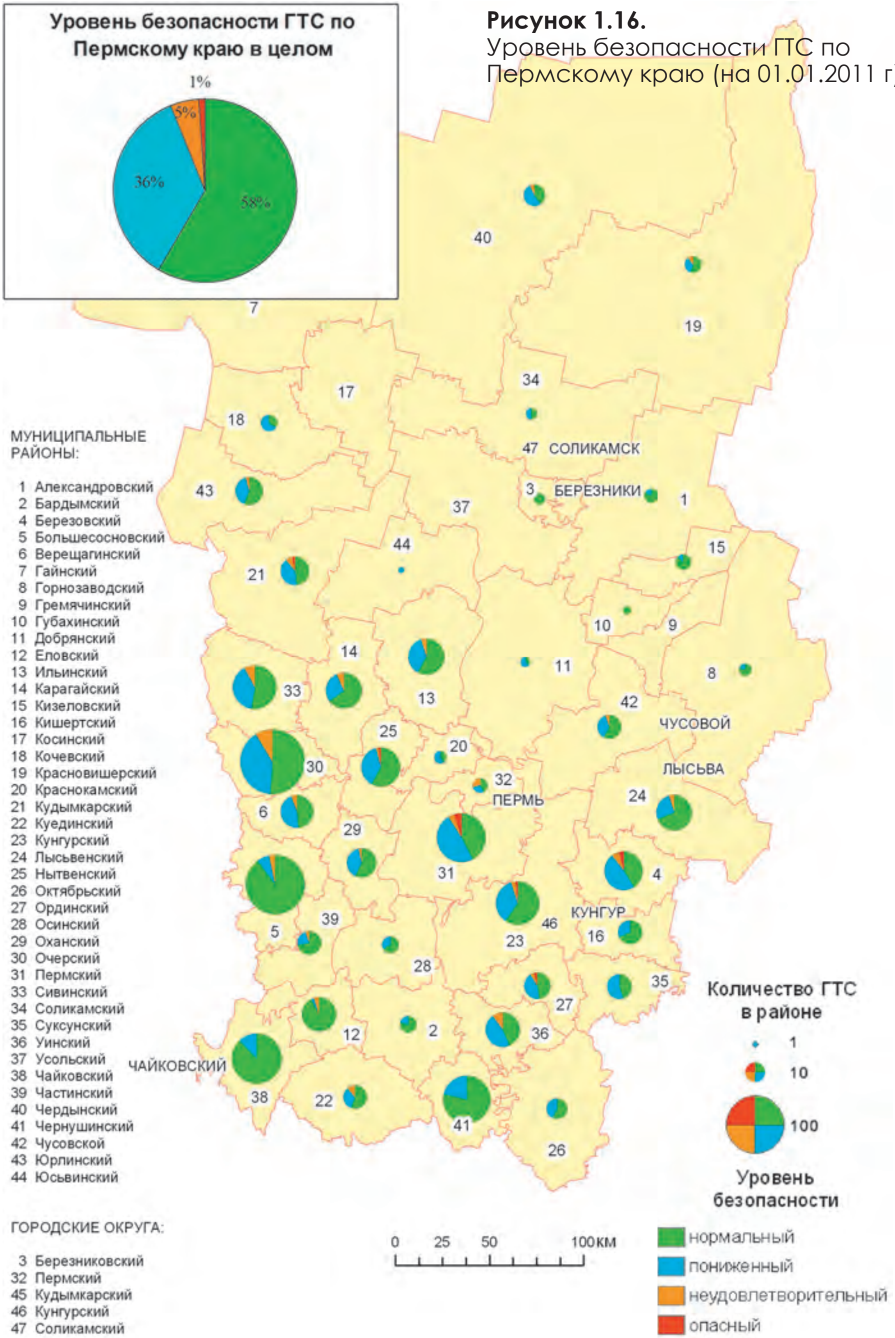


Таблица 1.4.
Характеристика уровня безопасности водоподпорных гидротехнических сооружений в районах Пермского края (на 01.01.2011 г).

№	Муниципальный район	Нормальный	Пониженный	Неудовлетво-рительный	Опасный	Нет данных
1	Александровский	5	1	–	–	–
2	Бардымский	7	1	–	–	–
3	Березниковский городской округ	4	–	–	–	–
4	Березовский	16	21	5	–	–
5	Большесосновский	102	7	7	1	–
6	Верещагинский	41	30	7	2	–
7	Гайнский	–	–	–	–	3
8	Горнозаводский	4	1	–	–	-
9	Губахинский	2	–	–	–	-
10	Добрянский	1	–	–	–	2
11	Еловский	36	1	1	1	–
12	Ильинский	14	13	2	–	–
13	Карагайский	28	12	3	–	–
14	Кизеловский	4	1	–	–	–
15	Кишертский	7	3	–	–	–
16	Кочевский	3	5	–	–	10
17	Красновишерский	5	4	–	–	–
18	Краснокамский	2	3	–	–	–
19	Кудымкарский городской округ	–	–	–	1	–
20	Кудымкарский	10	5	–	–	46
21	Куединский	10	6	2	–	–
22	Кунгурский	29	21	1	2	–
23	Лысьвенский	21	11	2	–	3
24	Нытвенский	27	19	1	1	–
25	Октябрьский	7	7	–	–	–
26	Ординский	11	10	1	1	–
27	Осинский	5	3	–	–	–
28	Оханский	16	11	1	–	–
29	Очерский	17	16	2	–	–
30	Пермский городской округ	3	–	1	–	–
31	Пермский	34	39	3	2	2
32	Сивинский	33	25	5	–	–
33	Соликамский	2	2	–	–	–
34	Суксунский	9	11	–	–	–
35	Уинский	13	13	3	–	–
36	Чайковский	51	42	3	–	5
37	Частинский	12	4	–	–	–
38	Чердынский	6	8	1	–	–
39	Чернушинский	26	21	2	1	16
40	Чусовской	1	2	1	–	–
41	Юрлинский	–	2	–	–	44
42	Юсьвинский	1	–	–	–	–
	Всего	625	381	54	12	131

аварийном состоянии. Муниципальные образования и юридические лица, являющиеся собственниками ГТС, часто не имеют служб эксплуатации, а там, где они есть, персонал не укомплектован специалистами-гидротехниками, отсутствуют договоры со специализированными организациями на техническое обслуживание ГТС;

- 30 ГТС, находящихся в аварийном и предаварийном состоянии, образуют пруды, в том числе малые – 18, средние – 10 и крупные – 2;
- опасный уровень имеют 11 ГТС прудов и 1 ГТС Кувинского водохранилища. В нижнем бьефе Кувинского водохранилища (г. Кудымкар – р. Кува) расположен жилой сектор и объекты инфраструктуры.

Потенциальную опасность представляют 79 ГТС (из них 44 подлежат декларированию). В целом состояние уровня безопасности ГТС по Пермскому краю характеризуют таблица 1.4 и рисунок 1.16.

1.2.2. Особенности пространственно-временного распределения

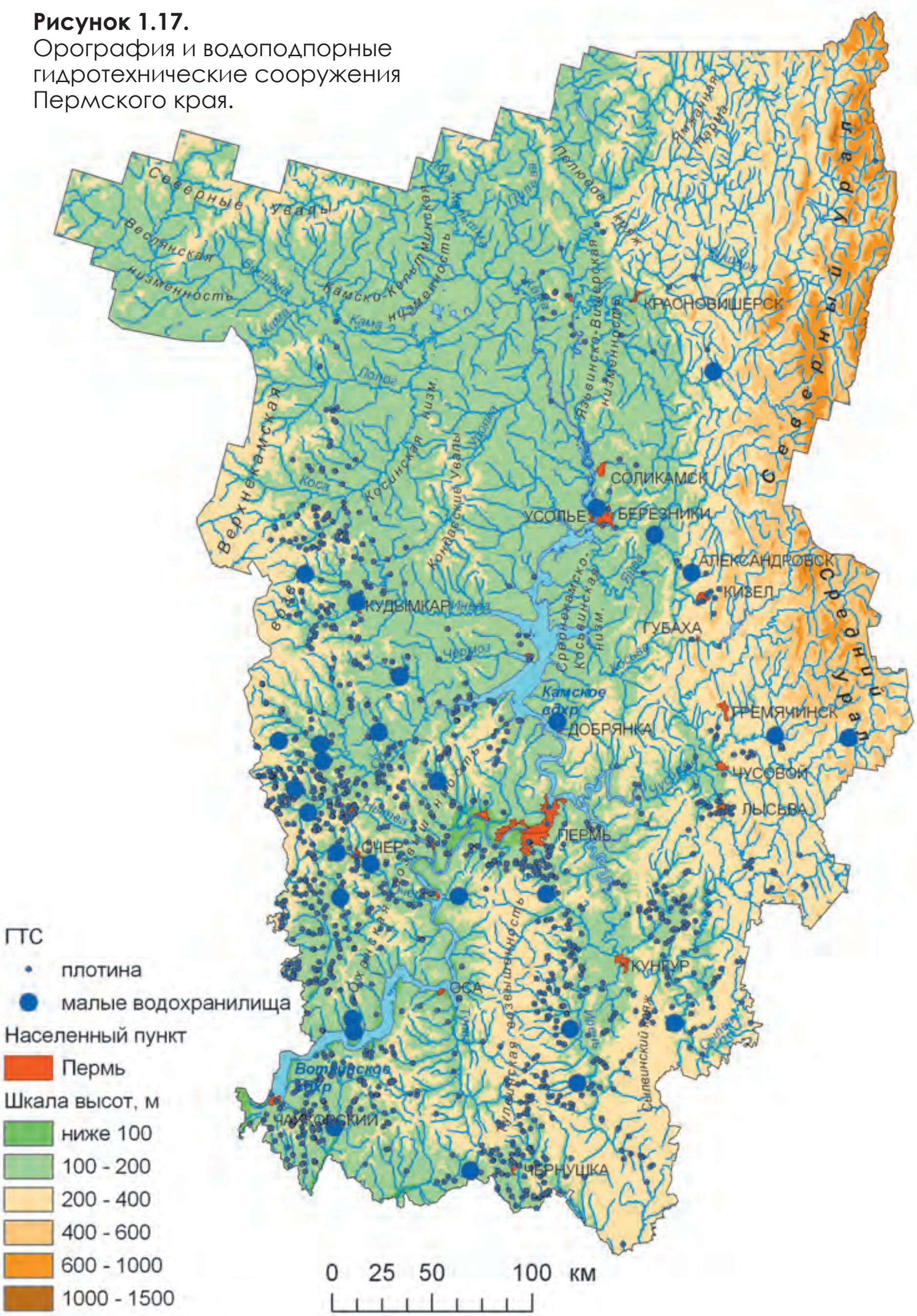
На территориальное распределение искусственных водоемов Пермского края (рис. 1.17) оказали влияние как физико-географические, так и социально-экономические факторы.

Территория Пермского края простирается с севера на юг на 645 км и с запада на восток – на 417,5 км, занимает площадь 160,6 тыс. км^2. Она охватывает западный склон Уральских гор с прилегающей к ним восточной окраиной Русской равнины и территориально совпадает с бассейном р. Кама без р. Вятка и р. Белая. Все реки региона можно разделить на бассейны Верхней, Средней, Нижней Камы.

Анализируя водные ресурсы Пермского края, можно отметить, что наиболее водообеспеченными территориями являются бассейны левых притоков р. Кама, формирующие свой сток в Уральских горах. При выходе на равнину все гидрологические характеристики этих водотоков уменьшаются. На равнинной территории края уменьшение водообеспеченности территории происходит с севера на юг (Комлев, Черных, 1984).

Регулирование стока рек нашло широкое применение преимущественно в районах недостаточного увлажнения, где реки име-

Рисунок 1.17.
Орография и водоподпорные гидротехнические сооружения Пермского края.



ют малую водность и значительную неравномерность внутригодового распределения стока и нередко пересыхают в меженный период.

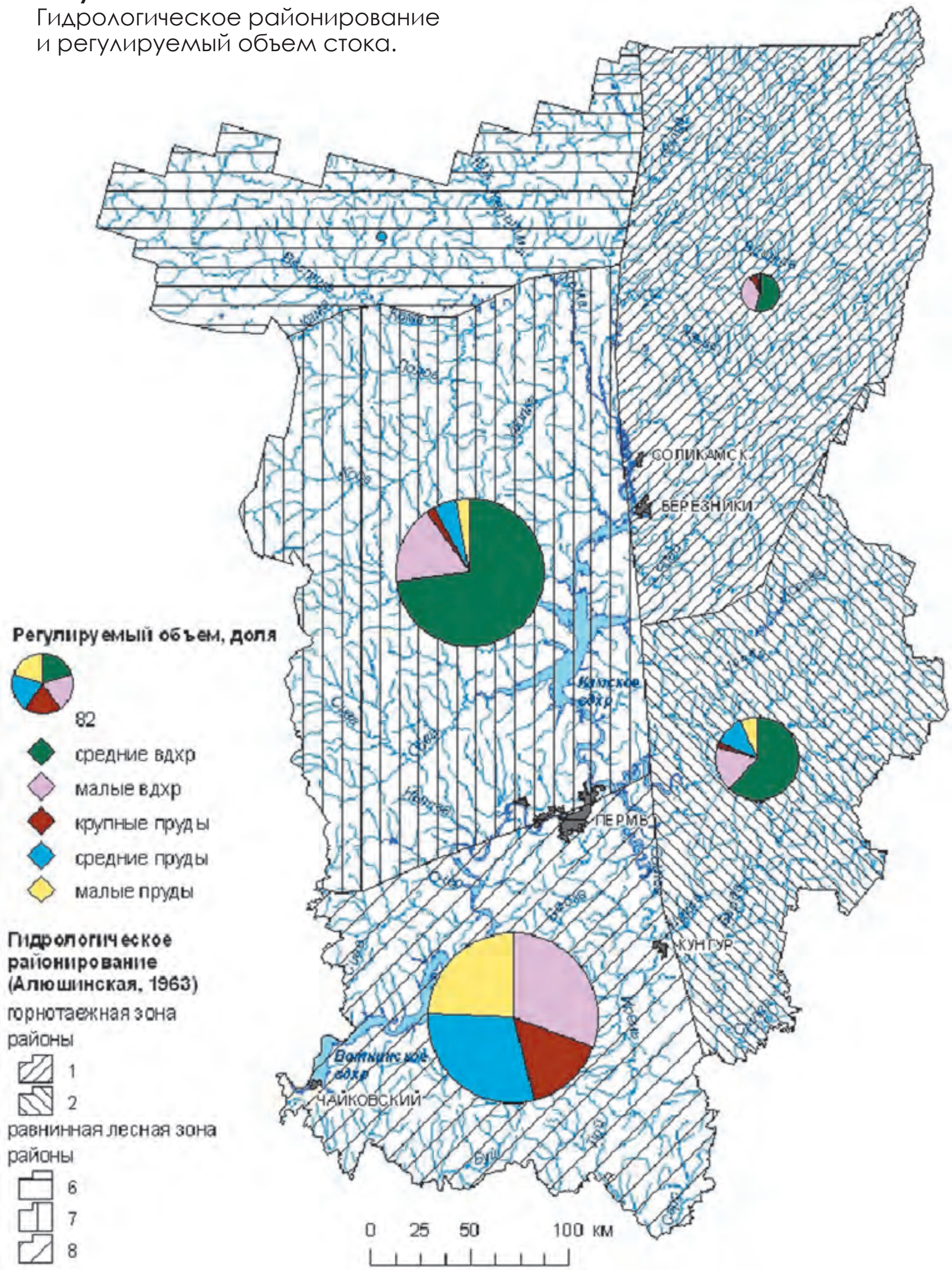
На севере и северо-востоке края сток преобладает над испарением. Наибольший коэффициент стока здесь составляет от 0,55–0,60. С продвижением на юг этот показатель снижается до 0,30. При этом горные реки характеризуются наиболее равномерным внутригодовым распределением стока. Отмечается здесь и повышенная густота речной сети. В этой части края система водоподпорных ГТС практически не развита. Причинами этого являются отсутствие недостатка в водных ресурсах, неблагоприятные условия для развития сельского хозяйства, сравнительно небольшое количество промышленных предприятий. Искусственные водоемы, которые имеются на этой территории, как правило, предназначены для водоснабжения крупных предприятий и населенных пунктов, используются для рекреации.

Для юга и юго-запада края характерны районы с высокой плотностью населения и развитой экономикой: промышленностью, сельским хозяйством, транспортом. При этом многие из них испытывают недостаток в водных ресурсах, поэтому здесь находится большое количество искусственных водоемов.

Регулируемый объем стока, нормированный по площади водосборов рек, уменьшается в северном направлении. Некоторое увеличение его в восточном направлении и центральной части объясняется не большим количеством ГТС на этой территории, а преобладанием здесь крупных по объему искусственных водоемов над мелкими. Это крупные пруды, малые и средние водохранилища, большинство из которых были созданы еще в XVIII – начале XIX в., в период развития горнодобывающей и металлургической промышленности (Вода России…, 2001; Холодова, 2001).

Для характеристики пространственного распределения искусственных водоемов выполнен их анализ по гидрологическим районам (Водные ресурсы…, 1977) (рис. 1.18). Общее количество водохранилищ и прудов увеличивается с севера на юг, как на равнинной части края, так и горной. Общее количество водохранилищ и прудов на равнинной территории значительно выше, чем в горной. Средний объем искусственных водоемов, расположенных на равнинной территории края, меньше, чем в горных областях, так как доля крупных искусственных водоемов здесь ниже. В равнинной части, занимающей 62% территории края, расположено око-

Рисунок 1.18.
Гидрологическое районирование
и регулируемый объем стока.



ло 85,8% всех водоподпорных ГТС, суммарный регулируемый объем которых составляет 73,2% (рис. 1.19, 1.20). В горной части (38% от территории края) находится 14,2% ГТС, суммарный регулируемый объем которых составляет 26,8%.

Исторически развитие малых водохранилищ, как и системы водоподпорных ГТС Пермского края в целом, неразрывно связано с хозяйственным освоением территории, в процессе которого

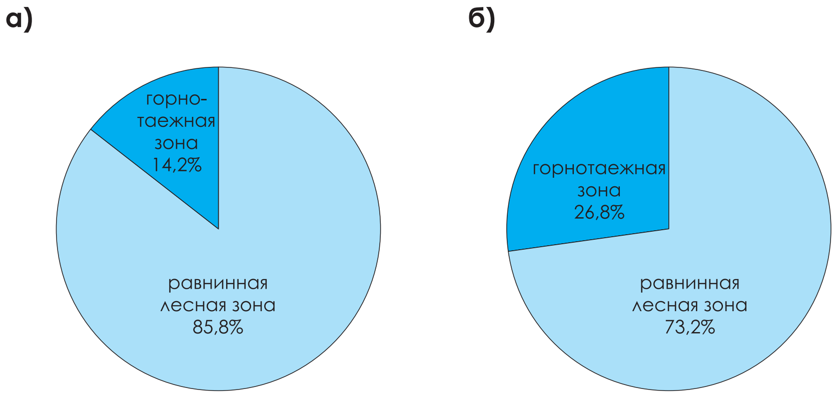


Рисунок 1.19.
Искусственные водоемы Пермского края по гидрологическим зонам (на 01.01.2007 г.): а) общее количество, б) регулируемый объем.

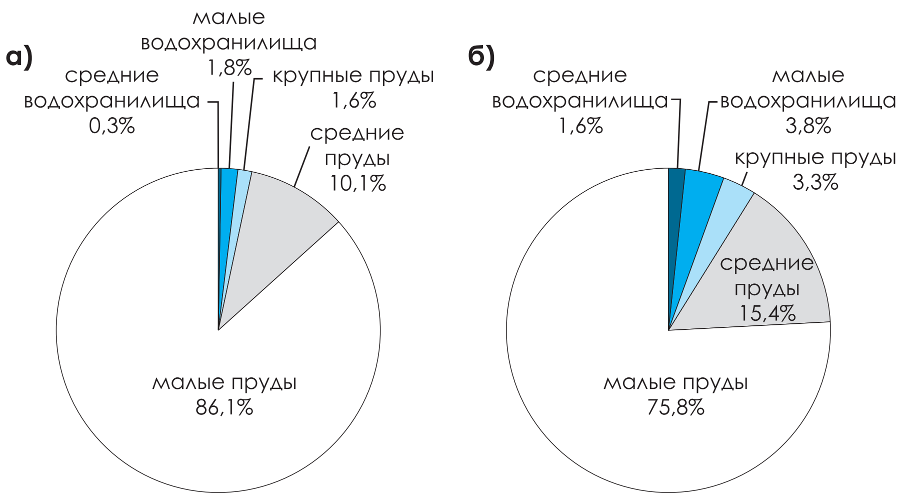


Рисунок 1.20.
Общее количество искусственных водоемов Пермского края (на 01.01.2011 г.): а) равнинная лесная зона, б) горнотаежная зона.

можно выделить несколько ключевых моментов, отраженных в таблице 1.5 и на рисунке 1.21.

В конце XVII – начале XVIII в. начинается промышленное освоение территории Западного Урала. К середине XVIII в. в Прикамье работали 29 медеплавильных и 20 чугунолитейных и железоделательных заводов. Их характерной чертой была привязанность к рекам как к источникам энергии. В основном они размещались в междуречье Камы и Сылвы, в бассейнах Чусовой, Косьвы, Вильвы, Иньвы. Именно в этот период началось строительство прудов для обеспечения энергией и водой металлургических заводов (Вода России..., 2001; Холодова, 2001), было создано 7 средних и малых по объему водохранилищ и 4 пруда, сохранившихся до наших дней, в бассейнах рек Очер, Нытва, Лысьва и др.

Из-за быстрого истощения руд период деятельности заводов был недолгим. Кроме того, в металлургии края наметился спад, так как ее продукция не выдержала конкуренции. Часть предприятий черной металлургии была закрыта, другая перешла на металлообработку. Все медеплавильные заводы прекратили свою деятельность. К концу XIX столетия на территории Прикамья было построено лишь четыре малых по объему водохранилища для промышленного водоснабжения (Александровское, Бисерское, Григорьевское).

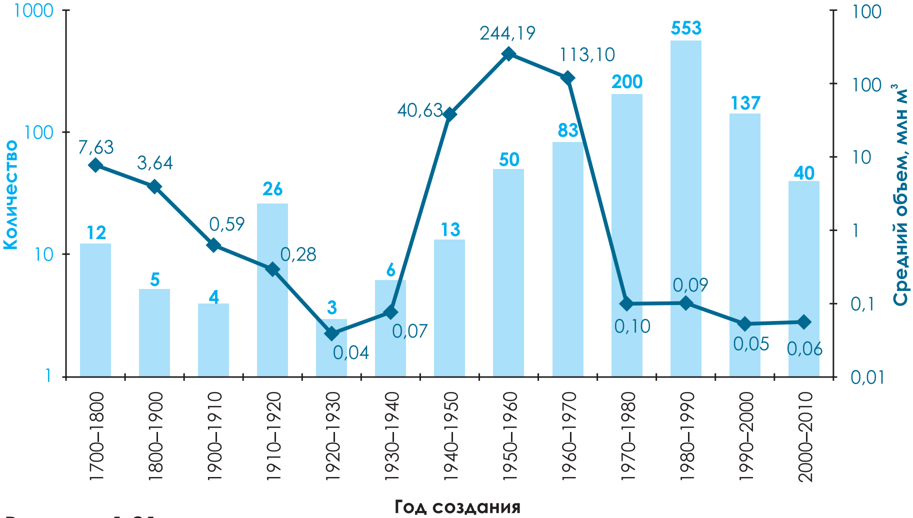


Рисунок 1.21.
Пруды и водохранилища Пермского края по году создания (на 01.01.2011 г.).

Таблица 1.5.
Основные этапы хозяйственного освоения территории и создание малых водохранилищ.

Период	Социально-экономическая ситуация	Гидротехническое строительство	Количество водоподпорных ГТС	Малые водохранилища
XVII–XVIII вв.	Развитие горнодобывающей и металлургической промышленности	Основное назначение – промышленное водопользование	11	Юго-Камское Пашийское Нердвинское Уинское
XIX в.	Спад металлургической промышленности	Сокращение гидротехнического строительства, уменьшение общего количества ГТС	4	Александровское Бисерское Григорьевское
Начало XX в. – 30-е гг. XX в. (довоенный период)	Пересмотр политики и переформирование сельского хозяйства	Основное назначение – орошение, рыбохозяйственные и рекреационные цели	42	Суксунское Ножовское Бикбардинское
1946–1965 гг. (послевоенный период)	Освоение нефтяных залежей. Развитие нефтепереработки, энергетического строительства, электротехнической промышленности. Освоение и заселение новых территорий	Увеличение темпов развития системы водоподпорных ГТС. Строительство крупнейших ГЭС для энергетики. Преобладание малых искусственных водоемов над крупными	103	Яйвинское Енинское Водохранилище на р. Кува (г. Кудымкар) В.-Рождественское Водохранилище на р. Колчим Нижнезырянское
1966–1990 гг.	Развитие машиностроения и металлообработки, химической и нефтехимической промышленности	Преобладание строительства в сельскохозяйственных районах. Основное назначение – рыбохозяйственное, противопожарное и мелиоративное. Преобладание малых искусственных водоемов над крупными	848	Сивинское Кувинское Большесосновское Путинское Добрянское Канюсятское Ашапское Уваровское Бубское Водохранилище на р. М. Сива (п. Северный Коммунар) Сосновское
Конец XX в.	Смена плановой экономики на рыночную. Общий экономический спад. Развитие малого и среднего предпри-нимательства	Снижение строительства водоподпорных ГТС. Рост доли прудов, относимых к частной собственности (30% от общего количества). Основное назначение – рыбохозяйственное	152	Дворецкое
Начало XXI в. (современный период)	–	Преобладание реконструкции ГТС водохранилищ и прудов над созданием новых	24	–

В начале XX в. росла и совершенствовалась техническая база промышленности, повысилась концентрация производства и капитала, сформировался железнодорожный и речной транспорт, укрепилось сельскохозяйственное производство. Так, в период с 1900 г. по 1917 г. был создан 31 искусственный водоем, в основном для орошения, рекреации и в рыбохозяйственных целях. Но во время Первой мировой и Гражданской войн хозяйство Прикамья пришло в упадок. В 1920–1930-е гг. было создано лишь 11 мелких прудов.

После Второй мировой войны (послевоенный период) структура хозяйства края заметно изменилась за счет освоения нефтяных залежей и развития нефтепереработки, энергетического строительства и создания электротехнической промышленности. Активно осваивались и заселялись новые территории. В эти годы были построены Широковская (1948) и Камская ГЭС (1956), начато строительство Воткинской ГЭС (1966). Помимо этих крупных водохранилищ, в 1946–1965 гг. создано 5 мелководных и 95 прудов различного назначения, в том числе пруды-отстойники для задержания взвешенных наносов при добыче алмазов дражным способом.

После 1966 г. началось сокращение использования сырьевых ресурсов. Снизились темпы добычи угля и нефти, заготовки древесины. Ведущие позиции в экономике заняли машиностроение и металлообработка, химическая и нефтехимическая отрасли. Продолжают расти темпы гидротехнического строительства.

В период с 1950 г. по 1980 г. наблюдается увеличение количества, но уменьшение среднего объема искусственных водоемов (рис. 1.21). В основном создаются малые и средние пруды рыбохозяйственного, противопожарного и мелиоративного назначения, преимущественно в сельскохозяйственных районах. Наряду с этим возникает большое количество прудов только рекреационного назначения.

В последние десятилетия (1980–2011 гг.) наблюдается увеличение доли прудов, не превышающих объема 100 тыс. $м^3$. На современном этапе преобладает реконструкция, капитальный ремонт ГТС и улучшение санитарного состояния водохранилищ и прудов над созданием новых. Это связано со старением, износом ГТС и увеличением требований к их безопасности. В настоящее время доля ГТС, переданных в частную собственность, составляет 30% от общего количества. Вместе с тем велика доля ГТС, не имеющих данных о собственниках или являющихся бесхозяйными.

Пространственные различия в специализации хозяйства на территории Пермского края оказали влияние на размещение и назначение искусственных водоемов. Анализ основного назначения ГТС (рис. 1.22) в соответствии с районированием территории края по промышленному развитию (Шарыгин, Резвых, 2008) показал, что в южных аграрно-индустриальных районах преобладают рыбохозяйственные водоемы. В западных аграрно-индустриальных и индустриально высокоразвитых районах увеличивается доля водоемов, предназначенных для рекреации. Это связано не только с более высоким уровнем промышленного развития этой территории, но и с увеличением плотности населения в этих районах.

Так, доля рыбохозяйственных водоемов в аграрно-индустриальных районах в целом составляет около 50%. В индустриально высокоразвитых, старых промышленных и районах нового освоения преобладает доля водоемов рекреационного назначения (от 55 до 62%). Наибольшая доля водоемов (25%) с основным назначением «промышленное водоснабжение» наблюдается в старых промышленных районах. Для этих районов характерно увеличение доли водоемов, изменивших свое основное назначение с промышленного и технического водоснабжения на рекреацию. Все водоемы-отстойники находятся в районах нового освоения (Красновишерский район).

1.3. Нормативно-правовые аспекты эксплуатации водохранилищ

Необходимо отметить, что в настоящее время не существует единой нормативно-правовой основы эксплуатации водохранилищ. В действующие документы достаточно часто вносятся изменения. Основные вопросы эксплуатации водохранилищ отражены в следующих нормативных документах: Письмо Министерства природных ресурсов РФ от 25 октября 2000 года № НМ-61/5611 «О правилах эксплуатации водохранилищ Российской Федерации», Постановление Правительства РФ от 20 июня 1997 года № 762 «О порядке эксплуатации водохранилищ», СанПиН от 01.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» и некоторых других.

Порядок эксплуатации водохранилищ определяется правилами, разрабатываемыми для каждого водохранилища в соот-

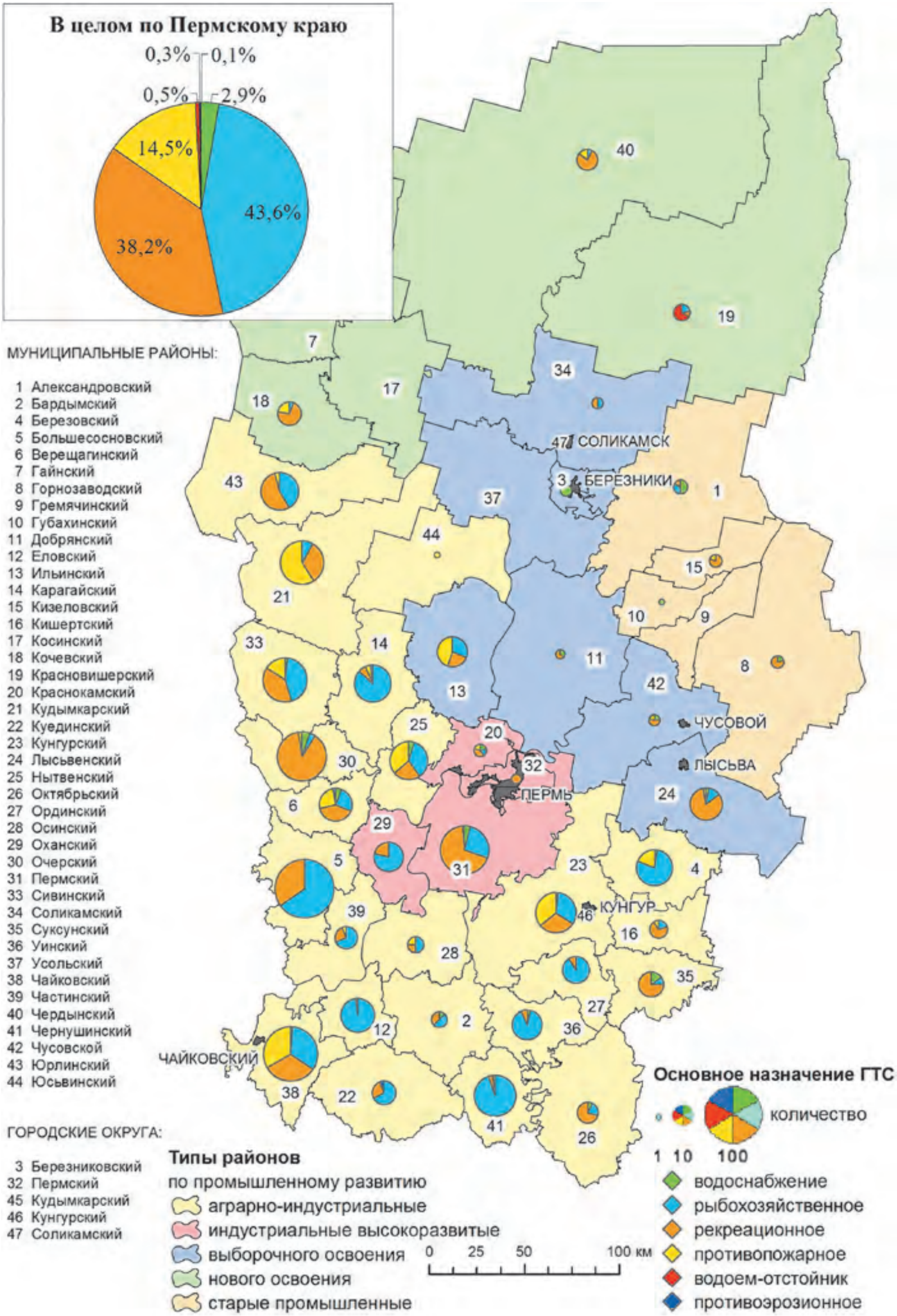


Рисунок. 1.22.
Основное назначение искусственных водоемов.

ветствии с «Общими положениями» «Методических указаний по разработке правил эксплуатации водохранилищ» (Письмо Министерства природных ресурсов РФ...).

«Правила эксплуатации водохранилища» являются основным руководящим документом для службы эксплуатации водохранилища, в соответствии с которым осуществляются:

- контроль над соблюдением требований к использованию водопользователями водных ресурсов водохранилища;
- организация системы наблюдений за состоянием акватории, прибрежной зоны водохранилища, ГТС, создающих водохранилище, и защитных ГТС;
- координация и осуществление мероприятий, обеспечивающих надлежащее техническое и санитарное состояние водохранилища;
- организация службы эксплуатации водохранилища;
- действия в случае аварийных ситуаций и т. д.

Основными частями «Правил эксплуатации водохранилища» являются правила использования водных ресурсов водохранилища (на основании которых осуществляется управление водным режимом водохранилища, в том числе и регулирование уровня воды в водохранилище), проект водоохранных зон и прибрежных защитных полос, а также проект зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения (Письмо Министерства природных ресурсов РФ...).

Нормативно-правовых документов, непосредственно регламентирующих частичный или полный спуск водохранилищ, не существует.

Постановление Правительства РФ от 20 июня 1997 года № 762 «О порядке эксплуатации водохранилищ» утратило силу Постановлением Правительства РФ от 22.04.2009 № 349. Этим же Постановлением утверждено «Положение о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ». Правила использования водохранилищ включают правила использования водных ресурсов водохранилищ, определяющие режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ, и правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ, определяющие порядок использования их дна и берегов. Данный нормативный документ был дополнен позднее Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 24.08.2010

№ 330, утвердившим типовые правила использования водохранилищ. В соответствии с ними осуществляется использование водохранилищ, не включенных в перечень водохранилищ (в том числе с емкостью более 10 млн м^3), в отношении которых разработка правил использования осуществляется для каждого водохранилища (нескольких водохранилищ, каскада водохранилищ или водохозяйственной системы, в случае, если режимы их использования исключают раздельное функционирование).

Согласно СанПиН от 01.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ», разрабатываемые проекты реконструкции водохранилищ подлежат обязательному согласованию с органами государственного санитарного надзора в части:

- мероприятий по подготовке ложа водохранилищ;
- уровенного режима водохранилищ и режимов нижних бьефов;
- мероприятий по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилищ;
- прогноза качества воды водохранилищ и нижних бьефов.

Мероприятия по подготовке ложа водохранилища в соответствии с «Санитарными правилами...» включают:

- мероприятия по санитарной подготовке территории затопления;
- мероприятия по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилища.

Наиболее близкое отношение к проблеме спуска водохранилищ и оценке экологических последствий имеют следующие положения.

В рамках мероприятий по санитарной подготовке ложа водохранилища скважины (артезианские, геологоразведочные, нефтяные и другие) как функционирующие, так и нефункционирующие, попадающие в зону санитарной очистки, подлежат засыпке или тампонажу.

Одним из санитарных требований к режиму работы водохранилищ является обеспечение уровней и расходов воды, гарантирующих бесперебойную работу питьевых водозаборов, благоприятные условия культурно-бытового водопользования населения в верхнем и нижнем бьефах.

Мероприятия по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилищ должны быть направлены на ликвидацию и (или) предупреждение возможного появления источников загрязнения в целях обеспечения надлежащего качества воды водохранилищ. К водным объектам в зоне влияния водохранилища относятся подземные воды, поверхностные водоемы и водотоки, формирующие качество воды водохранилища, верхний и нижний бьефы, а также водные объекты, в которых меняется гидрологический режим в результате строительства водохранилища (СанПиН от 01.07.1985 № 3907-85…).

Площадь мелководий с глубинами 2 м и менее в водохранилищах, как правило, не должна превышать 15–20% их общей площади. В случае превышения данного показателя при необходимости проводятся мероприятия по уменьшению площади мелководий. Другими мероприятиями по санитарной охране водных объектов в зоне влияния водохранилищ являются:

- мероприятия по борьбе с загрязнением водных объектов производственными, хозяйственно-бытовыми, коллекторно-дренажными и сбросными водами мелиоративных систем, а также поверхностным стоком с территорий населенных мест и сельскохозяйственных земель;
- мероприятия по борьбе с избыточным цветением воды, микроводорослями, зарастанием и др.;
- мероприятия по борьбе с всплыванием торфяников;
- мероприятия по регулированию наносного режима водохранилищ;
- мероприятия, направленные на охрану грунтовых вод от загрязнения и истощения;
- мероприятия по предупреждению выплода гнуса, комаров, клещей.

Качество воды водохранилищ и их санитарная охрана регламентируются ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», ГОСТ 17.1.5.02.80 «Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов», СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», «Положением о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения № 2640-82». С 1 июня 2002 года последний из вышеперечисленных документов утратил силу Постановлением Главного санитарного врача РФ от 14.03.2002 № 11. С этого момента введены в действие санитарные правила и нормы «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения СанПиН 2.1.4.1110-02». Настоящие правила и нормы определяют санитарно-эпидемиологические требования к организации и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.

Правовой режим водоохранных зон и их прибрежных защитных полос первоначально (до 2006 г.) определялся статьями 111–113 ВК РФ 1995 г. и Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 ноября 1996 г. № 1404 «Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах». Многие нормы данного Положения в несколько измененном виде вошли в ст. 65 ВК РФ 2006 г. и, таким образом, получили бóльшую юридическую силу.

Ширина водоохранных зон водотоков и водоемов по-прежнему определяется исходя из длины водотока и площади акватории водоема, ширина прибрежных защитных полос – в зависимости от уклона берегов. В то же время учитывается специфика определения водоохранных зон для магистральных или межхозяйственных каналов, а также прибрежных защитных полос – для окаймленных болотами озер или же водоемов, имеющих особо ценное рыбохозяйственное значение.

Кроме того, был принят еще ряд документов, регулирующих эксплуатацию водохранилищ.

Постановлением Правительства РФ от 30.12.2006 № 844 «О порядке подготовки и принятии решения о предоставлении водного объекта в пользование» разработаны правила, которые устанавливают порядок подготовки и принятия решения о предоставлении поверхностного водного объекта или его части в пользование.

Постановлением Правительства РФ от 10.01.2009 № 17 утверждены Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов. Установление границ направлено на информирование граждан и юридических лиц о специальном режиме осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления водных объектов и истощения их вод, сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира в границах водоохранных зон и о дополнительных ограничениях хозяйственной и иной деятельности в границах прибрежных защитных полос.

Глава 2

Природные условия и техногенные процессы в районе Нижнезырянского водохранилища

2.1. Общая характеристика водохранилища

Нижнезырянское водохранилище – одно из наиболее крупных в Пермском крае, площадь при запланированном наполнении составила 520 га (5,2 км^2) – создано на р. Зырянка (бассейн р. Кама) в 1954–1956 гг. для регулирования стока реки и водоснабжения предприятий. На его северном берегу расположен г. Березники (рис. 2.1), часть территории которого при этом оказалась затопленной. В настоящее время рассматриваемый водный объект официально принято именовать Нижнезырянским водохранилищем, однако во многих источниках, в том числе официальных, используется и другое название – Семинский пруд.

Плотина водохранилища расположена в нижнем течении р. Зырянка (рис. 2.2, 2.3), подпор от нее при запланированном наполнении распространяется на 4 км вверх по течению. Площадь водосбора водохранилища – 363 км^2 (Декларация безопаснос-

Рисунок 2.1.
Нижнезырянское водохранилище.
Вид со стороны нижнего бьефа.

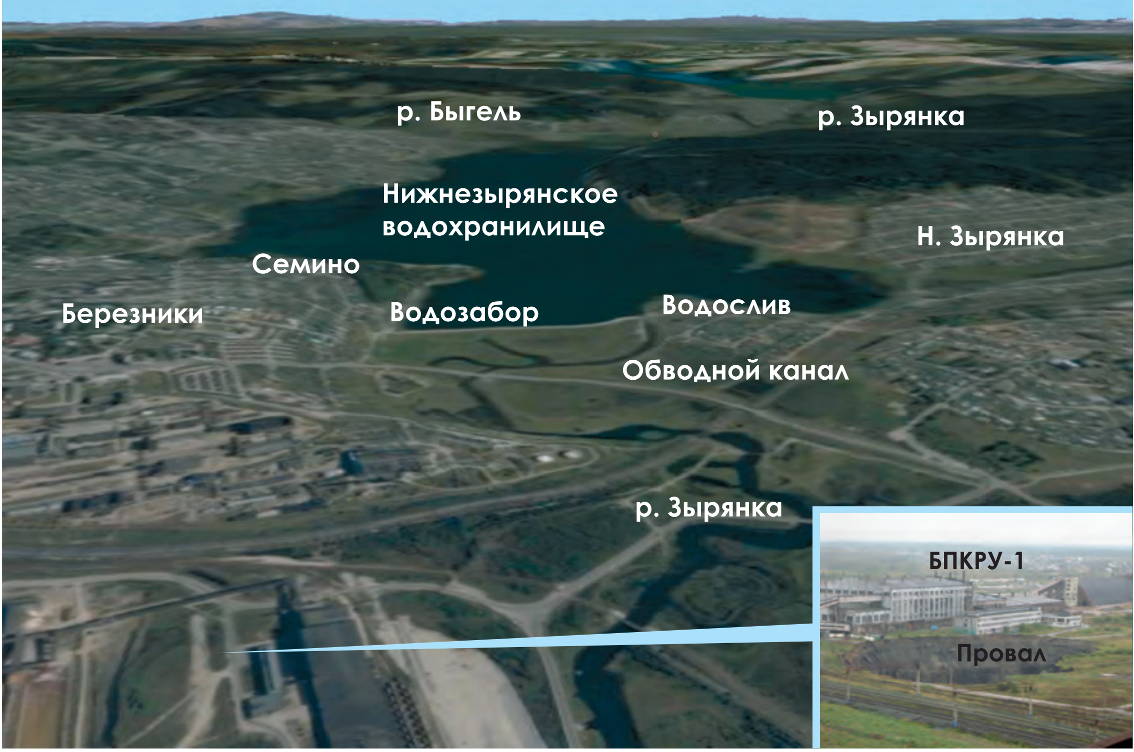


Рисунок 2.2.
Обзорная карта района работ.

ти гидротехнических…, 2001). Регулирование стока – сезонное. Постоянных гидрологических и гидрохимических наблюдений территориальной ЦГМС на Нижнезырянском водохранилище не проводится.

Основные характеристики Нижнезырянского водохранилища при запроектированном НПУ 115,5 м (Декларация безопасности гидротехнических…, 2001):

- Нормальный подпорный уровень (НПУ) – 115,5 м, абс.
- Уровень мертвого объема (УМО) – 112,5 м, абс.
- Форсированный уровень в паводок с вероятностью превышения 1% – 116,1 м, абс.
- Объем водохранилища: полный – 12,3 млн м^3, полезный – 10,1 млн м^3.
- Площадь зеркала: при НПУ – 4,35 км^2, при УМО – 2,04 км^2.
- Длина при НПУ – 4,0 км.
- Средняя ширина при НПУ – 1,0 км.
- Средняя глубина при НПУ – 2,4 м.
- Полезная отдача при сработке до УМО – 14,6 млн м^3/год.
- Санитарный попуск в нижний бьеф – 0,3 м^3/с.

Рисунок 2.3.
Вид на Нижнезырянское водохранилище:
а) с плотины; б) с устья р. Быгель.

- Максимальный сбросной расход воды в нижний бьеф в паводок вероятностью превышения 0,1% – 128 м^3/с.

Водохозяйственный баланс Нижнезырянского водохранилища при наиболее неблагоприятных условиях (маловодный 1990 г.) приведен в таблице 2.1.

Минимальные объемы вод, аккумулируемых водохранилищем, приходятся на март, в это же время фиксируются самые низкие уровни вод в водоеме.

Работу гидроузла в начале 1990-х гг. прошлого столетия регламентировал официальный документ (Основные правила использования водных..., 1989). В дальнейшем, согласно указанию главного инженера АО «Пермэнерго» от 19.02.1997 г. № 02-241/5, в связи с процессом продолжающегося оседания сооружений, вызванного подземными выработками, отметка НПУ (временная) была установлена равной 114,5 м, отметка уровня мертвого объема (УМО) – 111,5 м, площадь зеркала при НПУ – 3,86 км^2, объем водохранилища полный – 8,1 млн м^3, полезный – 5,89 млн м^3. В 2007 г. был составлен официальный документ «Акт обследования гидротехнических...», где эти цифры были уточнены, и который за-

а)

б)

крепил изменения характеристик Нижнезырянского водохранилища и параметры работы гидроузла.

В таблице 2.2 приведены основные параметры Нижнезырянского водохранилища в соответствии с официальными регламентирующими документами разных этапов эксплуатации гидроузла. Таблица отражает произошедшие изменения.

Таблица 2.1.
Водохозяйственный баланс Нижнезырянского водохранилища в маловодный год обеспеченностью 95% (на 1990 г.), млн м³, по данным (Основные правила использования водных…, 1989).

Месяц	Приходная часть			Расходная часть						Работа водохранилища					Поступление на нижележащий участок
	Поступление вод из Верхнезырянского водохранилища	Боковая приточность	Суммарный приток	Испарение	Фильтрация	Ледообразование	Водопотребление	Санитарный попуск	Сумма расходной части	Наполнение	Сработка	Холостой сброс	Объем воды на конец месяца	Уровень на конец месяца	
апрель	2,0	3,5	5,5	–	0,1	–	1,2	0,8	2,1	3,4	–	–	6,3	114,0	0,8
май	13,0	6,6	19,6	0,2	0,1	–	1,2	0,8	2,3	3,9	–	–	10,2	115,0	14,2
июнь	18,0	8,2	26,2	0,6	0,1	–	1,2	0,8	2,7	–	–	13,4	10,2	115,0	24,3
июль	1,7	1,3	3,0	0,4	0,1	–	1,2	0,8	2,5	–	–	23,5	10,2	115,0	1,3
август	0,8	0,5	1,3	0,4	0,2	–	1,2	0,8	2,6	–	1,3	0,5	8,9	114,7	0,8
сентябрь	0,8	0,3	1,1	0,3	0,2	–	1,2	0,8	2,5	–	1,4	–	7,5	114,4	0,8
октябрь	0,8	1,3	2,1	0,1	0,2	–	1,1	0,8	2,2	–	0,1	–	7,4	114,3	0,8
ноябрь	0,8	0,9	1,7	0,0	0,2	–	1,1	0,8	2,1	–	0,4	–	7,0	114,2	0,8
декабрь	0,8	0,5	1,3	–0,2	0,2	0,1	1,1	0,8	2,0	–	0,7	–	6,3	114,0	0,8
январь	0,8	0,3	1,1	–0,2	0,2	0,2	1,1	0,8	2,1	–	1,0	–	5,3	113,7	0,8
февраль	0,8	0,3	1,1	–0,1	0,2	0,2	1,1	0,8	2,2	–	1,1	–	4,2	113,3	0,8
март	0,8	0,3	1,1	–0,1	0,2	0,2	1,1	0,8	2,4	–	1,3	–	2,9	112,8	0,8
год	41,1	24,0	65,1	1,4	2,0	0,7	13,8	9,6	27,7	7,3	7,3	37,4	–	–	47,0

Таблица 2.2.
Основные параметры Нижнезырянского водохранилища.

Параметры	Проектные	В соответствии с «Правилами...»*	В соответствии с «Правилами...»**
НПУ, абс. м	115,5	115,0	114,5
ФПУ, абс. м	116,1	115,6	114,1
УМО, абс. м	112,5	112,5	111,5
Площадь зеркала при НПУ, км^2	4,35	4,4	3,86
Полный объем, млн м^3	12,3	10,2	8,1
Полезный объем, млн м^3	10,1	8,0	7,37

Примечания:
* «Основные правила использования водных ресурсов Верхнезырянского и Нижнезырянского водохранилищ на р. Зырянка» (1989 г.).
** «Правила использования водных ресурсов Верхне- и Нижнезырянских водохранилищ на р. Зырянка».

Водохранилище имеет следующие гидрологические характеристики (Акт обследования гидротехнических..., 2007):

- Среднемноголетний сток – 112,0×10^6 м^3.
- Среднемноголетний расход – 3,47 м^3/с.
- Максимальный наблюдаемый расход за период эксплуатации – 39,0 м^3/с (21.05.1990 г.).
- Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья 0,1% – 140 м^3/с.
- Расчетный объем стока весеннего половодья 0,1% – 102 млн м^3.
- Расчетный максимальный расход воды дождевого паводка 0,1% – 150 м^3/с.
- Расчетный объем стока дождевого паводка 0,1% – 40,0 млн м^3.

Пропускная способность Нижнезырянского гидроузла при НПУ 114,5 м составляет 107 м^3/с, при НПУ 114,9 м – 128 м^3/с, при НПУ 115,1 – 140 м^3/с (Акт обследования гидротехнических..., 2007).

Уровенный режим р. Зырянка в нижнем бьефе Нижнезырянского водохранилища зависит от хода уровней воды в р. Кама, которая в приустьевой части Зырянки находится в зоне переменного подпора от плотины Камской ГЭС. Во время прохождения максимальных расходов по Зырянке уровень Камы еще не достигает максимума, опережение по сравнению с Камой составляет около 15 дней. Наибольший уровень воды нижнего бьефа – 112,6 м (максимально возможный уровень подпора в пике половодья на Каме), наименьший (поверхность земли) – 110,5 м.

Ранее р. Зырянка впадала в Камское водохранилище, являющееся самым крупным водным объектом Пермского края. В настоящее время она не имеет выхода в Камское водохранилище, так как после его заполнения приустьевая часть Зырянки располагается в пределах территории с отметками ниже НПУ, защищенной от затопления ограждающими дамбами. Поступающий из водохранилища водный сток отводится по канализированному руслу к расположенным выше устья реки (занятому речным портом) городским очистным сооружениям. После смешения с хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками воды Зырянки подаются насосной станцией в Камское водохранилище через донный (рассеивающий) выпуск. В современный период р. Зырянка имеет облик, существенно отличающийся от природного.

Плотина водохранилища насыпная, однородная, укатанная. Грунтами основания являются трещиноватые мергелистые известняки. Материал тела плотины – суглинок укатанный, крепление откосов – железобетонные плиты толщиной 0,15 м, низовой откос – одерновка.

Основные характеристики плотины (Акт обследования гидротехнических…, 2007):

- отметка гребня (проектная) – 117,5 м;
- отметка гребня (фактическая минимальная по состоянию на октябрь 2003 г.) – 116,51 м;
- максимальный напор – 6,6 м;
- строительная высота – до 10 м;
- длина по гребню – 785 м, ширина – 10 м;
- ширина по подошве – 53,6 м.

Гидрохимические исследования, проведенные Пермским государственным университетом (ныне – Пермский государственный национальный исследовательский университет) в 1983 г., показали, что состав воды водохранилища преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый, однако естественная картина часто нарушается из-за загрязнения.

Гидрохимический режим вод исследуемого объекта формируется под влиянием комплекса естественных и техногенных факторов (Бачурин и др., 2010; Двинских и др., 1985; Максимович и др., 2010).

2.2. Физико-географические условия

2.2.1. Климат

Согласно СНиП 23-01-99, район расположения водохранилища относится к климатическому району IВ и характеризуется умеренно-суровой снежной зимой и умеренно-теплым коротким летом. Характеристика климатических условий дана по результатам многолетних наблюдений на метеорологических станциях г. Березники, входящих в состав государственной сети метеорологических станций и постов, действовавших в Пермской области, и других источников (Научно-прикладной справочник..., 1990; Шкляев и др., 2006; Кондратьева, 1998; Оценка возможного влияния предприятий..., 2007). Предпочтение отдавалось результатам наблюдений, проведенных в последние годы.

Температура воздуха

Среднегодовая температура +1,2°С. Самый холодный месяц – январь (среднемесячная температура –15,7°С), самый теплый – июль (среднемесячная температура +17,6°С). В таблице 2.3 представлены многолетние средние месячные температуры воздуха и среднегодовая температура по данным наблюдений за 1883–1980 гг., средние максимальные – за 1916–1980 гг., средние минимальные – за 1891–1980 гг. по метеостанции в г. Березники, дополненные соответствующими данными из «Метеорологических ежемесячников» за 1981–1995 гг. (Шкляев и др., 2006).

Таблица 2.3.
Среднемесячные и среднегодовая, средние максимальные и минимальные температуры воздуха (°С) по метеостанции г. Березники (по данным многолетних наблюдений).

Температура воздуха	Месяцы												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя месячная	–15,7	–13,5	–5,3	2,5	9,3	15,3	17,6	14,3	8,5	0,8	–6,6	–12,4	1,2
Максимальная средняя	–12,0	–9,5	–1,0	7,4	15,2	21,1	23,0	19,2	12,7	3,4	–3,9	–9,1	5,5
Минимальная средняя	–19,4	–17,3	–9,4	–1,7	4,1	10,1	12,8	10,2	5,3	–1,6	–9,2	–15,6	–2

Абсолютный минимум температур (–47°С) отмечен в январе, абсолютный максимум (+35°С) – в июле. Оттепели зимой – явление редкое и весьма кратковременное. Температура воздуха выше 0° удерживается, как правило, только в дневное время в течение нескольких часов, что не обеспечивает условий для интенсивного снеготаяния (Оценка возможного влияния предприятий…, 2007).

Техногенное преобразование подстилающей поверхности в городе и поступление тепла, источником которого являются промышленные предприятия, оказывают влияние на микроклимат территории, что может выражаться, в числе прочего, в некотором повышении городского температурного поля. Летом сказывается влияние Камского водохранилища, обусловливающего появление другой схемы теплообмена водных и воздушных масс, а также уменьшение (на фоне более высокой температуры воздуха) тепловых выбросов промышленными предприятиями, что вызывает выравнивание градиентов температур (Сопряженная инвентаризация природных ресурсов…, 1997).

Атмосферные осадки

Выпадение атмосферных осадков в пределах рассматриваемой территории, как и для Пермского края в целом, обусловлено

Таблица 2.4.
Среднемесячные и средняя годовая суммы осадков (мм).

	Месяцы												XI – III	IV – X	год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
Сумма осадков	35	27	26	36	53	78	91	80	70	65	47	37	171	473	644

Таблица 2.5.
Среднемесячные максимальные и минимальные суммы осадков (мм).

Суммы осадков	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальная средне-месячная	93,4	79,4	90,0	84,1	128,0	175,5	160,7	176,4	127,7	147,8	108,4	88,0
Минимальная средне-месячная	11,6	3,0	1,3	1,1	11,0	12,0	18,0	16,0	31,8	16,9	12,4	3,0

перемещением циклонов, поступающих с северо-запада, запада и юго-запада.

Среднегодовая сумма осадков, по данным многолетних наблюдений в г. Березники, составляет 644 мм. Распределение осадков в течение года неравномерно: большая их часть выпадает в теплый период года (73%), меньшая – в холодный (27%), что является характерным для климата Пермского края. Наибольшее количество осадков приходится на июнь-август, наименьшее – на февраль-март. Распределение осадков в течение года показано в таблице 2.4, составленной по официальным данным (Научно-прикладной справочник…, 1990), дополненным информацией из «Метеорологических ежемесячников» за 1981–1995 гг. (Шкляев и др., 2006). Среднемесячные максимальные и минимальные суммы осадков в течение года приведены в таблице 2.5 (Оценка возможного влияния предприятий…, 2007). Наименьшее количество осадков отмечается в апреле. В засушливые годы их количество может составлять в среднем в месяц всего 1,1 мм.

Приведенные выше характеристики позволяют судить лишь о многолетнем среднем режиме. Однако в отдельные годы как максимум, так и минимум суммы осадков может быть сдвинут на другие месяцы. Влияние крупных городов (Березники) сказывается на распределении осадков вследствие избыточного нагрева воздуха над городом, повышенной шероховатости территории и загрязнения воздушного бассейна. Различие в годовых суммах осадков между наветренными и подветренными окрестностями города составляет около 10% (в подветренной – больше) (Шкляев и др., 2006).

Интенсивные суточные осадки выпадают чаще всего в виде ливней, осенью – в виде продолжительных моросящих дождей, зимой – в виде снега. Число дней в году с осадками более 0,1 мм колеблется в пределах 125–200, более 10 мм – 10–12. Число дней с осадками более 20 мм невелико, в среднем – 1–3 за год (Оценка возможного влияния предприятий…, 2007).

Снежный покров

Снег на поверхности земли появляется обычно во второй половине октября, и уже в последних числах октября – начале ноября образуется устойчивый снежный покров. По данным многолетних наблюдений, в среднем он удерживается 189 дней. Его разру-

Таблица 2.6.
Число дней со снежным покровом, даты появления, образования, разрушения и схода снежного покрова.

Число дней со снежным покровом	Даты появления снежного покрова			Даты образования устойчивого снежного покрова			Даты разрушения снежного покрова			Даты схода снежного покрова		
	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
189	10 X	3 IX	15 XI	29 X	28 IX	24 XI	27 IV	6 IV	18 V	6 V	14 IV	10 IV

Таблица 2.7.
Средняя высота снежного покрова по постоянной рейке в последнюю декаду месяца (см).

Месяцы							Наибольшая за зиму		
X	XI	XII	I	II	III	IV	средняя	макс.	мин.
5	24	46	67	80	85	23	89	159	50

шение происходит чаще всего в конце апреля, а в первых числах мая – фиксируется сход. В отдельные годы даты появления, разрушения и схода могут существенно сдвигаться (табл. 2.6). Наибольшая высота снежного покрова наблюдается, как правило, в марте. Высота снежного покрова на открытых участках значительно меньше, чем в лесу или в защищенных от ветра местах. В годы, благоприятствующие накоплению снежного покрова, его наибольшая высота за зиму может составить 159 см, а в малоснежные годы – лишь 50 см. Средняя высота снежного покрова на последнюю декаду месяца приведена в таблице 2.7. Таблицы 2.6, 2.7 составлены в соответствии с данными (Научно-прикладной справочник..., 1990) ближайшей метеостанции, ведущей подобные наблюдения, расположенной в г. Чердынь.

Ветер

Ветер является одним из метеопараметров, влияющих на распространение и распределение содержащихся в воздухе загрязняющих веществ. Неустойчивое направление ветров (особенно в летнее время), наличие больших водных поверхностей (Камское и Нижнезырянское водохранилища), промышленных предприятий,

Таблица 2.8.
Повторяемость направлений ветра, в % (Шкляев и др., 2006).

Направление ветра	Месяцы												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
С	5	6	5	11	19	20	19	17	12	8	4	4	11
СВ	3	3	4	4	4	4	5	3	5	4	3	1	4
В	8	13	11	11	8	9	12	7	11	8	5	7	9
ЮВ	23	20	16	14	8	11	10	13	12	13	13	20	14
Ю	42	29	37	35	20	21	17	22	25	36	39	51	31
ЮЗ	8	11	11	13	14	9	11	10	12	14	19	10	12
З	6	9	9	6	15	11	16	16	15	10	11	5	11
СЗ	5	9	7	6	12	15	10	12	8	7	6	2	8
Штиль	7	10	6	8	6	11	18	15	9	5	3	2	8

обширная застройка влияют на циркуляцию воздуха над городом Березники и создают довольно сложное поле ветра. Согласно данным многолетних наблюдений (метеостанция г. Березники), господствующим направлением ветра в течение года является южное, заметна также роль юго-восточных и юго-западных ветров (табл. 2.8). В летние месяцы (при преобладании южных ветров) повышается повторяемость ветров северного направления, то есть с территории города в сторону Нижнезырянского водохранилища. Таблица составлена на основе обобщения наблюдений Л. С. Шкляевой за 1983–1990 гг.

Распределение скоростей ветра на рассматриваемой территории в различные сезоны года имеет определенную закономерность. По данным наблюдений на территории г. Березники (1974–1991 гг.) и дополнительной статистической обработки и анализа характеристик, полученных Л. С. Шкляевой, были сделаны некоторые выводы, упомянутые в работе М. А. Кондратьевой (Кондратьева, 1998). Зимой на окраине города (район Березниковской гидрометеостанции) ветер довольно устойчивый, его скорость изменяется от 2,0 до 3,7 м/с. В городе он слабее, обычно не более 2,5 м/с, максимальная скорость – около полудня. Весной на ГМС отмечается увеличение скорости ветра (4,0 м/с и более) и относительно ровный ход в течение суток. Характерно, что в апреле-мае в Пермском крае наблюдается наибольшая повторяемость бездождных периодов (21–24%) (Шкляев и др., 2006; Опасные явления…, 1987). Летом происходит повсеместное снижение скорости ветра до 1,5–2,5 м/с, причем в районе ГМС она выше, чем в городе. Осенью скорость ветра несколько увеличивается, особенно в ночные часы, что объясняется наличием местной бризовой циркуляции. Нижнезырянское водохранилище способствует формированию бриза (Кондратьева, 1998).

Промерзание почвы

Глубина промерзания почвы зависит от ее влажности, механического состава, высоты и плотности снежного покрова. Средняя многолетняя величина наибольшей глубины промерзания почвы составляет от 50 до 100 см. Наибольшая глубина промерзания – 60–150 см (Оценка возможного влияния предприятий…, 2007). Средняя дата первого заморозка на почве по данным многолетних наблюдений – 4 сентября, последнего – 3 июня. Продолжительность безморозного периода в среднем – 92 дня (Научно-прикладной справочник…, 1990).

2.2.2. Орография

В геоморфологическом отношении местоположение исследуемого объекта приурочено к холмисто-увалистой равнине, ее общий уклон к Каме составляет 0,005–0,009‰. Равнина рассечена овражной сетью, ручьями и реками – одной из них является р. Зырянка. Нижнезырянское водохранилище располагается в нижней части ее долины, которая здесь простирается в направлении, близком к западному.

Зырянка при естественном режиме имела в районе плотины основное русло с явно выраженными бровками шириной между ними около 30 м. Пойма реки в районе плотины и ниже имеет ширину в пределах 550 м. Выше плотины она расширяется и в районе водохранилища достигает 700 м.

После создания водохранилища русло реки и большая часть поймы были затоплены. В результате заполнения водохранилища (по проекту НПУ составлял 115,5 м) образовались 4 мелководные зоны: в районе р. Крыжевка, на Косачевском болоте, в долине р. Быгель (правый берег водохранилища), в верховье водохранилища (от р. Быгель до зоны выклинивания подпора). Две первые расположены на территории г. Березники. Проектом создания водохранилища были намечены специальные мероприятия по ликвидации одной зоны – Косачевского болота. Предполагалось применить строительство дамбы до незатопляемой отметки 114, 0 м.

Правый берег водохранилища более пологий. Наиболее пониженный участок приурочен к району Косачевского болота. Левый берег более крутой. Высота горы на левобережье – 163,4 м над уровнем моря. Переработка берегов, вызванная заполнением водохранилища, интенсивно протекала в первые годы существования искусственного водоема. В настоящее время процесс практически завершен, выработан пляжный откос.

Правый берег застроен, здесь находится г. Березники. На левом берегу – жилые поселки. В связи с этим естественный рельеф изменен, приспособлен под задачи градостроительства.

2.2.3. Гидрография

Нижнезырянское водохранилище создано на р. Зырянка, которая является правым притоком р. Кама. Водохранилище принимает воды двух притоков, это – Быгель (правый) и Крыжевка (левый). Крыжевка является небольшим ручьем, а р. Быгель – самым крупным притоком Зырянки.

На Зырянке создано два гидроузла. Помимо плотины Нижнезырянского водохранилища выше по течению находится еще одна, образующая Верхнезырянское водохранилище.

До заполнения водохранилища гидрографическая сеть участка имела рисунок, существенно отличавшийся от современного (рис. 2.4). Русло р. Зырянка было извилисто. Русло р. Быгель в приустьевой части находилось довольно близко от Зырянки. Этот пониженный участок после заполнения водохранилища до проектной отметки покрылся водой, и устье р. Быгель сместилось на северо-восток на расстояние более километра (рис. 2.4).

В питании Зырянки определенную роль имеют подземные воды, о чем свидетельствует значительное количество родников по берегам и низкая температура воды (Максимович и др., 2012). По данным наблюдений 1949 г., в естественных условиях в июне максимальная температура воды была 17°С, среднемесячная – 14,7°С, минимальная – 5°С (Техническое водоснабжение…, 1958).

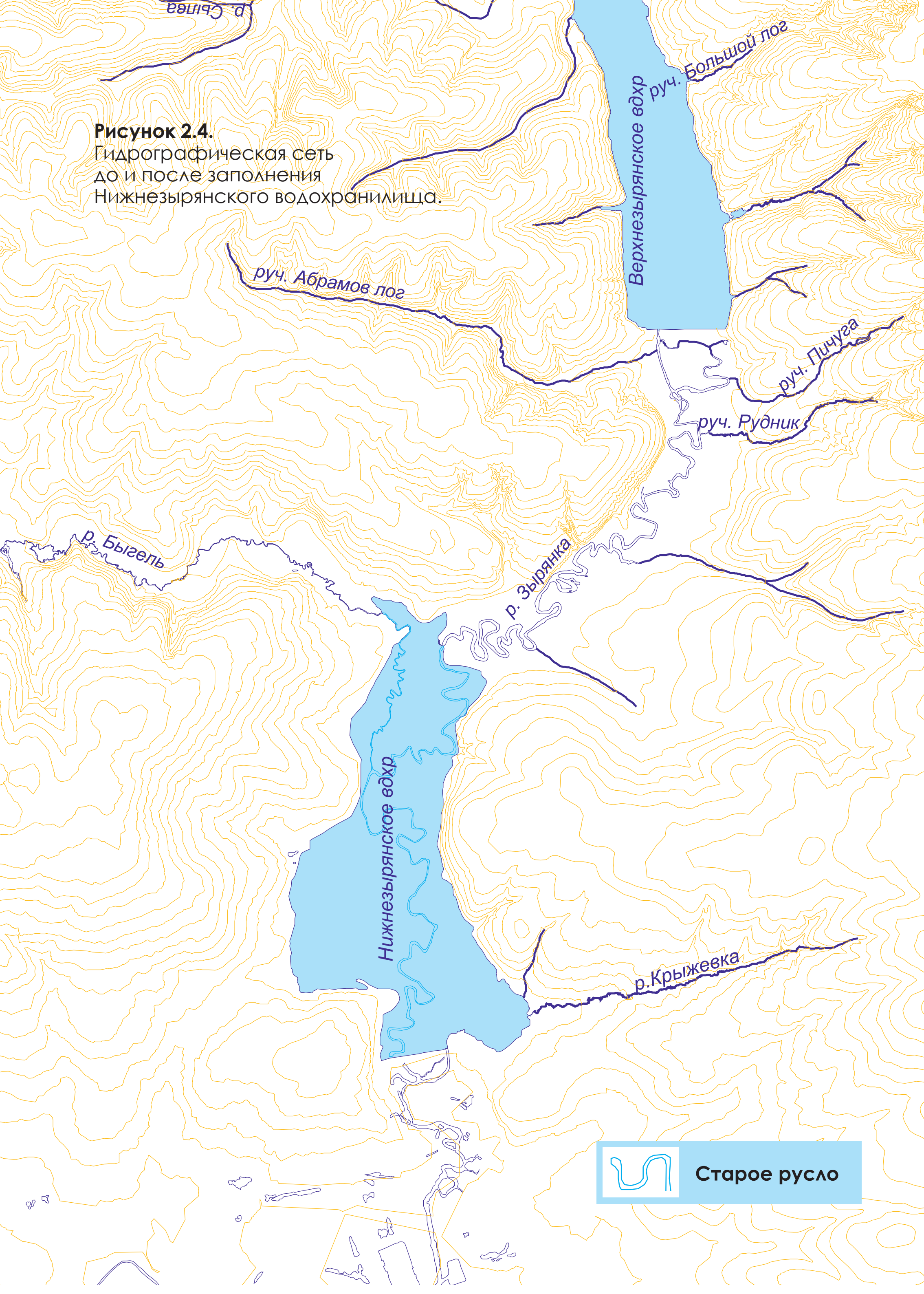


Рисунок 2.4.
Гидрографическая сеть
до и после заполнения
Нижнезырянского водохранилища.

В таблице 2.9 приведены результаты расчленения гидрографов стока, характерные для рек рассматриваемой территории (Оценка возможного влияния предприятий…, 2007).

Гидрохимический режим Зырянки формируется под влиянием взаимодействия естественных и техногенных факторов (Бачурин и др., 2010; Бельтюков, 1996). Река расположена в пределах крупнейшего Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Богатые природные ресурсы территории обусловили появление на берегах реки крупного промышленного центра – г. Березники. В настоящее время рассматриваемый водный объект по ряду показателей не соответствует предельно допустимым нормам. Филиалом ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» в г. Березники в 2003–2007 гг. были зафиксированы устойчивые превышения ПДК по минерализации и хлор-иону (табл. 2.10). На протяжении этого периода отмечены также превышения ПДК по содержанию железа, марганца, алюминия, нефтепродуктов, pH.

Результаты контроля качества воды Нижнезырянского водохранилища в 2003–2007 гг. (по данным филиала ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» в г. Березники) показывают превышения ПДК по микробиологическим показателям на протяжении всего периода. В среднем превышение составляет 1,4–15,7 раз. Наибольшее превышение ПДК зафиксировано в 2003 г. (до 23,5 раза), после чего к 2006 г. наблюдается снижение уровня за-

Таблица 2.9.
Результаты расчленения гидрографов стока по питанию.

Поверхностная и подземная составляющие стока в отдельные сезоны и за год (в % соответственно от сезонного и годового стока)												Соотношение отдельных источников питания рек	
Весеннее половодье				Летне-осенний сезон			Зима		Год				
поверхностный сток		подземный сток	доля сезонного стока в годовом, %	поверхностный сток (дождевые воды)	подземный сток	доля сезонного стока в годовом, %	подземный сток	доля сезонного стока в годовом, %	поверхностный сток		подземный сток	доля стока (в % от годового)	
снеговые воды	дождевые воды								снеговые воды	дождевые воды		снеговых вод	дождевых вод
82	4	14	65	55	45	25	100	10	56	**20**	24	75	25

Таблица 2.10.
Превышение ПДК санитарно-химических показателей качества воды Нижнезырянского водохранилища за 2003–2007 гг. (в долях ПДК).

Год	Показатели						
	pH	Сухой остаток	Хлориды	Железо	Марганец	Нефтепродукты	Алюминий
2003		1,02–1,1	1,02–1,3				1,1–2
2004	1,7	1,4–1,8	1,3		2,1	0,5	
2005		1,06–2	1,3–2	1,17			
2006		1,1–1,12	1,57–1,63	2,2			
2007		1,2–1,7	1,1–1,4	1,2–1,37	3,4–3,7	1,1	1,2

грязнения (до 1,3–2,5 ПДК) и значительное увеличение в 2007 г. (до 1,4–17,9 ПДК). По паразитологическим показателям превышений уровня ПДК за исследуемый период не зафиксировано.

2.3. Геологическое строение

2.3.1. Тектоника

В тектоническом плане рассматриваемый участок находится в центральной части Соликамской впадины – крупной синклинальной структуры в осевой части Предуральского краевого прогиба. В пределах впадины прослеживаются положительные структуры – валы: Камско-Вишерский, Березниковский, Харюшинский, Игумский. К одному из валов – Березниковскому – приурочена территория, занятая Нижнезырянским водохранилищем. Вал осложнен локальной положительной структурой – Березниковской. В пределах положительных структур в связи со смятием пластов возникают системы трещин растяжения. По таким трещинным зонам минерализованные воды глубоких горизонтов (рис. 2.5) поднимаются к поверхности. К местам пересечения положительных структур эрозионными врезами приурочено самое высокое положение природных минерализованных вод и часто отмечаются зоны повышенной водообильности. Нижнезырянское водохранилище как раз находится в таком месте: здесь Березниковский вал пересекает эрозионный врез р. Зырянка.

Расположение изучаемого участка в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей вносит ряд особенностей в тектоническое строение территории и оказывает влияние на состав подземных вод. В своде Березниковского вала, как и в пределах других положительных структур, развивается соляной карст (Горбунова и др., 1992). Верхние слои солей из нижней час-

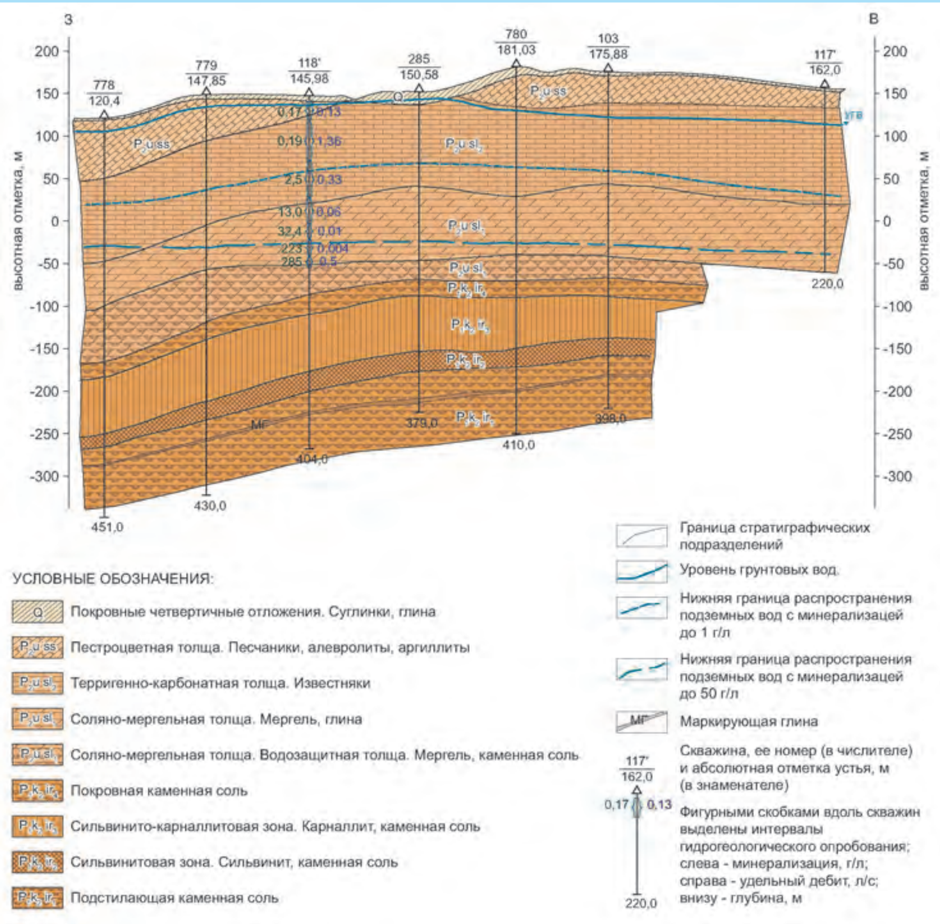


Рисунок 2.5.
Характерный геолого-гидрогеологический разрез центральной части ВКМКС (Белкин, 2010).

ти соляно-мергельной толщи или покровной соли выщелачиваются подземными водами, что приводит к формированию крепких рассолов, которые при наличии путей вертикальной миграции могут подняться в верхнюю зону и, смешавшись с пресными водами, засолить их. Возникающие полости выщелоченных пород имеют тенденцию компенсироваться прогибанием покрывающих пород с развитием усилий, направленных на их растяжение (Болотов, 2000). Нижнезырянское водохранилище находится в русле древней долины Зырянки, которая сформировалась в днепровское время и представляет собой древнее образование трогообразной формы, не претерпевшее в последующее время существенных изменений. Она простирается в широтном направлении на расстояние более 15 км, пересекает меридиональный структурный план и открывается в камскую геоморфологическую депрессию (Геологическое доизучение..., 1992).

2.3.2. Стратиграфия, литология

Геологическое строение территории хорошо изучено главным образом в местах детальной разведки калийных солей.

Кристаллический фундамент гранито-гнейсового состава (предположительно архейского возраста) залегает на глубинах 4–5 км с общей тенденцией погружения к востоку. В строении осадочного чехла участвуют отложения протерозоя, среднего и верхнего палеозоя, кайнозоя. Они представлены терригенными отложениями венда, преимущественно карбонатными образованиями девонского и каменноугольного возраста, а также терригенными и карбонатными отложениями пермской системы. Для нас наибольший интерес представляет верхняя часть нижнего отдела пермской системы, а также четвертичные породы, которые их перекрывают (рис. 2.5).

К нижнему отделу пермской системы приурочены отложения каменных и калийно-магниевых солей, выделенные в березниковскую свиту, состоящую из двух толщ: глинисто-ангидритовой и соленосной. Последняя подразделяется на подстилающую и каменную соль, сильвинитовую и сильвинито-карналлитовую пачки и покровную каменную соль, верхняя часть которой вскрыта практически всеми разведочными скважинами на соль, пробуренными в пределах ВКМКС. В составе нижнепермских отложений мощная толща галогенных отложений занимает особое место. Она составляет уникальное по запасам месторождение калийных солей. Роль соляной толщи велика не только как важного природного ресурса, но и как компонента природной среды, который во многом определяет сложное строение всего Верхнекамского региона. Соляная толща, являясь надежным водоупором, разделяет подземные воды на два гидрогеологических этажа: надсолевой и подсолевой.

Нижнепермские отложения в рассматриваемом районе представлены соликамским горизонтом уфимского яруса, который подразделятся на соляно-мергельную толщу (СМТ) – нижнесоликамские отложения и терригенно-карбонатную толщу (ТКТ) – верхнесоликамские отложения. Соляно-мергельная толща в пределах ВКМКС имеет повсеместное распространение, но обычно перекрыта вышележащими отложениями различной мощности. В пределах ВКМКС отмечается несколько выходов на поверхность (точнее, под четвертичные отложения) пород СМТ. Один из них (Березниковский) – в районе Нижнезырянского водохранилища. Участок выхода приурочен к сводовой части Березниковского вала. Отложения соляно-мергельной толщи представлены в основном мергелями, аргиллитами, глинами, чередующимися в разрезе и фациально замещающими друг друга. Подчиненное значение имеют прослои и линзы каменной соли. Характерной особенностью является загипсованность.

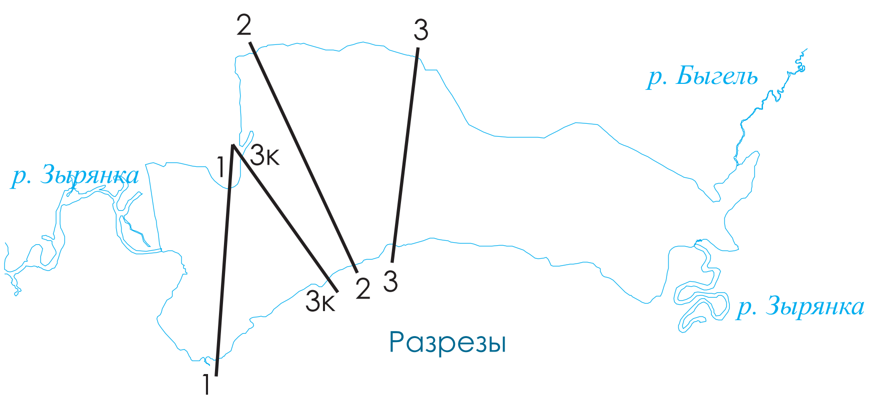
Отложения терригенно-карбонатной толщи в пределах южной части ВКМКС распространены наиболее широко. Сложена она известняками, мергелями, песчаниками, алевролитами. Для верхней части разреза наиболее характерны известняки, мергели; для нижней – алевролиты, песчаники. К отложениям ТКТ приурочены основные запасы пресных подземных вод региона. Местная гидросеть прорезает долинами в большинстве своем именно эти отложения, и литологический состав последних во многом определяет природный гидрохимический облик рек. Отложения ТКТ развиты и в районе Нижнезырянского водохранилища. Распространенные на водораздельных пространствах южной части ВКМКС шешминские (или пестроцветные) отложения уфимского яруса, в районе Нижнезырянского водохранилища выклиниваются (Кудряшов, 2001).

Отложения пермской системы повсеместно перекрыты чехлом четвертичных образований. Четвертичные делювиальные покровные отложения развиты на междуречьях. Аллювиальные четвертичные отложения распространены в долине Камы, а также в долине ее притока – Зырянки. Наибольшую мощность аллювий имеет в долине Камы, но его мощность в долинах некоторых небольших рек также может быть довольно значительной. По данным ближайших к рассматриваемому объекту скважин максимальная мощность четвертичных отложений на побережье Нижнезырянского водохранилища достигает 16 м.

Ложе водохранилища (русло р. Зырянка и надпойменные террасы) преимущественно сложено суглинком, супесью, торфом; реже – глиной. Торфяники отмечаются в зоне затопления на правобережной части долины Зырянки (Косачевское болото). Имеются линзы погребенного торфа. На рисунке 2.6 приведены подробные геолого-литологические разрезы чаши водохранилища по данным изысканий, проведенных Ленинградским отделением треста «Теплоэлектропроект» до создания водохранилища в 1948 г.

Мощность четвертичных отложений весьма неравномерна. В отдельных местах она может существенно возрастать – до 39 м (Болотов, 2000; Сопряженная инвентаризация природных..., 1998).

Рисунок 2.6.
Геолого-литологические разрезы чаши водохранилища
(по данным изысканий).



Условные обозначения

Растительный слой, торф слаборазложившийся (почти не разложившийся), желто-бурый водонасыщенный

Аллювиальные отложения 1-й надпойменной террасы $Q^{al\ I}$

Суглинок средний буроватый, с поверхности бурый, слабоплотный и влажный, почти рыхлый. Ниже уровня грунтовых вод синевато-серый плотный, влажный, пластичный, с редкими тонкими прослойками пылеватого песка и торфянистыми примазками

Суглинок тяжелый пылеватый, синевато-серый, плотный, влажный, пластичный, редко текучепластичный с частыми тонкими прослойками пылеватого песка и хорошо разложившегося торфа

Глина того же типа

Торф (погребенный) темно-коричневый, иногда рыхлый, влажный, с редкими растительными остатками, тонкими прослойками суглинка и глины

Супесь темно-серая очень мелкозернистая, пылеватая, сильно глинистая, очень влажная, иногда водонасыщенная

Аллювиальные отложения 2-й надпойменной террасы $Q^{al\ II}$

Супесь пылевато-глинистая, иногда сильно глинистая, желтовато-коричневая, от слабовлажной до водонасыщенной

Песок очень мелкозернистый пылевато-глинистый, иногда сильно глинистый, темно-серый, с незначительной примесью гравия и гальки – до 10%, водонасыщенный. При бурении дает водонапорную пробку высотой от 0,6 до 2,0 м

Гравий глинисто-песчаный, иногда сильно глинистый с значительным количеством гальки и кристаллических пород – до 30%, водонасыщенный

Галечник гравелистый с примесью разнозернистого глинистого песка, водонасыщенный

Суглинок бурый пылевато-песчаный, плотный, влажный (в виде прослоев и линз)

Делювиальные и переотложенные флювиогляциальные отложения $Q^{al+\Phi g}$

Глина и суглинок тяжелый, бурые, довольно плотные, с щебнем коренных пород, книзу известковистые

Песок очень мелко зернистый, пылеватый, сильно глинистый

Коренные отложения Кунгурского яруса Пермской системы $P^{kg\ VI}$ и $P^{kg\ V}$

Известняк желтовато-серый, тонкослоистый, плотный, трещиноватый, с прослойками глины и мергеля такого же цвета (известково-мергелистая плитняковая толща)

Глина темно-серая синеватая, мергелистая, очень плотная с прослоями мергеля и известняка того же цвета (глинисто-мергелистая толща)

108,68 уст
апрель 42г.

Установившийся уровень подземных вод
Дата замера

Встретившийся уровень подземных вод

Граница между четвертичными и коренными отложениями

Граница между отложениями первой и второй надпойменных террас

Рисунок 2.6.
Разрез по линии 1.

левый берег

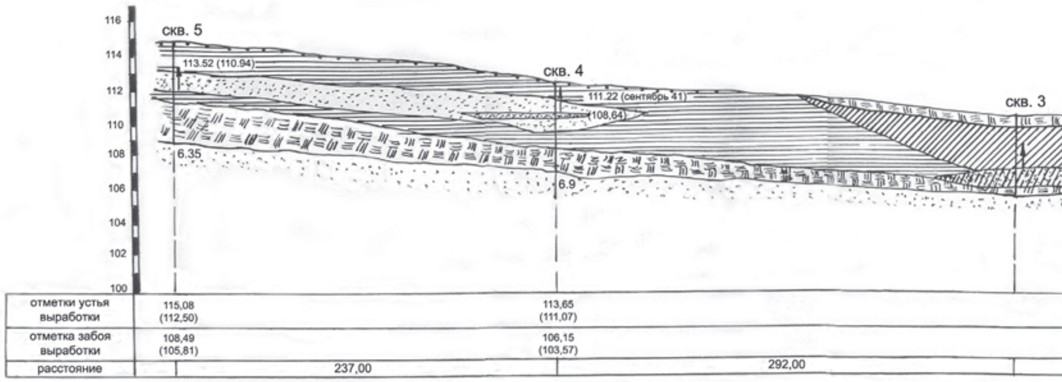
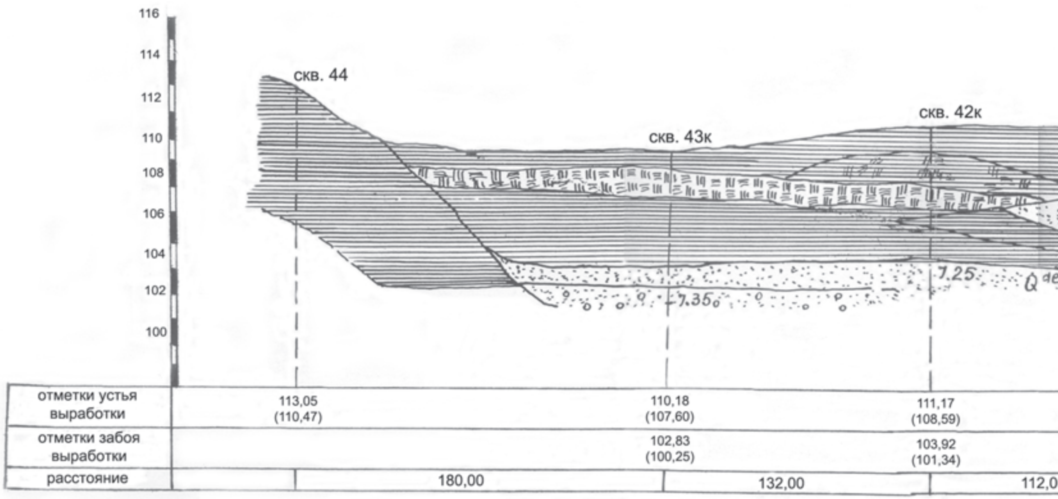
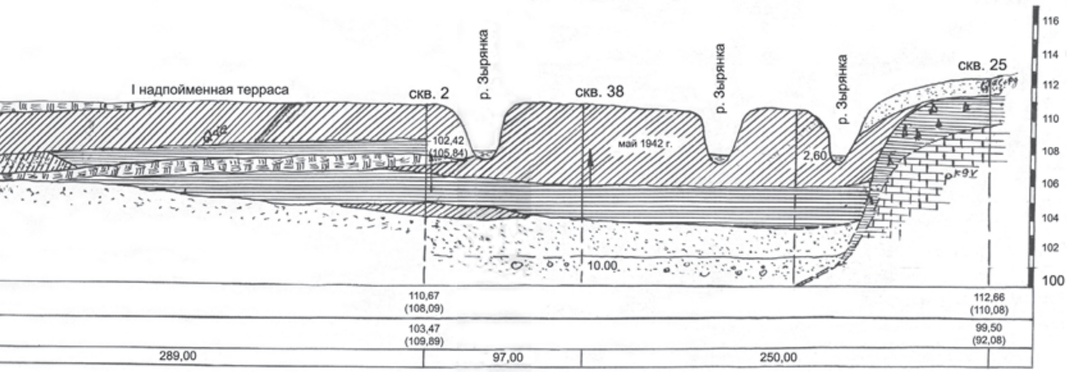


Рисунок 2.6.
Разрез по линии 3к.

левый берег



правый берег



правый берег

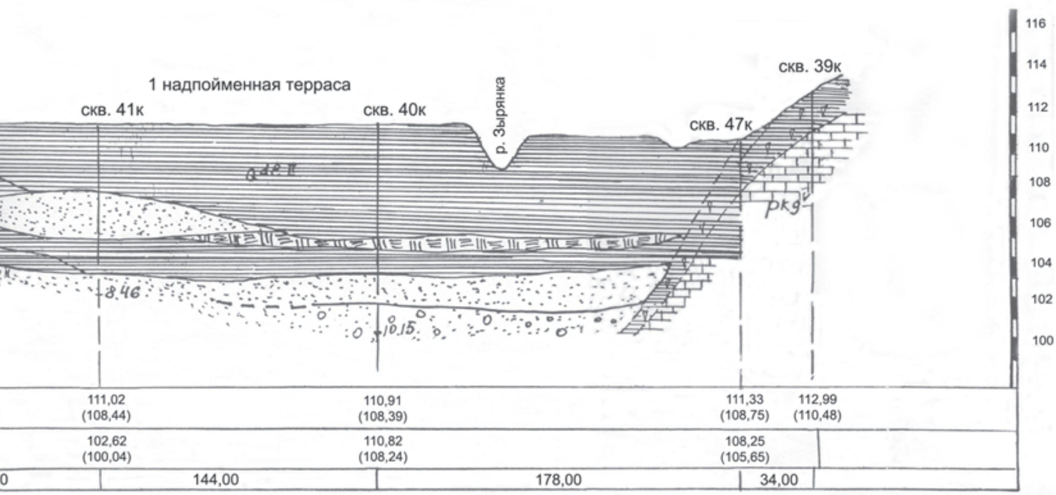


Рисунок 2.6.
Разрез по линии 2.

левый берег

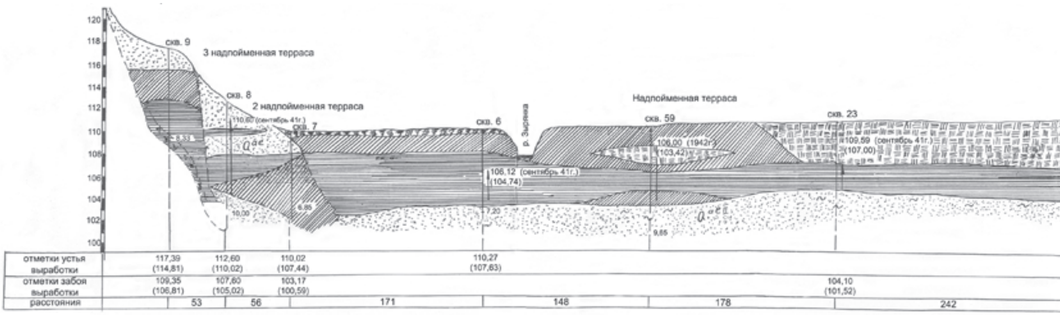
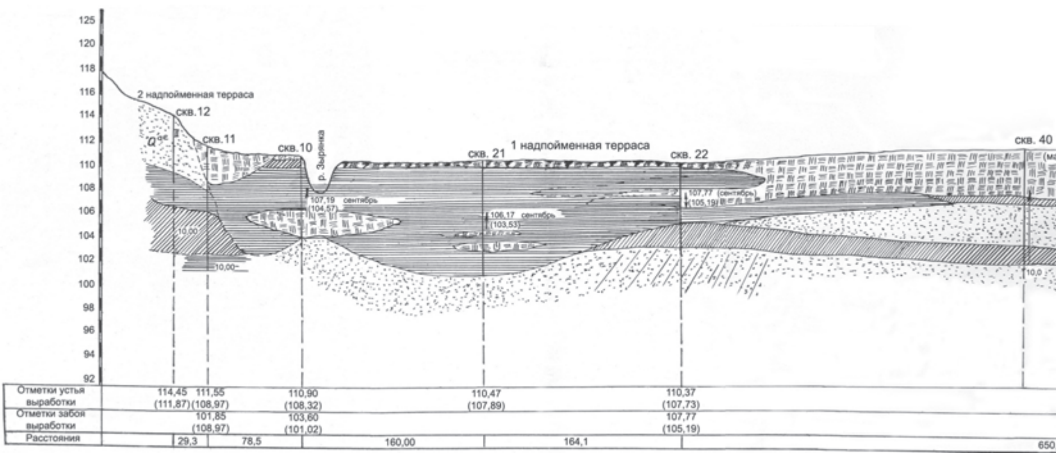
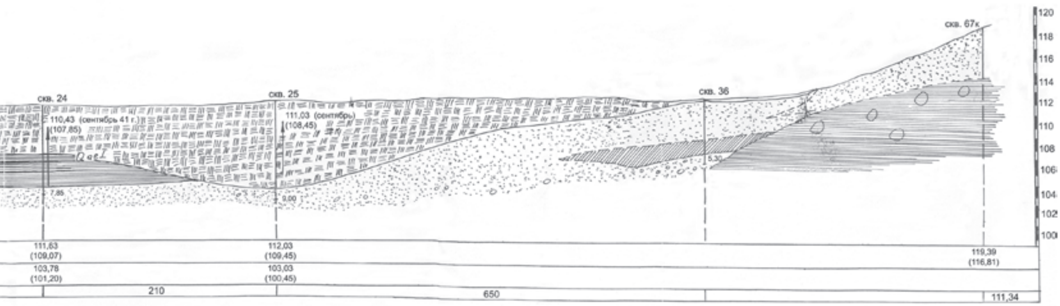


Рисунок 2.6.
Разрез по линии 3.

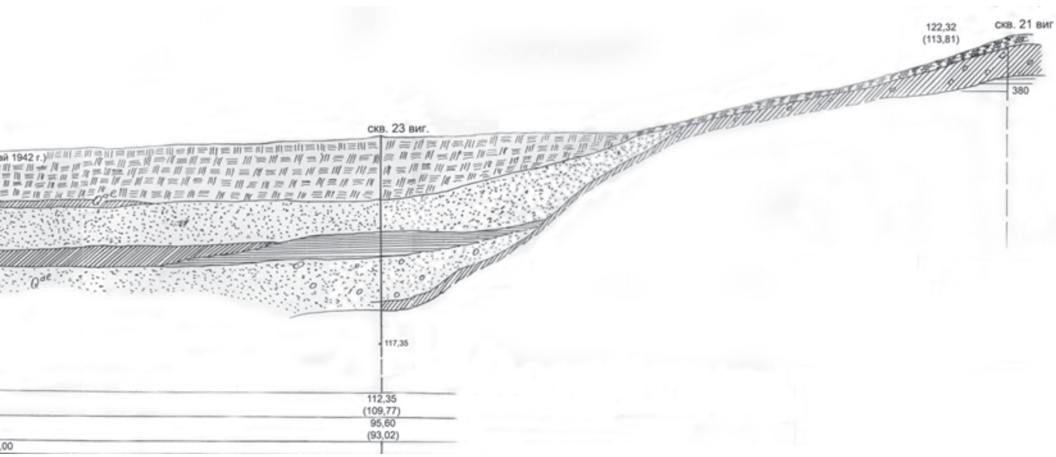
левый берег



правый берег

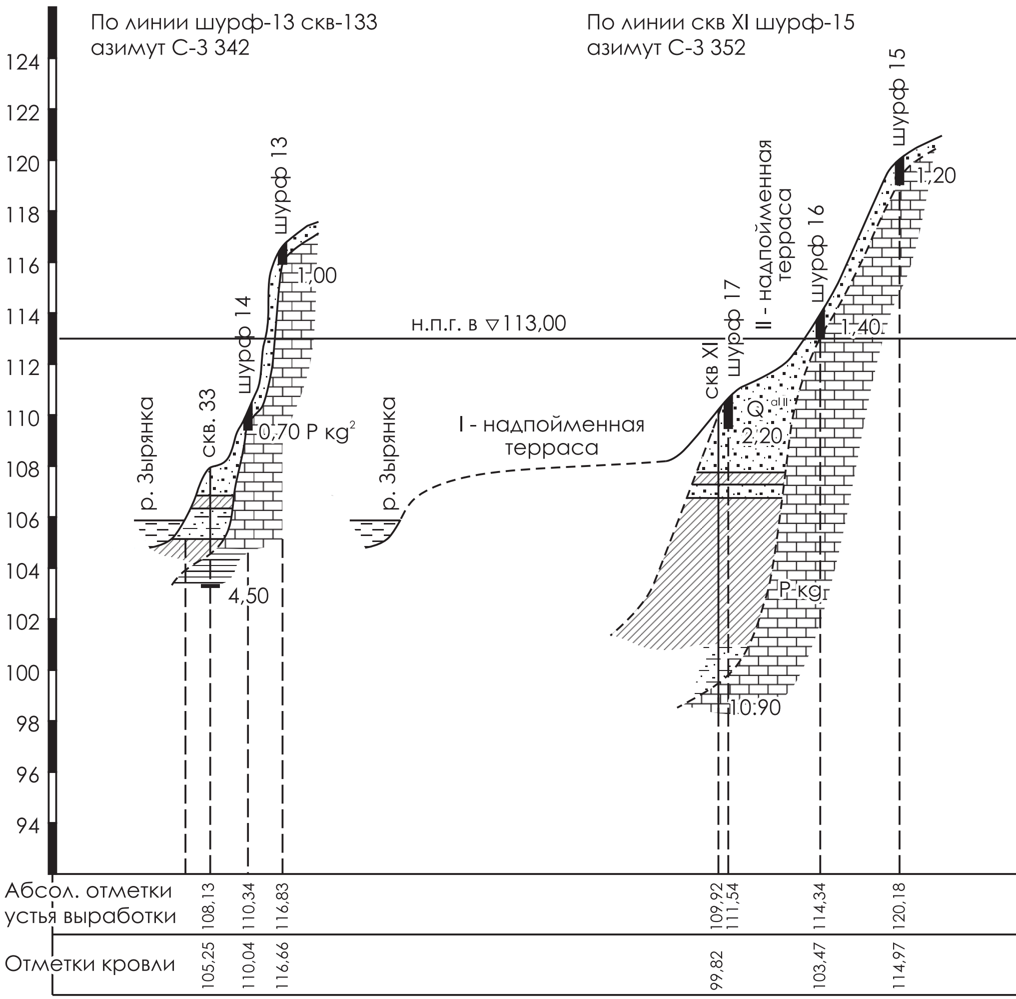


правый берег



Вскрытая мощность рыхлых отложений на надпойменных террасах долины р. Зырянка – до 14 м. Толщина отложений снижается к бортам долины. В некоторых местах по борту мощность четвертичных отложений составляет менее 1 м. Пример такой ситуации приведен на рисунке 2.7.

По некоторым данным, известняки, постилающие четвертичные отложения малой мощности, подвержены карсту. По-



этому «…всякие искусственные или естественные нарушения верхнего покрова недопустимы, так как немедленно повлекут за собой усиленную фильтрацию и карстообразование, что, в свою очередь, может повлечь еще худшие последствия, а именно: полная сработка водохранилища» (Техническое водоснабжение…, 1958).

По нашему мнению, указанные процессы маловероятны.

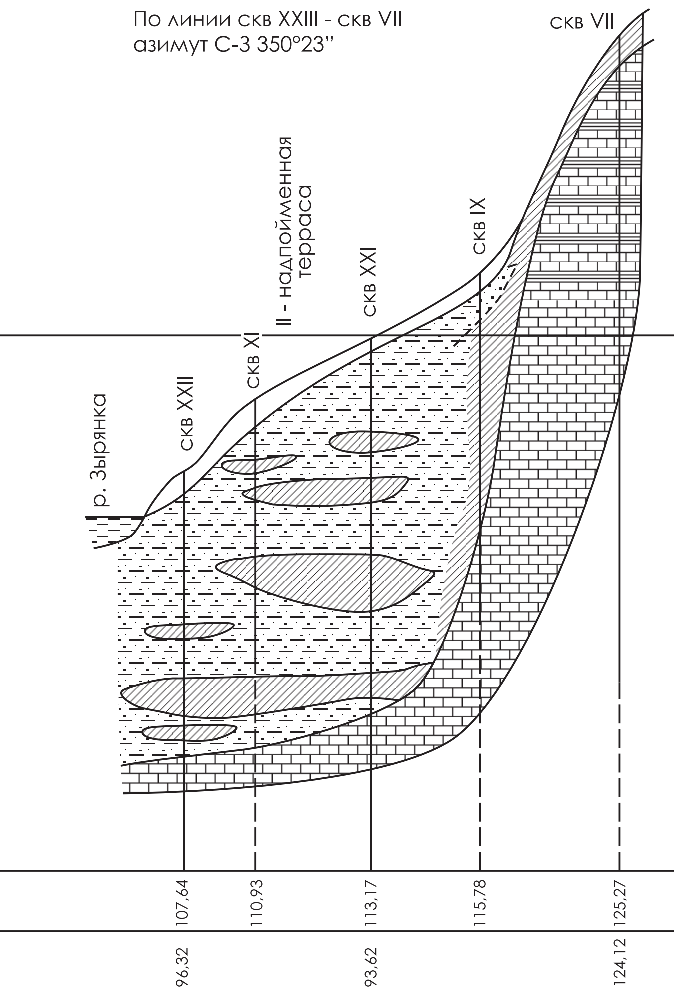


Рисунок 2.7. Поперечные геолого-литологичекие разрезы склона водохранилища.

2.3.3. Гидрогеология

На гидрогеологические условия формирования подземных вод района Нижнезырянского водохранилища оказывают влияние геологические и структурно-тектонические особенности территории: наличие Березниковского вала, выклинивание шешминских и частично верхнесоликамских отложений, выход на поверхность нижнесоликамских пород, присутствие в разрезе толщи галогенных пород. В соответствии с принятым стратиграфическим принципом в пределах рассматриваемого участка выделяются три водоносных комплекса: четвертичных отложений, верхнесоликамский и нижнесоликамский (Гидрогеология СССР…, 1972; Гидрогеологическая карта СССР…, 1975).

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений

Развит в долине р. Зырянка. Условия залегания и литология определили здесь крайне низкую водообильность четвертичных отложений. При опробовании структурных скважин, пробуренных на побережье водохранилища, заметных водопроявлений в четвертичных отложениях отмечено не было. Родников, связанных с аллювиальными четвертичными отложениями, также не зафиксировано (Гидрогеологическая карта СССР…, 1975). Четвертичные отложения в районе Нижнезырянского водохранилища не имеют постоянного водоносного горизонта, но иногда содержат сезонную верховодку при наличии в разрезе достаточно выдержанного водоупорного слоя глин. Основные ресурсы подземных вод четвертичных отложений приурочены к низким террасам р. Кама (за пределами рассматриваемого участка). По разрезу подземные воды сконцентрированы в нижележащих верхнесоликамских отложениях.

Отложения водоносного комплекса терригенно-карбонатной толщи (верхнесоликамский водоносный горизонт)

Широко распространены в долине р. Зырянка и на сопредельных территориях (рис. 2.8). Исключением является центральная часть Нижнезырянского водохранилища и небольшой участок южнее дамбы. Здесь отложения терригенно-карбонатной толщи выклиниваются, и на поверхность выходят породы нижнесоликамского комплекса.

В отложениях ТКТ сосредоточены основные запасы пресных подземных вод региона. Водовмещающими породами являются известняки, мергели, песчаники; водоупорами – глины и глинистые алевролиты. Характерны частые фациальные изменения литологического состава по простиранию слоев и по разрезу. Литологическая неоднородность пород обусловила разделение ТКТ на две части: верхнюю – известняково-песчаниковую и нижнюю – известняково-мергелистую.

Выше эрозионных врезов циркулируют трещинно-грунтовые, обычно безнапорные воды. Ниже местных эрозионных врезов развиты напорные трещинно-пластовые воды. О напорном характере горизонта свидетельствует наличие восходящих родников, самоизливы из скважин. В ходе проведения гидрогеологической съемки масштаба 1:50000 (Отчет о комплексной гидрогеологической…, 1996) в верхней части Нижнезырянского водохранилища в районе д. Суханово был выделен участок самоизлива подземных вод (рис. 2.8).

В долине Зырянки, как и в долинах многих других рек ВКМКС, верхнесоликамский горизонт в той или иной мере имеет гидравлическую связь с поверхностными и грунтовыми водами (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998). Гидравлическое взаимодействие подземных вод верхне- и нижнесоликамского водоносных комплексов затруднено, но на локальных участках гидравлическая связь не исключена (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998). В естественных условиях такими участками могут быть очаги разгрузки подземных вод. Нарушение природной изолированности горизонтов, возможно, связано с перетоками по стволам скважин в случае нарушения герметичности.

Питание комплекса осуществляется преимущественно за счет атмосферных осадков, а также перетока вод из нижележащих отложений. Разгрузка происходит в долинах рек Зырянка, Быгель и субаквальным путем, что подтверждается визуальными наблюдениями и данными гидрометрии (Гидрогеологическая карта СССР…, 1975). Сток подземных вод, залегающих выше местных базисов дренирования, формируется под дренирующим воздействием местной гидрографической сети. Трещинно-пластовые воды верхнесоликамского комплекса ВКМКС имеют тенденцию движения на запад, в сторону осевой части Соликамской впадины (Гидрогеологическая карта СССР…, 1975). На рисунке 2.6 показано направление движения подземного потока комплекса в сторону и вдоль долины р. Зырянка.

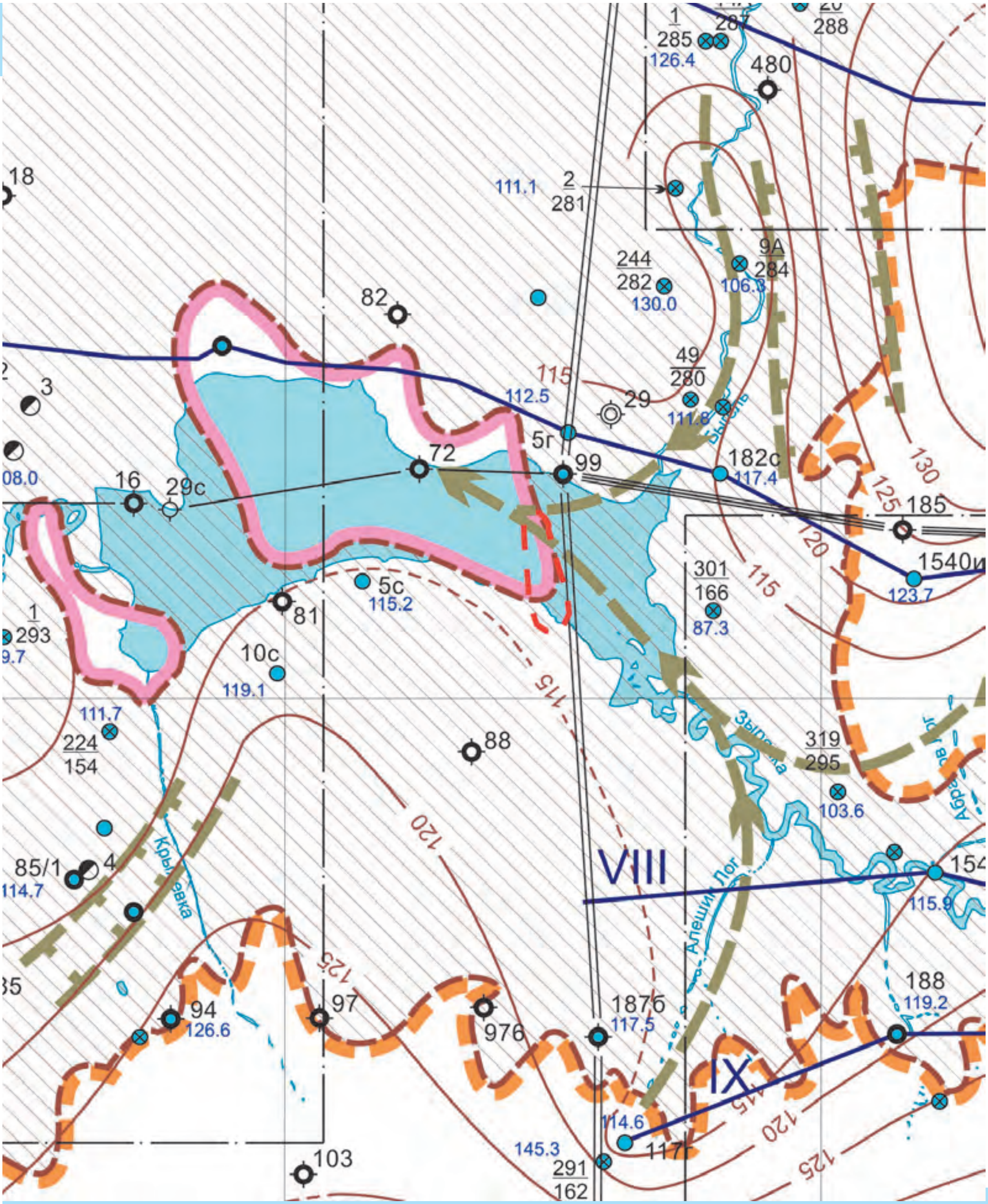


Рисунок 2.8.
Схематическая карта гидропьезоизогипс верхнесоликамского водоносного горизонта.

Водообильность комплекса неравномерна, наиболее высока она на участках повышенной трещиноватости, приуроченных к Березниковскому валу. По результатам опробования скважин различного назначения, пробуренных на побережье Нижнезырянского водохранилища, удельные дебиты составляли 3–20 л/с (Сопряженная инвентаризация природных..., 1998). Дебиты родников, изученных при проведении гидрогеологических съемок масштаба 1:200000, 1:50000, изменялись в широких пределах: 0,5–20 л/с (табл. 2.11). Максимальный дебит был отмечен в восходящем род-

Условные обозначения

124	Разведочные на соль скважины
180с	Структурные скважины
110г	Гидрогеологические скважины
1543и	Специальные инженерно-гидрогеологические скважины
128 / 125	Разведочные скважины, разведочно-эксплуатационные на воду, наблюдательные режимной сети: в числителе – номер, в знаменателе – порядковый номер по гидрогеологическому каталогу
131.2	Расчетная абсолютная отметка приведенного пьезометрического уровня подземных вод (м) с минерализацией более 10 г/л
137.1	Абсолютная отметка статического уровня подземных вод (м) с минерализацией менее 10 г/л
120	Пьезогипсы, характеризующие естественный режим подземных вод и их абсолютные отметки
	Зоны повышенного градиента уровней нижнесоликамского водоносного горизонта
	Направление основного движения потока подземных вод
	Контуры распространения отложений шешминской свиты
	Контуры выходов на поверхность отложений соляно-мергельной толщи (нижнесоликамского водоносного горизонта P_1sol_1), по материалам Г. В. Харитонова, 1992 г.
	Площади выходов на поверхность отложений терригенно-карбонатной толщи верхнесоликамского водоносного горизонта (P_1sol_2), по материалам Г. В. Харитонова, 1992 г.
	Участки самоизлива подземных вод, В. А. Балдин, 1996 г.

Таблица 2.11.
Характеристика химического состава подземных вод верхнесоликамского водоносного комплекса, разгружающихся в долине р. Зырянка.
По данным: Гидрогеологическая карта СССР..., 1975; Отчет о комплексной гидрогеологической..., 1996.

№ родника и тип	Место-положение	Дата опробования	Дебит, л/с	pH	Содержание ионов, мг/дм³									Минерализация мг/дм³
					HCO_3	SO_4	Cl	NO_2	NO_3	CO_3	Ca	Mg	Na+K	
73 восх.	Правый берег водохранилища, д. Быгель	04.08 1974	6,0	7,5	195,2	382,6	23,6	сл.	2,0	24,0	139,6	47,7	40,5	855,6
66 нисх.	Правый берег водохранилища, д. Суханово	04.08 1974	1,0	7,5	244,0	17,3	10,4	0,05	12,0	9,0	62,1	12,2	23,9	390,0
519 нисх.	Правый берег водохранилища, южная окраина д. Быгель	15.06 1991	Σ10	7,2	201,0	684,0	819,0	0,005	0,3	0,0	481,0	168,0	72,0	2460,0
521 нисх.	Правый берег р. Зырянка, западная окраина д. Суханово	15.06 1991	5,0	7,6	232,0	33,0	43,0	0,0	0,0	0,0	84,0	20,0	5,0	430,0
563 нисх.	Левый берег водохранилища, 150 м от п/л «Солнечный»	19.07 1991	0,5	7,0	183,0	123,0	436,0	0,005	0,2	0,0	156,0	54,0	130,0	1110,0

нике, расположенном в верхней части Нижнезырянского водохранилища в районе д. Суханово, родник с минимальным дебитом расположен на левобережье водохранилища (зона выклинивания отложений ТКТ).

В естественных условиях для верхнесоликамского водоносного комплекса региона в целом были характерны пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией 0,2–0,5 г/л. На отдельных участках эта закономерность нарушалась в связи с выщелачиванием гипса в нижних слоях и особенностями структурно-тектонического строения, которые обусловливают подток сульфатных и хлоридных вод из нижних горизонтов. Местоположение Нижнезырянского водохранилища является одним из таких участков.

Над соляным поднятием в сводах Березниковского вала (рис. 2.5) отмечается появление минерализованных вод на небольших глубинах, что связано с подтоком природных рассолов по трещинным зонам в сводах поднятий к поверхности. На участках пересечения вала эрозионным врезом долины р. Зырянка происходит интенсификация подтока рассолов, и здесь наблюдается самое высокое положение минерализованных вод. При опробовании скважин, расположенных на левом берегу в средней части Нижнезырянского водохранилища, в 1960 г. было отмечено аномальное для верхнесоликамского комплекса региона явление: из интервалов на глубинах около 100 м были получены хлоридно-натриевые воды с минерализацией 11,3–17,8 г/л (интервалы опробования включали верхнесоликамские отложения и верхнюю часть нижнесоликамских отложений). На родниковый сток структурно-тектонические особенности территории обычно не накладывают своего влияния. Исключением к сказанному является наличие в двух родниках, расположенных на расстоянии менее 1 км друг от друга, подземных вод различного состава. Опробование родников в приустьевой части р. Быгель (впадает справа в Нижнезырянское водохранилище), проведенное в 1974 г., показало наличие в одном из родников гидрокарбонатно-кальциевых вод с минерализацией 0,2 г/л, в другом – сульфатно-кальциевых с минерализацией 0,8 г/л. При опробовании второго родника в 1991 г. была зафиксирована минерализация 2,5 г/л и повышенное содержание хлоридов, сульфатов и кальция. Результат химического анализа первого родника типичен для территории, второго – аномален, что связано со структурно-тектоническими особенностями, на которые в настоящее время накладывается техногенная нагрузка (наличие скважин с негерметичными колоннами).

Освоение территории (бурение скважин различного назначения, строительство, эксплуатация запасов пресных подземных вод) наложило отпечаток на гидрохимические характеристики вод. В таблицах 2.11, 2.12 приведен химический состав подземных вод комплекса по данным опробования ближайших к водоему родников и скважин. Из таблиц видно, что состав вод отличается разнообразием. Причинами тому являются: уменьшение промытости

Таблица 2.12.
Характеристика водоносных комплексов, распространенных в долине р. Зырянка (Нижнезырянское водохранилище), по результатам опробования скважин.

№ скважины	Год бурения	Глубина скв., м / абс. отметка, м	Характеристика водоносного горизонта				
			Интервал опробования (водоносный комплекс)	Статический уровень / абс. отметка, м	Удельный дебит, л/с	Минерализация (г/л)	Тип воды
182с	1983	181,2 / 132,3	**16–56,4 (P_1sol_2)** 72,0–89,5 (P_1sol_2+sol_1) ***90–125 (P_1sol_1)***	**14,93 / 117,4** 14,7 / 117,6 ***15,7 / 116,6***	**7,2** 12 ***0,5***	**0,4** 2,8 ***17***	**HCO_3, SO_4–Mg** SO_4–Ca ***Cl–Na***
5г	1954	131,9 / 125,6	**29,2–48,9 (P_1sol_2)** 48,6–96,0 (P_1sol_2+sol_1) ***85,8–131,9 (P_1sol_1)***	**13,2 / 112,5** 13,2 / 112,5 ***13,6 / 112***	**8,4** 5,3 ***0,46***	**1,12** 6,7 ***16***	**SO_4–Na** Cl, SO_4–Na, Ca ***Cl, SO_4–Na, Ca***
301	1978	120 / 153,0	**75–117,5 (P_1sol_2)**	**65,7 / 87,3**	**1,24**	**0,274**	**HCO_3–Ca**
80	1953	н.с. / 120,7	27,5–54,3 (P_1sol_2+sol_1) ***47–74 (P_1sol_1)*** ***80,3–92 (P_1sol_1)***	9,46 / 110,2 ***9,41 / 110,3*** ***9,54 / 110,1***	3,4 ***1,8*** ***0,011***	0,3 ***2,4*** ***38***	HCO_3–Ca ***SO_4, Cl–Na, Ca*** ***Cl–Na***
4с	1960	172,2 / 147,9	48–95 (P_1sol_2+sol_1)	33,1 / 114,8	н.с.	17,8	Cl–Na
5с	1960	140,0 / 135,9	27,0–45,7 (P_1sol_2+sol_1) ***106–130 (P_1sol_1)***	20,0 / 115,2 ***21,9 / 114***	3,77 ***0,247***	11,3 ***75,7***	Cl–Na ***Cl, SO_4–Na***
99	1956	951,8 / 117,6	10–64,1 (P_1sol_2+sol_1)	4,15 / 113,5	20	0,7	SO_4–Ca
1с	1960	116 / 116,4	***32–114 (P_1sol_1)***	***2,8 / 113,6***	***2,5***	***17,1***	***Cl–Na***
10с	1960	188 / 138,6	23,6–71,2 (P_1sol_2+sol_1)	23,6 / 71,2	4	12,5	Cl–Na

Примечание:

P_1sol_2 – данные опробования верхнесоликамского водоносного комплекса
P_1sol_1 – данные опробования нижнесоликамского водоносного комплекса
P_1sol_2+sol_1 – интервал опробования включает верхне- и нижнесоликамский комплексы

разреза с глубиной, выщелачивание прослоев гипса из низов разреза терригенно-карбонатной толщи, подток минерализованных вод из нижележащих горизонтов в пределах локальных положительных структур на участках эрозионных врезов. Последняя причина наиболее актуальна для естественных гидрогеологических условий рассматриваемого участка.

Водоносный комплекс соляно-мергельной толщи (нижнесоликамский водоносный горизонт)

Отложения соляно-мергельной толщи (СМТ) развиты повсеместно, но на подавляющей территории региона они перекрыты верхнесоликамскими и шешминскими отложениями. На поверхность (под четвертичные отложения) отложения СМТ выходят только небольшими участками в сводовых частях валов. К такому участку приурочена рассматриваемая территория. В сводовой части Березниковского вала (на поверхности – это центральная часть Нижнезырянского водохранилища) происходит выклинивание широко распространенных на сопредельных территориях верхнесоликамских отложений и отмечается выход на поверхность нижнесоликамских пород (рис. 2.9), которые представлены в основном мергелями, аргиллитами, глинами, чередующимися в разрезе и фациально замещающими друг друга. Подчиненное значение имеют прослои и линзы каменной соли. Характерная особенность – загипсованность. Водовмещающими породами являются трещиноватые мергели, в качестве водоупоров рассматриваются глинистые прослои.

Область питания водоносного комплекса расположена восточнее ВКМКС, где породы соляно-мергельной толщи выходят на поверхность. Движение подземных вод направлено с востока на запад и северо-запад вдоль долины р. Зырянка (рис. 2.9). Основным базисом дренирования региона является долина р. Кама и в нее осуществляется разгрузка напорных подземных вод горизонта.

Опробование скважин различного назначения в пределах рассматриваемого участка показало, что при бурении статический уровень вод нижнесоликамских отложений устанавливался на отметках 2–22 м. Характер напоров в горизонте показан в таблице 2.12 (Сопряженная инвентаризация природных..., 1998).

Водообильность комплекса мала, наиболее водообильной является верхняя часть отложений. Родников, разгружающихся по берегам Нижнезырянского водохранилища, в ходе проведения съемочных работ (Гидрогеологическая карта СССР…, 1975; Отчет о комплексной гидрогеологической…, 1996) отмечено не было. Удельные дебиты ближайших к нему скважин, вскрывших подземные воды в верхней части СМТ, составляли 0,2–2,5 л/с. По данным опробования скважин прослеживается резкое уменьшение водообильности с глубиной. В нижней части разреза СМТ с неповсеместным распространением залегают высокоминерализованные рассолы. Дебиты скважин, вскрывших эти рассолы, составляют тысячные и менее доли литров в секунду.

Естественный химический состав и минерализация вод нижнесоликамского горизонта очень разнообразны (табл. 2.12).

Рисунок 2.9.
Схематическая карта гидропьезоизогипс нижнесоликамского водоносного горизонта.

Условные обозначения

124 — Разведочные на соль скважины

180с — Структурные скважины

110г — Гидрогеологические скважины

1543и — Специальные инженерно-гидрогеологические скважины

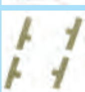
$\frac{128}{125}$ — Разведочные скважины, разведочно-эксплуатационные на воду, наблюдательные режимной сети: в числителе – номер, в знаменателе – порядковый номер по гидрогеологическому каталогу

131.2 — Расчетная абсолютная отметка приведенного пьезометрического уровня подземных вод (м) с минерализацией более 10 г/л

137.1 — Абсолютная отметка статического уровня подземных вод (м) с минерализацией менее 10 г/л

120 — Пьезогипсы, характеризующие естественный режим подземных вод и их абсолютные отметки

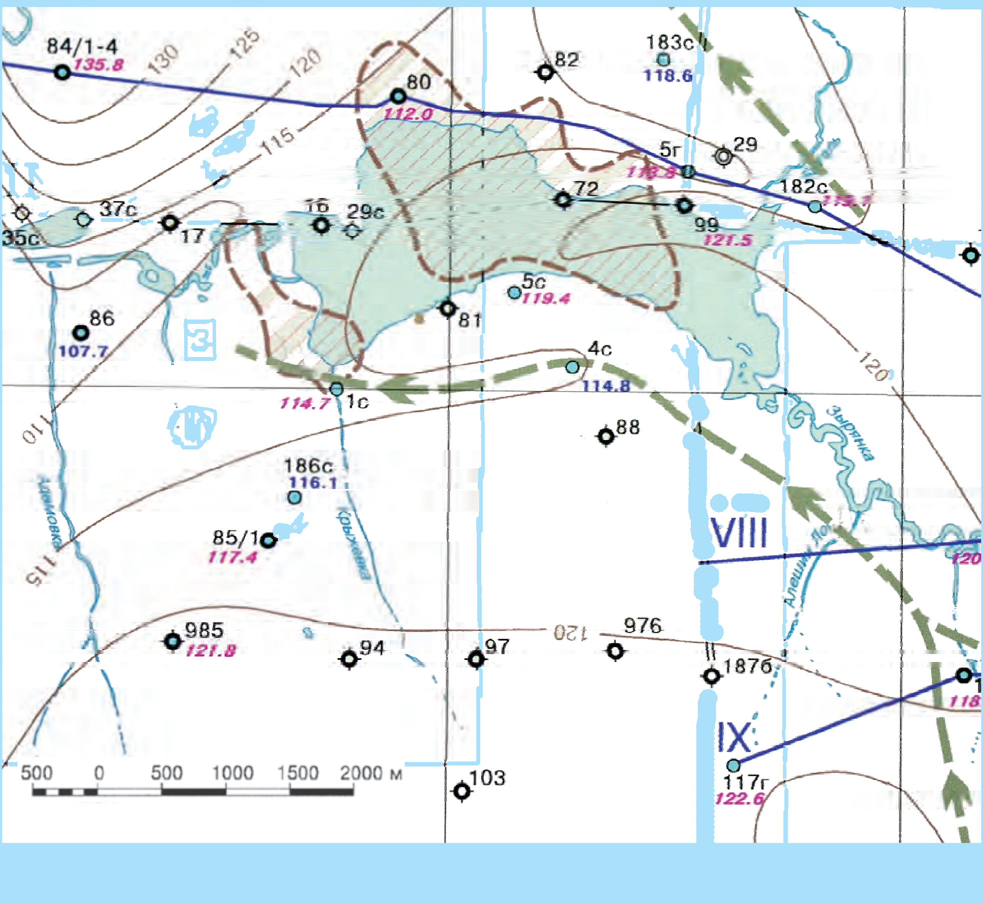

Контур выхода на поверхность отложений соляно-мергельной толщи (нижнесоликамского водоносного горизонта P_1sol_1), по материалам Г. В. Харитонова, 1992 г.


Зоны повышенного градиента уровней нижнесоликамского водоносного горизонта


Направление основного движения потока подземных вод

В местах выхода отложений СМТ на поверхность распространены пресные подземные воды с преобладанием в химическом составе ионов HCO_3, SO_4, Са. Перекрытые верхнесоликамскими породами, отложения СМТ находятся ниже зоны дренирования и содержат солоноватые подземные воды. Влияние на естественную гидрохимическую зональность изменения состава вод с глубиной оказывают несколько причин.

Во-первых, выщелачивание присутствующих в разрезе СМТ загипсованных глин обусловливает наличие солоноватых сульфатно-кальциевых вод. В связи с выклиниванием вышележащих отложений ТКТ в пределах рассматриваемого участка загипсованные глины залегают неглубоко, что приводит к появлению сульфатных



вод на малых глубинах. При опробовании скважины 80 с глубины 47–74 м был получен приток воды сульфатно-хлоридного состава с минерализацией 2,4 г/л. Во-вторых, с наличием в разрезе толщи солей связаны процессы выщелачивания перекрывающей промышленный пласт каменной соли, что приводит к образованию рассолов хлоридно-натриевого состава с минерализацией 150–200 г/л. Рассолы в основном изолированы от циркулирующих в верхней части разреза пресных и солоноватых вод водоупорными прослоями. В-третьих, трещинные зоны в сводах Березниковского вала служат путями миграции вверх хлоридно-натриевых рассолов, что вызывает увеличение минерализации циркулирующих выше подземных вод. В месте пересечения вала долиной р. Зырянка прослеживается самое высокое положение минерализованных вод. Так, скважиной 5с были вскрыты хлоридно-натриевые воды: на глубине 27–45 м – с минерализацией 11 г/л (P_1sol_2+sol_1), на глубине 106–130 м (P_1sol_1) – с минерализацией 75 г/л. В настоящее время подъем природных рассолов в зону пресных и солоноватых вод возможен по негерметичным стволам пробуренных по берегам водохранилища скважин.

Сложные гидрогеологические условия территории определили значительную трудность при отделении естественных причин формирования гидрохимического режима подземных вод от техногенных. Поэтому часто создается ситуация, когда техногенные причины выступают как стимуляторы, приводящие в движение те природные факторы формирования состава минерализованных вод, которые в естественных условиях могли бы не функционировать.

2.3.4. Геологические процессы

Из геологических процессов, развитых в пределах ВКМКС, и на изучаемой территории в частности, следует выделить соляной карст и суффозию.

Карстующимися породами являются галогенные породы пермского возраста. Следствием растворения солей является процесс опускания дневной поверхности над сводами положительных структур. В своде Березниковского вала, как и в пределах других положительных структур, соляной карст развивается в виде карстовых ванн или овальных участков прогрессирующих понижений, связанных с подземным выщелачиванием гипса и каменной соли как из соляно-мергельной толщи, так и, по-видимому, из пачки покровных солей (Болотов, 2000). Процесс этот длительный и многостадийный, протекающий с различной интенсивностью в пределах всего ВКМКС (Горбунова и др., 1992).

Естественный процесс выщелачивания галогенных пород был усилен добычей рассолов из соляно-мергельной толщи в районе пос. Новая Зырянка в XVI–XIX вв. Возникающие полости выщелоченных пород компенсировались прогибанием покрывающих пород с развитием усилий, направленных на их растяжение. Создавались условия для образования кулисоподобных трещин и зон просадки типа микрограбенов, ориентированных вдоль длинной оси карстовых депрессий. Одной из них является Ново-Зырянская, расположенная на восточном крыле Березниковского вала. Депрессия протянулась с юго-запада на северо-восток от пос. Новая Зырянка до южной окраины пионерского лагеря «Дружба». Далее, вероятно, она простирается в северо-восточном направлении по дну Нижнезырянского водохранилища к устью р. Быгель. В районе северо-западной окраины д. Быгель имеют место понижения, но они в значительной мере осложнены старыми земляными работами (канавы, траншеи и ямы), вследствие чего трудно распознаются и прослеживаются (Болотов, 2000).

По-видимому, возникновение трещин и зон просадок является типичным и первостадийным процессом для достаточно жестких терригенно-карбонатных пород верхней части соликамской свиты нижней перми. Возраст Ново-Зырянской депрессии оценивается как голоценовый. Мощности четвертичных отложений здесь не превышают 10 м. Депрессия древнего заложения (возможно, третичного или, скорее всего, древнечетвертичного возраста) – Березниковская – выявлена у пос. Старая Зырянка. Она выполнена рыхлыми отложениями характера сводовой части Камско-Вишерского вала. Мощность рыхлых осадков достаточно большая: скв.7с – 38,6 м, 8с – 32,5 м (Болотов, 2000).

Образование провальных понижений рельефа земной поверхности в районе пос. Новая Зырянка и восточнее его многие специалисты связывают с процессом суффозии (Комплексная геомеханическая..., 1999; Обобщение информации о геологическом..., 1999; О результатах геологических..., 1999). Развитию суффозии в пределах рассматриваемого участка способствует наличие в четвертичных отложениях тонко- и мелкозернистых песков и пылеватых глинистых фракций, неравномерная и зачастую высокая обводненность водовмещающих пород (Баньковская и др., 2000). Вымывание пылеватых частиц в рыхлых горных породах подземными водами вызывает оседание вышележащей толщи. Провально-трещинные образования на поверхности земли связывают с раскрытием трещин бокового отпора (ТБО) по берегам древней долины р. Зырянка, представляющих собой экзогенные геологические формы, генезис которых связан с гляциальными процессами в среднем плейстоцене. Раскрытие ТБО вызвано процессом пульсационного галокинезного вертикального оседания надсоляного массива на южной периклинали Березниковского купола (Копнин и др., 2000). Раскрытие ТБО происходило в период заполнения Нижнезырянского водохранилища как результат уменьшения прочности породы на сдвиг (из-за увеличения порового давления флюида) и разрядки на имеющихся плоскостях ослабления повышенных касательных напряжений. Кроме того,

Рисунок 2.10.
Воронка и образование трещин в пос. Новая Зырянка. 1999 г.

породы надсоляной толщи, вмещавшие ТБО, испытывали дополнительную нагрузку, обусловленную горными работами. Это снижало прочностные свойства пород и сопротивляемость нагрузкам. Таким образом, формирование техногенной мульды оседания спровоцировало раскрытие ТБО и возникновение суффозионных провальных образований в тонкозернистых плейстоценовых осадках (Копнин и др., 2000). На рисунках 2.10, 2.11 показаны примеры линейной зоны проседания, воронки и следствие оседания поверхности – трещина на здании. Все фото сделаны в пос. Новая Зырянка и его окрестностях.

В результате карстовых и суффозионных процессов в районе Новой Зырянки сформировались провальные образования. По исследованиям ряда авторов (Копнин и др., 2000; О результатах геологических исследований…, 1999; Обобщение информации о геологическом…, 1999) здесь установлено 50 провалов овальной формы и 14 соединяющих их траншеевидных понижений земной поверхности суммарной длиной около 1500 м.

Рисунок 2.11.
Линейная зона проседания на северо-западной окраине пос. Новая Зырянка. 2007 г.

2.4. Растительность и животный мир

2.4.1. Растительность

На схемах геоботанического и ботанико-географического районирований (Данилова,1958; Овеснов, 2000) рассматриваемая территория расположена в подзоне южнотаежных пихтово-еловых лесов, на значительной площади замещенных вторичными мелколиственными насаждениями с преобладанием березы и осины. Первоначально в составе зональной растительности доминирующее положение занимали пихтово-еловые крупнопапоротниковые и травяные леса (Воронов и др., 2005). В настоящее время они сохранились по слабонаклонным дренированным склонам междуречий на дерново-подзолистых почвах суглинистого и супесчаного состава. Современная лесистость в связи с высокой хозяйственной освоенностью территории составляет 45%, то есть почти в 2 раза ниже относительно зонального уровня и на 30% ниже средней лесистости Пермского края (Статистические…, 2005). Это на-

Рисунок 2.12.
Условно естественный лесной массив, хорошо сохранившийся на южном побережье Нижнезырянского водохранилища.

ложило определенный отпечаток на территориальное распределение и современное состояние растительного покрова: условно коренные южно-таежные растительные формации представлены фрагментарно в комплексе с культурными насаждениями, лугово-кустарниковыми сообществами и пионерными сорно-рудеральными растительными группировками (рис. 2.12, 2.13).

Исследования Е. А. Ворончихиной показали, что наиболее сохранившийся условно естественный лесной массив представлен на южном побережье водохранилища. В общей структуре растительного покрова его доля относительно невелика – 17,1%. Структурно-морфологические показатели условно естественных насаждений обычны для таежных древостоев. Они включают два древесных яруса, подрост и подлесок из *Sorbus aucuparia*, *Ribes rubrum*, *Rosa acicularis*, *Spiraeae media*. В травостое преобладают типичные бореальные виды: *Dryopteris filix-mas, Oxalis acetosella, Pyrola media, Aegopodium podagraria, Veratrum lobelianum, Stellaria holostea, Asarum europaeum, Linnaea borealis, Alchemilla propingua, Calamagrostis epigeios, Asarum europaeum* и др. Древесные

Рисунок 2.13.
Вторичный закустаренный пойменный луг,
р. Зырянка.

ярусы сформированы преимущественно елью (*Picea excelsa)* и пихтой *(Abies alba)*, имеется небольшая примесь сосны (*Pinus silvestris*) и березы *(Betula platyphylla, B.pubescens)*. По опушкам лесного массива береза становится доминирующим видом в составе древостоя. Обращает на себя внимание обильное хвойное возобновление с преобладанием ели и пихты. В таком же соотношении представлен подрост. Полнота насаждений 0,6–0,7; класс

Таблица 2.13.
Структура растительного покрова территории размещения Нижнезырянского водохранилища (по Е. А. Ворончихиной).

№ учетной площадки	Характеристика растительного покрова		Доля в структуре растительного покрова, %
	Растительная ассоциация	Виды-доминанты в составе растительности	
1–00	Ельник травяно-папоротниковый	Древесный ярус: *Picea excelsa, Abies alba, Pinus silvestris, Betula platyphylla, B.pubescens.* Кустарники и кустарнички: *Salix sp., Rosa acicularis, Ribes rubrum, Vaccinium myrtillus* Травостой: *Aegopodium podagraria (по опушке), Oxalis acetosella, Linnaea borealis, Majanthemum bifolium, Dryopteris filix-mas*	17,1
2–10	Вторичный закустаренный пойменный луг	Поросль *Salix sp., Betula platyphylla* Травостой: *Agropyrum repens, Festuca pratensis, Galamagrostis epigeios, Carex pilosa, Eguisetum palustre* и др.	6,1
3–11	Заросли синантропного разнотравья	*Heracleum sibiricum , Artemisia lercheana, Agropyrum repens, Cirsium arvense*	3,0
4-20	Крупнотравный пойменный луг	*Heracleum sibiricum, Tussilago farfara*	2,7
5–25	Рогозово-осоковое болото	*Typha orientalis, Scirpus lacustris, Carex nigra, Eguisetum palustre, Cirsium palustre*	2,2
6–21, 24	Болото на участке осушения	*Typha orientalis, Carex pilosa, Juncus filiformis, Eguisetum palustre, Cirsium palustre*	9,3
7–14	Вторичный захламленный луг (стихийная свалка)	*Agropyrum repen, Tussilago farfara, Galamagrostis lanceolata, Bromus inermis, Rumex confertus, Thalictrum minus, Carum carvi, Arctium tomentosum, Cirsium arvense*	1,6
8–17	Закустаренное рогозово-осоковое болото	*Salix sp., Typha orientalis, Scirpus lacustris, Carex nigra, Eguisetum palustre,*	2,5
9, 10–18	Тополевник разнотравно-злаковый (культура)	*Populus sp., Galamagrostis epigeios, Artemisia lercheana, Rumex confertus, Thalictrum minus, Agropyrum repens, Festuca pratensis*	18,1
11–26	Вторичный лесной ценоз	*Pinus silvestris, Betula platyphylla, B.pubescens, Galamagrostis epigeios, Trifolium pretense, Vicia eracca, Bromus inermis*	7,9

бонитета II, продуктивность фитомассы около 120 ц/га в год; запас 300–400 м³/га.

Остальная территория занята производными антропогенными растительными группировками, преимущественно травяными и травяно-кустарниковыми. Общую структуру растительного покрова характеризует таблица 2.13.

Флористический состав травяно-кустарниковых ценозов формируется из видов разной ценотической принадлежности. По данным Е. А. Ворончихиной, помимо собственно луговых растений, сюда входит большое число лугово-лесных, синантропных и болотных представителей. Его состояние отражают учетные площадки (УП) 2–10, 3–11, 4–20 (табл. 2.13). Растительность на УП 2–10 представлена вторичным закустаренным лугом. Его происхождение связано с вырубкой лесного древостоя в 80-е гг. прошлого века. На вырубке начала формироваться поросль березы и ивы, однако пойменное положение участка с избытком почвенной влаги предопределило неблагоприятные условия для развития древесной формации и препятствует ее возобновлению.

На растительный покров УП 3–11 и 4–20 существенное влияние оказывает антропогенный фактор в связи с близостью селитебной зоны (п. Суханово). В составе растительности преобладают синантропные и заносные виды, устойчивые к неблагоприятным почвенным условиям: *Heracleum sibiricum* , *Artemisia lercheana, Agropyrum repens, Tussilago farfara, Cirsium vulgare, Urtica dioica, Tussilago farfara* и др.

Заболоченные участки (УП 5–25, 6–21, 24) представлены в границах первоначальной акватории, частично осушенной в связи с начавшимся сбросом воды. В составе растительности преобладают гигрофиты, в числе которых доминирует, образуя фон, *Typha orientalis* (рис. 2.14). Сформировавшиеся ранее, до снижения уровня водохранилища, болотные урочища отражает растительность, описанная на УП 8–17. В ее составе отмечена значительная доля кустарников (преимущественно *Salix sp.)*; богаче в видовом отношении, по сравнению с болотной растительностью на участке осушения, травостой, характеризующийся присутствием, наряду с типично болотными, луговых представителей растительного мира: *Calamagrostis epigeois, Bromopsis inermis, Melilotus albus, Trifolium repens, Polygonum avikulare, Matricaria recutita, Vicia eracca,* *Carum carvi* и др. Своеобразна культурная растительность побережья в границах городской застройки. На большей части площади – УП 9, 10–18 – это практически чистый (однопородный) тополевник разнотравно-злаковый из *Populus sp., Galamagrostis epigeios, Artemisia lercheana, Rumex confertus, Thalictrum minus, Agropyrum repens, Festuca pratensis* и др. Участками в составе тополевого древостоя представлены ассоциации из ильма (*Ulmus carab)* и березы (*Betula platyphylla*).

Таким образом, растительный покров данной территории существенно преобразован под влиянием антропогенной нагрузки и на большей части береговой зоны водохранилища представлен вторичными растительными ассоциациями, обедненными в видовом отношении. Особо охраняемых территорий, имеющих статус памятников природы, заказников, заповедников в границах данной площади нет. Редких и фармакологически ценных видов растительности, мест массового произрастания хозяйственно значимых дикоросов – ягодников, лекарственного сырья и прочих в границах обследованной водоохраной зоны водохранилища не выявлено.

Рисунок 2.14.
Заболоченный участок на периферии верхней осушенной акватории Нижнезырянского водохранилища.

Санитарно-гигиеническое состояние растительного покрова удовлетворительное: внешние отклонения в развитии и состоянии растительности, очаги повреждения техногенными выбросами, поражения бактерио- и энтомофагами отсутствуют.

Растительный покров адаптирован к сложившимся условиям среды и обладает значительным потенциалом устойчивости к антропогенным факторам воздействия. В связи с размещением в береговой зоне водохранилища, наибольшей хозяйственной ценностью с точки зрения реализации важнейшей водоохранно-защитной функции в структуре растительного покрова обладает условно естественный лесной массив, сохранившийся в удовлетворительном состоянии на южном берегу. Площадь массива в границах водоохранной зоны – около 17%. На остальной площади преобладает культурная древесно-кустарниковая, синантропно-луговая и болотная растительность. Суммарная площадь, занятая устойчивыми условно естественными и вторичными растительными ассоциациями, в границах водоохранной зоны составляет 70,5%, то есть находится на уровне критической отметки, разделяющей, согласно оценочным нормативам (п. 3.5.1, Критерии…, 1992), относительно удовлетворительное и чрезвычайное состояния растительного покрова.

2.4.2. Животный мир

Исследуемый водоем находится в бассейне Средней Камы, к которой относится участок реки от устья р. Вишера до устья р. Белая. Здесь расположены два крупных водохранилища – Камское (год образования – 1954) и Воткинское (1962). Зообентос Средней Камы включает более 300 видов и форм (Таусон, 1947; Алексевнина, Гореликова, 1988). Наиболее разнообразно представлены нематоды, олигохеты, моллюски, личинки поденок, ручейников и хирономид.

Ихтиофауна Средней Камы включает 42 вида рыб, относящихся к 9 отрядам и 15 семействам (Зиновьев, Бакланов, 2000; Зиновьев и др., 2003). В Камском водохранилище обитает 38 видов – здесь отсутствуют ручьевая форель (*Salmo trutta caspius morfa fario*), берш (*Stizostedion volgense*) и пока нет достоверных сведений о проникновении сюда черноморской пухлощекой иглы-рыбы (*Syngnathus nigrolineatus*) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*).

По распространенности и промысловой значимости рыбы региона могут быть распределены на 4 группы (Соловьева, Зиновьев, 1971; Зиновьев, Бакланов, 2000):

1) основные промысловые – лещ, плотва, щука, окунь, судак, жерех, синец, чехонь, налим, густера, язь;

2) второстепенные промысловые – уклея, тюлька, караси золотой и серебряный, линь, белоглазка, подуст, голавль, елец, красноперка, ерш;

3) немногочисленные, но ценные – стерлядь, таймень, сом, сазан, хариус;

4) непромысловые – остальные виды.

Ихтиофауна Камского водохранилища представлена 7 фаунистическими комплексами или генетически однородными группами видов, связанных общим происхождением (Никольский, 1953, 1980), причем вполне вероятно их увеличение в дальнейшем. Естественно, что наиболее многочисленны понто-каспийский пресноводный и бореальный равнинный комплексы (по 12 видов) – соответственно лещ, синец, белоглазка, густера, красноперка, жерех, уклея, голавль, подуст, чехонь, верховка, быстрянка и щука, карась золотой и серебряный, плотва, елец, пескарь, озерный гольян, линь, щиповка, окунь, ерш. Бореальный предгорный комплекс представлен 5 видами – таймень, хариус, речной гольян, голец, бычок-подкаменщик. Древний верхнетретичный равнинный комплекс состоит также из 5 видов – стерлядь, сазан, сом, вьюн, судак. Остальные ихтиокомплексы представлены 1 видом: арктический пресноводный – налим, понтокаспийский морской – тюлька, китайский равнинный – головешка-ротан.

Ихтиологические и гидробиологические исследования по животному миру Нижнезырянского водохранилища ранее не проводились. Имеются лишь данные М. А. Бакланова за 2005 г. по бентофауне р. Быгель, впадающей в водохранилище и имеющей засоленное нижнее течение. Пробы из этой реки можно разбить на 4 серии. Первые две серии гидробиологических проб отбирались на участке реки выше резкого повышения минерализации, третья и четвертая – ниже.

В результате таксономической обработки материала в составе зообентоса р. Быгель установлено 17 семейств донных животных. Наиболее разнообразны двукрылые, представленные

6 семействами – личинками комаров-болотниц Limoniidae, комаров-звонцов Chironomidae, бабочниц Psychodidae, мокрецов Ceratopogonidae, мошек Simuliidae и долгоножек Tipulidae. Ручейники (Trichoptera) и веснянки (Plecoptera) насчитывают по два семейства. Прочие группы гидробионтов – малощетинковые черви (Oligochaeta), двустворчатые моллюски (Bivalvia), брюхоногие моллюски (Gastropoda), равноногие раки (Isopoda), поденки (Ephemeroptera), жуки (Coleoptera) и клопы (Hemiptera) – насчитывают по одному семейству (табл. 2.14).

Развитие зообентоценозов на различных участках реки неодинаково. В условиях относительно невысокой минерализации формируются качественно и количественно богатые сообщества, в составе которых насчитывается до 14–15 семейств донных

Таблица 2.14.
Биомасса семейств донной фауны р. Быгель до и после повышения минерализации (мг/м^2).

Группа	Семейство	До скачка солености		После скачка солености	
		1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
Diptera	Ceratopogonidae	230	220	30	50
	Chironomidae	1380	1940	1670	1760
	Limoniidae	5710	5390	4180	1260
	Psychodidae	50	20	140	130
	Simuliidae	–	100	–	–
	Tipulidae	–	2830	–	–
Trichoptera	Limnephilidae	1140	580	40	620
	Rhyacophilidae	390	30	–	–
Plecoptera	Nemouridae	30	1980	10	–
	Taeniopterygidae	40	30	30	–
Oligochaeta	Tubificidae	1400	530	390	450
Bivalvia	Euglesidae	1000	380	40	–
Gastropoda	Lymnaeidae	1660	–	–	–
Isopoda	Asellidae	–	–	–	30
Ephemeroptera	Baetidae	80	110	–	–
Coleoptera	Dytiscidae	30	150	30	–
Hemiptera	Corixidae	30	30	–	–

животных; разнообразие по Шеннону достигает 2,9–3,1 бит/г при численности и биомассе 7,55–9,67 тыс. экз./м^2 и 13,17–14,32 г/м^2 соответственно. На участке реки с повышенной минерализацией зообентос менее богат и разнообразен: в составе зообентоценозов насчитывается не более 7–10 семейств донных животных, разнообразие по Шеннону не превышает 2,0–2,3 бит /г при численности и биомассе 4,56–4,72 тыс. экз./м^2 и 4,30–6,56 г/м^2 соответственно.

Основной фон донной фауны р. Быгель составляют личинки двукрылых – болотниц и комаров-звонцов, на их долю приходится 51,2–70,2% общей биомассы зообентоценозов. В число постоянных компонентов бентосных сообществ входят ручейники Limnephilidae и малощетинковые черви Oligochaeta. Такие животные как ручейники Rhyacophilidae, поденки Baetidae и клопы Corixidae специфичны для участка реки с относительно невысокой минерализацией. К этому же участку явно тяготеют двустворчатые моллюски Euglesidae, веснянки Nemouridae и личинки мокрецов Ceratopogonidae. К участку реки с повышенной минерализацией тяготеют личинки бабочниц Psychodidae (табл. 2.14).

Рисунок 2.15.
Ондатра (*Ondatra zibetica*), обитающая в водохранилище.

Таким образом, зообентоценозы, формирующиеся на участке реки с повышенной минерализацией воды, по сравнению с вышележащими сообществами, носят явные признаки угнетения, что проявляется в количестве семейств, численности гидробионтов и их биомассе.

Видовой состав водоплавающих и околоводных птиц водохранилища разнообразен и сильно изменчив в разные сезоны. Гнездится здесь относительно небольшое число видов, которые способны приспособиться к такому стрессовому фактору как близость человека. Гораздо большее число птиц использует водоем лишь в период весенних и осенних миграций или в период сезонных кочевок. В последние годы на водохранилище отмечалось даже временное пребывание лебедей.

Фауна млекопитающих, связанных с Нижнезырянским водохранилищем, бедна из-за сильного антропогенного использования берегов. В основном она представлена мышевидными грызунами. Отмечено обитание в водоеме ондатры (*Ondatra zibetica*), которая спокойно относится к близости человека (рис. 2.15). Крупные хищники отсутствуют.

2.5. Техногенные процессы, вызванные созданием водохранилища

2.5.1. Формирование донных отложений

В искусственных водоемах (пруды, водохранилища) неизбежно происходят процессы заиления, большая часть поступающих взвесей идет на формирование донных отложений. Как правило, на верхнем участке водоемов откладываются более крупные, а на нижнем – мелкие (илистые) частицы.

Основными источниками заиления Нижнезырянского водохранилища являются продукты переработки берега и дна, сток взвешенных наносов с территории водосбора, продукция фитопланктона и высшей водной растительности. В меньшей степени сказывается влияние воздушного переноса загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями г. Березники. При заполнении водохранилища под водой оказались не только почвы, но и аллювиальные русловые отложения, а также иловые отложения стариц. Эти грунтообразующие материалы являются основой, на которой формируются донные отложения.

На первом этапе существования водоема (пока не сформировалась прибрежная отмель) основным поставщиком материала при формировании донных отложений были продукты переработки берегов. Размыв берегов и ложа водохранилища приводит к образованию ила и песков. Продукты разрушения, поступающие в водоем, перераспределяются сложной системой течений и аккумулируются на дне и берегах. Пространственное распределение донных отложений в чаше водохранилища определяется особенностями его морфометрии и гидрологического режима.

После наступления этапа относительной стабилизации процесса переработки берега, заиление стало происходить во многом за счет наносов, поступающих в водохранилище с поверхностным стоком. Нижнезырянское водохранилище имеет небольшую боковую приточность. Сток наносов рек водосбора определяют р. Быгель и р. Крыжевка, поступление твердых веществ с дождевыми и талыми водами увеличивается в связи с расположением на берегу г. Березники.

При создании водохранилища в зону затопления попали участки торфяных болот. Торфяные массивы после их опускания на дно стали поставщиками в донные отложения не только твердого вещества, но и органики, усилив процесс заиления водохранилища. Продуктом размыва торфяных залежей, сплавин, оторвавшихся от берега массивов, является торфянистый ил.

Участие в образовании донных отложений Нижнезырянского водохранилища принимают взвешенные вещества ливневых сточных вод г. Березники. В городе отсутствует система ливневой канализации, соответственно, не проводится очистка стоков. Объемы взвесей, вносимых в искусственные водоемы сточными водами, по сравнению с вышерассмотренными источниками, обычно бывают невелики.

К числу источников заиления относится также продукция водной и прибрежно-водной растительности – поставщик органического вещества в донные отложения.

Город Березники – один из крупнейших центров сосредоточения промышленного потенциала Пермского края. Работа промышленных предприятий сопровождается значительными выбросами в атмосферу загрязняющих и взвешенных веществ, часть из которых оседает на поверхности земли и водных объектов, в том числе Нижнезырянского водохранилища. В формировании донных отложений рассматриваемого водоема атмосферный перенос веществ играет малую роль по сравнению с уже перечисленными факторами.

Формирование донных отложений за счет названных выше процессов приводит к нивелировке рельефа дна. Происходит заполнение отрицательных, отмечается размыв и переуглубление положительных форм рельефа. Обычно на искусственных водоемах объем отложений и скорость осадконакопления увеличиваются с глубиной и возрастают по направлению к плотине (Матарзин, 2003). Специфика Нижнезырянского водохранилища определила наибольшие объемы осадконакоплений в центральной части водоема.

Донные отложения Нижнезырянского водохранилища изучались сотрудниками Пермского государственного университета в 1983 г. В северной части водоема донные отложения представлены преимущественно серыми илами, в южной части – черными; в прибрежной полосе распространены пески. Сумма органических веществ по потере при прокаливании у серых илов изменяется от 4 до 12%, у черных – от 12 до 32%. Минимальное их содержание отмечается у песчаных грунтов побережий, максимальное – в донных отложениях, приуроченных к местам интенсивного развития высшей водной растительности и поступления сточных вод. В русловой части водохранилища происходит накопление органических веществ в грунтах в направлении к плотине. Химический анализ водных вытяжек донных отложений показал, что величина сухого остатка варьирует от 0,193 до 0,629%. Максимальные значения фиксируются в местах выхода ливневых вод. Сопоставление степеней загрязненности Нижнезырянского и Верхнезырянского водохранилищ показало, что наибольшее загрязнение свойственно Верхнезырянскому, особенно в приплотинной его части. Засоление донных отложений рассматриваемого водоема – хлоридно-сульфатное (Кузнецова и др., 1987).

При рассмотрении вопросов формирования донных отложений Нижнезырянского водохранилища особо следует отметить район Косачевского болота. В верхней части болота залегает слой торфа, мощность которого постепенно увеличивается от 0,5 до 7,0 м по мере удаления от берега. Под торфом залегают мелкозернистые водонасыщенные пески.

До 1941–1945 гг. в болото осуществлялся сброс сточных вод из коллектора без очистки. При диаметре коллектора 250 мм максимальный расход составлял до 100 м^3/час. Большая часть взвесей (особенно крупных) откладывалась непосредственно в месте выпуска. Ниже сброса формировался небольшой водоток, постепенно теряющийся в болоте на расстоянии 200–250 м. Болото играло роль барьера: вода впитывалась торфом, а твердые частицы задерживались. При создании водохранилища создалась опасность вымыва отложившихся фекальных масс в зону водоема.

Горисполкомом и Горсанэпидемстанцией г. Березники совместно с проектной организацией (Ленинградский отдел треста «Теплоэлектропроект») было принято решение о ликвидации мелководной зоны Косачевского болота отсыпкой до незатопляемой отметки 116,5 м (площадь мелководной зоны выделена между горизонталями 113,5–115,5). Граница отсыпки намечалась на участке от угла улиц Тельмана и Ломоносова, в соответствии с направлением ул. Тельмана, до выхода на коренной берег на отметке 114,0 м в пос. Семино.

2.5.2. Экзогенные геологические процессы

Из экзогенных геологических процессов, вызванных деятельностью гидроузла Нижнезырянского водохранилища, в первую очередь следует отметить абразию береговой линии с последующим транспортом и аккумуляцией наносов (переработка берегов). Кроме того, в пределах исследуемой территории имеют место подтопление и заболачивание прилегающей территории.

Процессы абразии берегов после заполнения Нижнезырянского водохранилища специально не изучались. Известно, что абразия берегов искусственно созданного водоема обычно начинается с момента его заполнения и наиболее интенсивно протекает в первые годы существования. Интенсивность переработки берегов во многом определяется колебаниями уровня воды, вызванными сработкой водохранилища. Согласно документу (Основные правила использования…, 1989), регламентировавшему деятельность гидроузла в 90-х гг. прошлого столетия, при НПУ

115,0 м УМО составлял 112,5 м. Таким образом, колебания уровня воды в водоеме в течение года равнялись 2,5 м. Эта величина сработки водохранилища достаточна для протекания процесса абразии. Интенсивность протекания абразии зависит от высоты и морфологии берегов, литологии слагающих берега пород. Высокие и выпуклые берега размываются быстрее. Пологие берега с уклонами не более 2–4° (Авакян и др., 1987) обычно не размываются. Берега Нижнезырянского водохранилища сложены суглинками, супесью, торфом. Абразия на берегах, сложенных песчано-глинистыми отложениями, обычно проявляется довольно отчетливо (Матарзин, 2003).

На развитие процессов абразии на правом берегу Нижнезырянского водохранилища в крайних его оконечностях (западной и восточной), на южном берегу – напротив пос. Новая Зырянка и в районе насосной станции, указывают исследования, проведенные А. И. Петриком в середине 1990-х гг. в рамках экологического изучения гидрологических объектов на территории ВКМКС (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998). В результате абразии на южном берегу водоема, на участке от пос. Новая Зырянка до пионерлагеря «Дружба», сформировался уступ высотой до 3,2 м. Вследствие подмыва берегов произошло образование плавучих островов.

Процессом, противоположным абразии, является аккумуляция наносов. Продукты абразионного развития берегов поступали в водохранилище: часть их перемещалась на дно, в зону больших глубин, часть откладывалась вдоль берега (картина их размещения во многом определялась перемещением наносов вдоль берега).

Нижнезырянское водохранилище существует более 55 лет. За это время его форма стала близка к профилю равновесия, сформировалась прибрежная отмель. В настоящее время процессы абразии практически прекратились. Этому способствовало снижение НПУ на 1 м.

Результатом развития абразионных и аккумулятивных процессов является формирование донных отложений различной мощности и возникновение новых, наиболее соответствующих современной геодинамической обстановке форм надводного и подводного рельефа.

Одним из негативных явлений, связанных с созданием водохранилища, является подтопление и заболачивание территории. Повышение уровня вод в водохранилище вызвало подъем уровня грунтовых вод на побережье и в долине р. Зырянка. Нарушение режима грунтовых вод стало одной из причин техногенного подтопления территории и развития заболачиваемости.

Некоторыми авторами (Баньковская, 2000; Копнин, 2000) высказано предположение о том, что в период создания Нижнезырянского водохранилища произошло раскрытие трещин бокового отпора по берегам древней долины р. Зырянка. Заполнение водохранилища могло послужить одной из комплекса причин, спровоцировавших суффозионные процессы. Как результат развития суффозии на левобережной части водохранилища (район пос. Новая Зырянка) сформировались провальные образования земной поверхности.

2.5.3. Всплывание торфяников

Для водохранилищ лесной зоны всплывание затопленных торфяников не является редким явлением. Способствует этому распространение торфяных болот. На Нижнезырянском водохранилище неоднократно отмечался факт отрыва почвенного слоя в результате подмыва берегов и образования плавучих островов. Наличие

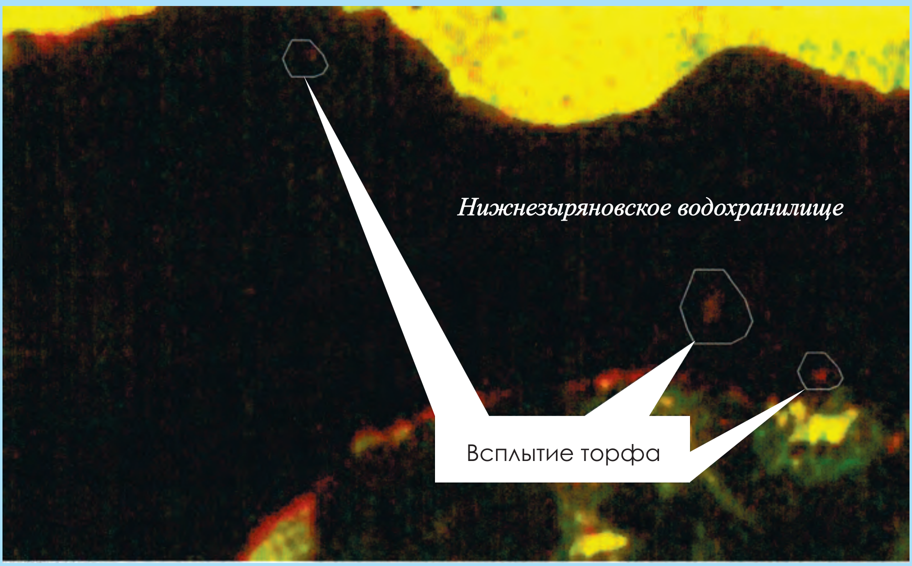


Рисунок 2.16.
Всплывание торфяников.

плавучих островов на Нижнезырянском водохранилище описывал А. И. Петрик, ссылаясь на космический снимок от 24.07.1986 г. (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998). Плавучие острова хорошо дешифровались и на значительно более позднем космическом снимке 1995 г. (рис. 2.16). Всплывшие массивы совершали миграции по водохранилищу. При этом с краев массива происходило поступление взвесей, из которых формируются донные отложения. Опускание плавучих островов на дно способствовало заиливанию водоема, активному развитию плавучих водорослей и гидрофитов (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998). В связи с этим, по мнению авторов, может произойти полное заболачивание водоема с отрицательными экологическими последствиями для микрорайона «Набережная» г. Березники.

2.5.4. Формирование водного биоценоза

Сооружение на водотоках прудов или малых водохранилищ приводит к существенным перестройкам всего водного биоценоза. Из-за возникновения значительных участков с замедленным водообменном, происходит значительное увеличение численности и биомассы фито- и зоопланктона и, соответственно, вторичной и первичной продуктивности нового водоема. В зообентосе наблюдается выпадение реофильных видов и рост численности эврибионтных и лимнофильных видов. Аналогичные изменения характерны и для ихтиофауны.

При создании водохранилища, по данным М. А. Бакланова, из рыбного сообщества исчезают типичные реофилы – хариус, речной гольян, подуст, бычок-подкаменщик и некоторые другие виды. Но, несмотря на это, в большинстве случаев со временем происходит увеличение числа видов рыб на данном участке водотока и рост численности некоторых видов, многие из которых ранее встречались лишь единично. Это следствие попадания в реку лимнофильных видов из пойменных озер и стариц во время половодий (карась, линь, верховка), а также результат целенаправленного или случайного вселения некоторых видов рыб человеком (карп, толстолобик, белый амур, головешка-ротан и др.). Зачастую происходит полное изменение структуры ихтиоценоза в пределах построенного пруда и на вышележащем участке реки. Доминирующие до этого виды становятся малочисленными, а наибольшей численности могут достигать ранее редкие виды или даже для данного водоема новые.

Рост численности целого ряда рыб в прудах объясняется более благоприятными, чем в реке, условиями их нагула и зимовки. У многих рыб здесь отмечено увеличение биологических характеристик (предельного возраста, скорости роста, жирности, упитанности, плодовитости и т. д.), но зачастую встречаются и тугорослые формы, у которых наблюдается обратное. В целом, создание прудов на малых реках приводит, наряду с обогащением видового состава фауны рыб, к возрастанию общей ихтиомассы в водоеме.

Положительные эффекты наличия прудов на малых реках выражаются в возрастании видового состава (иногда вдвое или даже более); увеличении генетической гетерогенности рыб; повышении общей биопродуктивности и ихтиомассы; улучшении биологических показателей рыб; изменении фенотипов и морфофизиологических признаков рыб; обеспечении возможности акклиматизации ценных видов рыб; возможности более комплексного использования гидро- и биоресурсов; улучшении облавливаемости водоемов; возможности организации поливного земледелия; использовании для рекреации; изменении микроклимата, регуляции водного режима (Зиновьев, Бакланов, 2000; Зиновьев и др., 2006).

Вместе с тем, строительство прудов на реках имеет и некоторые отрицательные стороны: накопление в прудах вредных загрязняющих веществ, что особенно важно в районах с интенсивным развитием промышленности и сельского хозяйства; прекращение генного обмена между рыбами выше и ниже плотины. Последнее может привести к вырождению некоторых популяций и образованию своеобразных экофенотипов у рыб, что может привести к снижению рыбопромысловой ценности водоема – примерами являются Нытвенское и Очерское водохранилища.

При создании плотины Нижнезырянского водохранилища была перегорожена нижняя часть р. Зырянка с извилистым руслом и замедленной скоростью течения, где обитали преимущественно лимнофильные и эврибионтные виды рыб, при низкой численности реофилов. Очевидно были выражены нерестовые и нагульные миграции рыб из Камы в низовья Зырянки в весенний и летний периоды. Создание водохранилища привело к выпадению типичных реофилов (хариус, речной гольян, подкаменщик) из состава ихтиофауны в первый год после заполнения, а ряд видов (голавль, елец, язь и др.) перестал встречаться после постройки Верхнезырянского водохранилища, то есть, когда исчезла возможность периодически уходить в речные условия. Наоборот возросла численность лимнофильных видов рыб (золотой и серебряный караси, линь и др.). Учитывая, что лимнофилы обитали на этом участке реки изначально, то можно констатировать, что создание Нижнезырянского водохранилища привело к снижению здесь числа видов рыб, при одновременном росте численности популяций оставшихся и их биомассы.

Спецификой Нижнезырянского водохранилища является наличие лишь незначительного участка материнской реки выше водоема, так как русло вновь перегораживается плотиной водохранилища. В связи с этим выпадение реофильных видов рыб при образовании водохранилища происходило значительно быстрее. Рефугиумом реофильных ценозов мог бы являться правый приток Зырянки – р. Быгель, однако в настоящее время из-за загрязнения и засоления вод он утратил такое значение.

2.5.5. Формирование ландшафтов

В ландшафтном отношении рассматриваемая территория расположена в северо-восточной части Косинского ландшафтного округа Вятско-Камской провинции южной тайги Восточно-Европейской равнины (Добровольский, 1997). Первичная естественная структура ландшафтов территории сформировалась в условиях значительной тепло- и влагообеспеченности; промывного режима увлажнения; преобладания холмисто-волнистого рельефа, с абсолютными высотными отметками 113,0–160,0 м; преимущественного распространения супесчаных и суглинистых отложений (Исаченко, 1991). Первоначально доминирующее положение (около 78% площади) занимали зональные южно-таежные лесные ландшафты, оставшаяся часть (22%) была представлена луговыми и болотно-луговыми формациями. Однако в формировании современного ландшафтного облика территории на протяжении последних десятилетий ведущую роль играл антропогенный фактор, чему способствовала ее высокая хозяйственная освоенность. Исходная ландшафтная структура была существенно преобразована в результате создания Нижнезырянского водохранилища: заполнение его чаши привело к затоплению прилегающих площадей, коренной перестройке исходной речной долины, образованию новых надводных и подводных форм рельефа, повышению уровня грунтовых вод, вследствие чего начался процесс гигрофитизации почвенно-растительного покрова (Еремченко, 2002).

Проведенное Е. А. Ворончихиной ландшафтное обследование показало, что к настоящему времени условно зональные южно-таежные лесные ландшафты отличаются фрагментарным ареалом распространения и сохранились лишь на южном побережье водохранилища. В ландшафтной структуре их доля невелика – 17,1%. На остальной территории доминируют антропогенные производные южно-таежных ландшафтов – вторичные лесные темнохвойно-лиственные ландшафты, занимающие 26% площади, луговые – 11,8%, болотно-луговые – 14% , селитебные (застройка) – 10% и коммуникационные ландшафты (дороги) – 3% площади. Оставшиеся 18,1% приходятся на аквальные ландшафты, представленные акваторией Нижнезырянского водохранилища (табл. 2.15).

Отличительными особенностями функционирования характеризуются аквальные ландшафты, что обусловлено своеобразием формирующих их природных компонентов, геоморфологических и гидрологических процессов (Назаров, 2002). Ведущим компонентом и фактором аквальных ландшафтов являются водные массы, которые в ходе ветрового волнения непрерывно оказывали механическое и химическое воздействие на прибрежные терри-

Таблица 2.15.
Ландшафтно-типологическая структура территории размещения Нижнезырянского водохранилища (по Е. А. Ворончихиной).

Классификационный уровень	Типы ландшафтных единиц	Доля в структуре территории, %	Функциональные параметры		
			Фитопродуктивность, ц/га в год	Кислородопродуктинотсть, т/год	Устойчивость, баллов
Зональный условно коренной	Южно-таежные лесные темнохвойные	17,1	120	16,5	10
Интразональный антропогенный	Вторичные лесные хвойно-лиственные	26,0	60–80	9,7	6
	Луговые закустаренные	11,8	20–30	3,5	3
	Болотно-луговые	14,0	17–25	3,1	2
	Аквальные	18,1	<1	<1	<1
	Селитебные	10,0	12	1,7	1
	Коммуникационные	3,0	<1	<1	<1

тории, вызывая абразионные процессы, и тем самым участвовали в преобразовании рельефа чаши водохранилища. Процессы абразии береговой линии, транспорта и аккумуляции наносов, вызванных деятельностью водных масс данных ландшафтов, протекали с момента заполнения водохранилища и были наиболее интенсивны в первые годы его существования.

В связи с начавшимся сбросом воды, площадь аквальных ландшафтов существенно сократилась, изменилась направленность функциональных процессов и характер их взаимодействия с прилегающими наземными ландшафтами. Трансформирующее воздействие на прибрежные ландшафты по мере сокращения объема водохранилища неуклонно снижается. Это в свою очередь сопровождается трансформацией ландшафтной структуры водоохраной зоны. Наметилась устойчивая тенденция к увеличению доли заболоченных ландшафтных формаций. Учитывая их низкую функциональную активность в ряду ландшафтных единиц водоохраной зоны (табл. 2.15), в прогнозном варианте это существенно понизит общий уровень устойчивости и водоохранно-защитные свойства наземных ландшафтов.

Важным аспектом экологической устойчивости прибрежных ландшафтов в сложившихся условиях является растительный покров. Поэтому наиболее значимыми для поддержания экологического равновесия и эрозионной стабильности в рамках рассматриваемой территории являются лесные ландшафты. Несмотря на низкий уровень лесистости (менее 45%) территории, ее бонитет достаточно высок – 54 единицы (Добровольский, 1997), что соответствует среднему зональному уровню и среднему бонитету ландшафтов Пермского края. Однако при неизбежном изменении контура водоохраной зоны после снижения уреза до отметки 112,5 м, показатель залесенности понизится за счет заболоченных участков и составит не более 27%, что недостаточно для осуществления водоохранно-защитных и рекреационных функций, возлагающихся на водоохранную территорию в связи с ее пригородным положением (ГОСТ 17,1.5.02-80).

Исходя из бонитета и возраста растительного компонента, для рассматриваемых ландшафтов были рассчитаны функциональные параметры: фитопродуктивность и кислородопродуктивность, поскольку именно они определяют устойчивость и экологический статус территории в целом (Дьяконов, Дончева, 2002).

Структурно-функциональные характеристики ландшафтных единиц, их экологическая устойчивость существенно различаются (табл. 2.15). Наиболее продуктивны и устойчивы на уровне зонального максимума (10 баллов) зональные условно коренные южно-таежные лесные темнохвойные ландшафты. Каждый участок такого ландшафта площадью 1 га ежегодно поставляет в атмосферу свыше 16 т кислорода и дает около 120 ц/га растительной продукции в виде фитомассы. Несколько уступают им по оценочным параметрам, вследствие изменения видового состава растительности, вторичные лесные темнохвойно-лиственные ландшафты. Экологическая устойчивость у этих ландшафтных единиц не превышает 6 баллов. Из числа основных типологических особенностей, свойственных лесным ландшафтам рассматриваемой территории (кроме повышенной продуцирующей активности), необходимо отметить интенсивный биогеохимический круговорот, способствующий быстрой деструкции поступающих в ландшафт загрязнителей.

В числе экологических особенностей луговых ландшафтов следует отметить наличие дернового слоя, являющегося основным звеном устойчивости таковых к антропогенному воздействию (Исаченко, 1991). При нарушении сложившегося дернового горизонта луговые ландшафты в наибольшей степени, по сравнению с лесными ландшафтами, уязвимы к внешней нагрузке, проявляющейся в интенсификации эрозионных процессов.

Сокращение доли аквальных ландшафтов привело к формированию болотно-луговых. Они представлены в границах первоначальной акватории водохранилища, осушенной в результате начавшегося сброса воды. Для них характерен пониженный показатель устойчивости, не превышающий 2 баллов. Первоначально болотно-луговые ландшафты были приурочены к орографически пониженным участкам, где складывались условия для развития аккумулятивных процессов, определявшие их экологическую роль как накопителей загрязняющих ингредиентов. Данные ландшафты, располагаясь в пределах котловин стока, играют роль естественных природных фильтров очистки поверхностных вод. Они связывают загрязняющие ингредиенты, поступающие с поверхностным стоком, выводя их из биогеохимического круговорота. Эколого-стабилизирующие функции этих ландшафтных единиц низки, поэтому экологический потенциал участка поддерживается условно коренными и вторичными южно-таежными лесными ландшафтами, сохранившимися в настоящее время на 43,1% площади.

Таким образом, сложившаяся в настоящее время стабильная и функционально активная структура ландшафтов водоохраной зоны водохранилища неминуемо изменится. В связи с намечающимися мероприятиями по снижению уровня воды она трансформируется в направлении сокращения доли основных стабилизаторов – лесных ландшафтов – с одновременным увеличением доли болотных ареалов. Учитывая пригородное размещение объекта и его высокую рекреационную значимость, данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании новой водоохраной зоны. В соответствии с нормативами (ГОСТ 17,1.5.02-80; Положение…, 2003) проектом обустройства водоохраной зоны должно предусматриваться озеленение территории путем формирования древесно-кустарниковых насаждений с водоохранно-защитными свойствами на площади не менее 40%, создание функциональных участков рекреационного назначения, укрепление эрозионно-уязвимых береговых откосов.

2.6. Техногенные процессы, влияющие на экологическое состояние водохранилища

2.6.1. Оседание поверхности

Рассматриваемая территория расположена в пределах ВКМКС. Над выработанным пространством, несмотря на принимаемые меры, может развиваться проседание поверхности. Сдвижение горных пород способствует появлению на отдельных участках новых базисов дренирования водоносных горизонтов, подтоплению, заболачиванию, изменению площадей поверхностных водоемов. Опускание поверхности на участках с небольшими глубинами залегания грунтовых вод (до 2,5 м) вызывают заболачивание и подтопление территории. Калийное производство характеризуется извлечением значительных объемов сырья из недр и накоплением большого количества отходов, что ведет к загрязнению окружающей среды.

Плотина и ложе Нижнезырянского водохранилища подработаны выработками промышленных калийных пластов (рис. 2.17). Подработка осуществлялась в 50-х – 60-х гг. прошлого столетия.

Условные обозначения

- Контур отработки по пл. Кр2 на 01.07.2005 г.
- Контур отработки по пл. В на 01.07.2005 г.
- Контур отработки по пл. АБ на 01.07.1988 г.
- 2005 — Отработка пласта Кр2 в 2005 г.
- 2005 — Отработка пласта В в 2005 г.
- 1 2 3 4 — Профильная линия
- Фактическая закладка по пл. Кр2 на 01.07.2005 г.
- Планируемая закладка на 2005 г.
- Фактическая закладка по пл. АБ на 01.07.2005 г.
- Провалы на земной поверхности
- 100 — Изолинии суммарных оседаний

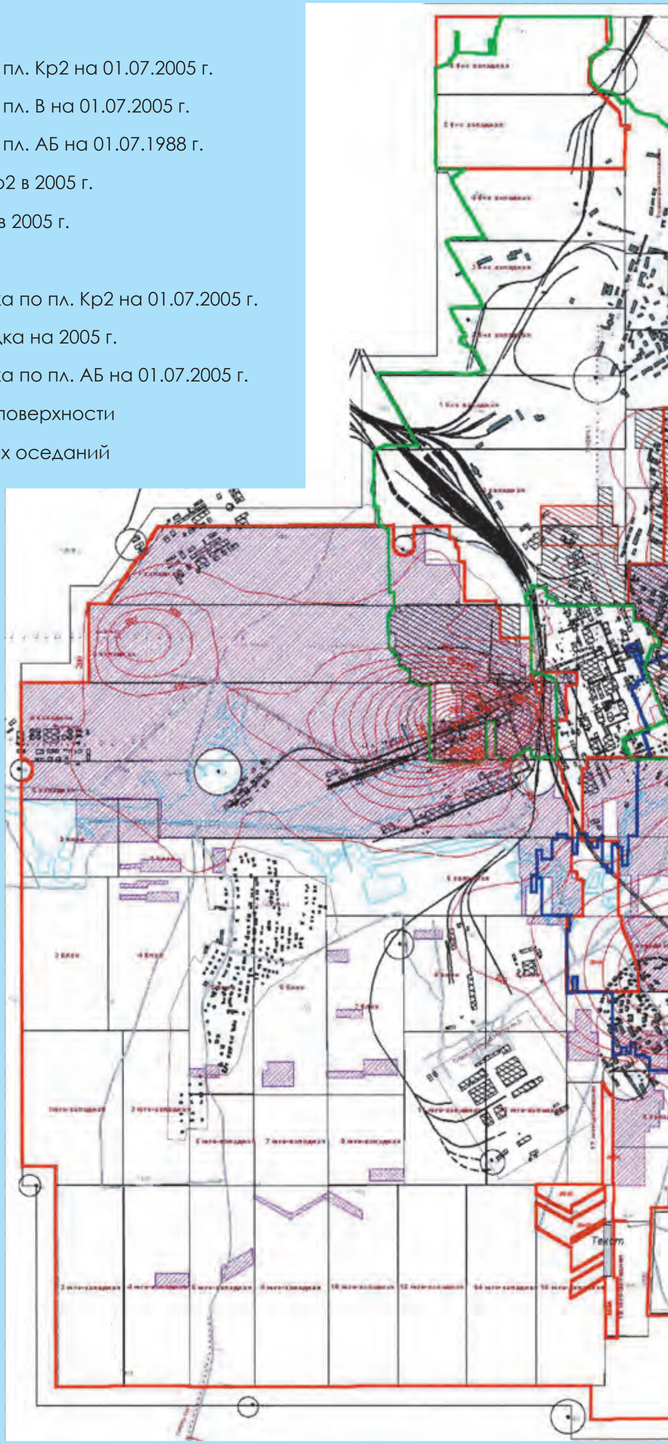
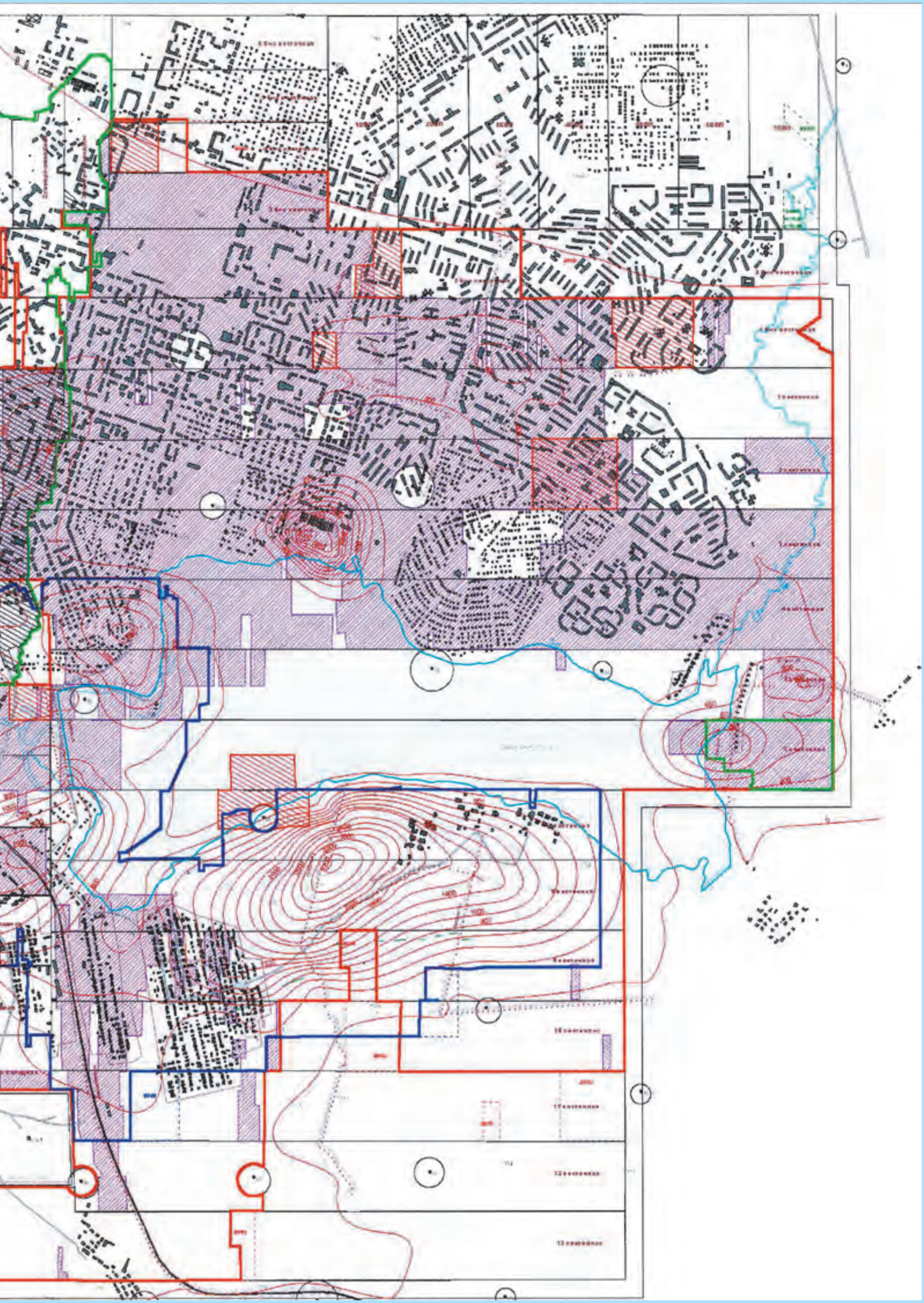


Рисунок 2.17. Совмещенный план г. Березники и горных работ БПКРУ-1 (карта оседаний).



Глубина разработки пластов составила 210–240 м (Акт обследования гидротехнических…, 2007). Вследствие особенностей строения земной поверхности, на калийных рудниках происходит деформация (оседание) сооружений, имеющая весьма длительный характер. В связи с этим в соответствии с «Актом обследования гидротехнических…, 2007» отметка НПУ Нижнезырянского гидроузла была понижена на 1 м относительно проектной.

Оседание поверхности в районе плотины

По данным маркшейдерских измерений осадки марок, установленных на земляной плотине за период 1977–2007 гг., изменились на 308 мм в зоне правобережного примыкания земляной плотины и до 1141 мм в зоне левобережного примыкания.

Вследствие этого, вместо проектной отметки гребня плотины 117,50 м, ее минимальная отметка в 2007 г. составила 116,36 м. Оседание устоев водосброса в зоне порога водослива за период с 1981 г. по 2007 г. составило 833 мм. Примерно такие же изменения коснулись отметок порога. При изменившихся эксплуатационных условиях, при НПУ 114,5 м минимальное превышение гребня водоподпорной ГТС гидроузла составляет 1,98 м, что является недостаточным. В соответствии с разработанными «Правилами…» для обеспечения безопасности необходимо 2,6 м.

При обследовании состояния конструктивных элементов ГТС в 2007 г. (Акт обследования гидротехнических…, 2007) были обнаружены следующие изменения и особенности:

- Участки территории, прилегающей к низовому откосу земляной плотины (справа от водосбора), обводнены.
- По данным эксплуатационного персонала на низовом откосе плотины в зимние месяцы проявляется фильтрация в виде небольшого «ключа».
- Продолжается интенсивная осадка плотины со скоростью до 30 мм в год.
- Выход дренажных вод наблюдается только из одной трубы, что вызывает сомнения в работоспособности дренажа.
- Осадка водосброса продолжается со скоростью до 32 мм в год.
- Осадка здания БНС продолжается с интенсивностью 11,2 мм в год.

Оседание поверхности в районе водохранилища и на прилегающих территориях

Специфика калийного производства требует проведения систематических наблюдений за оседанием поверхности. По результатам наблюдений на площадях отработанных пластов БКПРУ-1 составлен совмещенный план горных работ и изолиний суммарных оседаний (рис. 2.17). Из рисунка следует, что в районе Нижнезырянского водохранилища локализуются несколько зон оседания. Одна из них находится в районе плотины. В центральной части зоны деформации, включающей левобережную часть плотины и залив, образовавшийся в приустьевой части р. Крыжевка, сумма оседаний составляет 1600 мм. На левом берегу сформировалась обширная зона оседания с суммарным оседанием в центральной части 3200 мм. На правом – локализуется зона деформации небольших размеров. В приустьевой части р. Быгель (хвостовая часть водоема) зафиксирована осадка поверхности до 800 мм.

Оседания затронули ложе водохранилища, что привело к изменению подводного рельефа и особенностей осадконакопления.

2.6.2. Перетоки и разгрузка минерализованных подземных вод

Введению в действие калийных рудников предшествовали геологоразведочные работы на соль. При их детальном проведении на водосборной площади р. Зырянка было пробурено значительное количество скважин (сеть с шагом 1–2 км). В ряде случаев они объединили пресные и минерализованные подземные воды, изолированные водоупорными прослоями. Минерализованные воды в естественных условиях формируются путем выщелачивания верхних слоев солей. Откачки воды из скважин вызывали интенсификацию растворения солей и вынос их в верхние горизонты. Выполненный по завершении разведочных работ тампонаж скважин в настоящее время далеко не для всех из них стал гарантией гидродинамической изоляции водоносных горизонтов, содержащих пресные и соленые воды. Нарушение тампонажа скважин (а порой и отсутствие его) со временем создали условия для перетока минерализованных вод в пресноводную зону. Стволы негерметичных скважин стали выполнять роль «окна» в водоупорном прослое, разделяющем подземные воды различной минерализации.

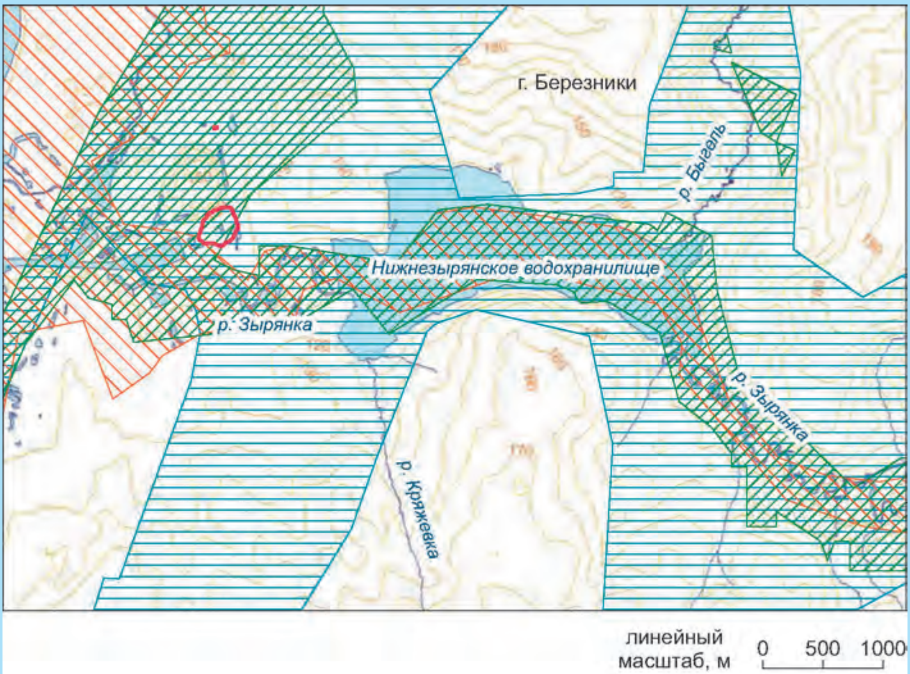
Имеются исторические сведения о существовании соляных промыслов на р. Зырянка в 4–5 км выше устья уже в XVI веке. Рассолоподъемные трубы закладывались по берегам рек в местах выхода соляных источников, при этом, скорее всего, они вообще не тампонировались. Добыча рассолов, осуществлявшаяся на берегу р. Зырянка до XX века, не прошла бесследно для приповерхностной гидросферы территории. Вокруг рассолоподъемных скважин, на участке между вскрытой кровлей соляной залежи и забоем, создались благоприятные условия для процессов выщелачивания соляных пород. Проводником минерализованных вод в пресноводную зону и на поверхность земли являлись незатампонированные стволы древних скважин. Не исключено, что некоторые рассолоподъемные трубы впоследствии были затоплены водохранилищем.

На побережье Нижнезырянского водохранилища и прилегающих территориях в различные годы было пробурено немало скважин различного назначения (структурные, гидрогеологические, разведочные на соль). Минерализованные воды на изучаемом участке часто залегают неглубоко, и некоторые скважины вскрыли эти воды. Нарушение тампонажного материала (или его отсутствие) является причиной поступления минерализованных вод по стволам этих скважин в пресноводную зону. В связи с этим проблема загрязнения приповерхностной гидросферы участка за счет перетоков по их негерметичным стволам весьма актуальна.

Анализ гидродинамической обстановки в районе Нижнезырянского водохранилища позволил оценить возможность перетоков и изливов подземных вод. По данным пьезометрических уровней вод ТКТ и СМТ и путем сопоставления их с отметками дневной поверхности и между собой была построена схема их возможных перетоков и изливов (рис. 2.18). При этом были использованы разновременные замеры уровней за достаточно длительный период времени. По ряду причин в этой схеме не учтено изменение гидродинамической обстановки после затопления рудника БКПРУ-1 (образовавшийся после этого затопления провал соединил водоносные горизонты СМТ и ТКТ). Тем не менее данная схема может дать общее представление о взаимосвязях между водоносными горизонтами. На ней выделено три зоны возможной восходящей вертикальной циркуляции (Максимович и др., 2012).

Зона 1. Сопоставление пьезометрических уровней вод ТКТ с абсолютными отметками поверхности земли (рис. 2.18) позволило оконтурить область, где уровень подземных вод ТКТ равен или располагается выше дневной поверхности. Эта область отличается высокой вероятностью изливов подземных вод ТКТ из скважин на поверхность. Она располагается в центральной части и в береговой зоне Нижнезырянского водохранилища. Площадь зоны 1 в пределах рассматриваемого участка составляет 3,27 км².

Зона 2. Эта зона представляет собой область, где уровни вод СМТ могут быть равны или располагаться выше поверхности земли. В ее границах возможна разгрузка природных соленых вод по стволам скважин. При наличии естественных путей миграции здесь наблюдаются соленые источники. Именно такие выходы соленых подземных вод люди искали в XVI веке по берегам р. Зырянки для



Условные обозначения

- Зона 1. Возможны перетоки и изливы подземных вод из ТКТ на поверхность
- Зона 2. Возможны перетоки и изливы подземных вод из СМТ на поверхность
- Зона 3. Возможны перетоки и изливы подземных вод из СМТ в ТКТ
- Провал

Рисунок 2.18.
Зоны возможных перетоков и изливов подземных вод (Максимович и др., 2012).

обустройства рассолоподъемных скважин. Эта зона охватывает долины рек Зырянка и Быгель, а также всю акваторию и береговую часть Нижнезырянского водохранилища. Площадь данной зоны составляет 8,03 км^2.

Зона 3. По результатам сопоставления пьезометрических уровней в ТКТ и СМТ были выделены области, где уровни вод СМТ устанавливаются выше уровней ТКТ. В этой зоне при наличии перетоков по стволам негерметичных скважин пресный водоносный горизонт будет засоляться на всю мощность. Учитывая, что в соляно-мергельной толще не содержится пресных вод, можно сделать вывод, что в пределах выделенной зоны будет происходить засоление пресноводных горизонтов ТКТ. Дефекты в скважинах потенциально могут сказаться на составе вод, разгружающихся в зоне 3. Зона 3 является самой обширной, занимая 20,44 км^2. Отметим, что провал, обведенный на рисунке 2.18 красной линией, находится на участке совмещения зон 2 и 3. В настоящее время по нему происходит излив смешанных вод ТКТ и СМТ.

Скважины, пробуренные в разное время на берегах Нижнезырянского водохранилища и вскрывшие соленые воды, за счет перетоков по стволам принимают участие в засолении пресноводных горизонтов ТКТ и поверхностных вод. Работ по изучению этого процесса на территории рассматриваемого участка не проводилось. Найти устья скважин на местности часто не представляется возможным. Выделенные зоны (рис. 2.18) позволяют анализировать варианты загрязнения пресных подземных вод за счет перетоков (и изливов) применительно к конкретному участку.

Процесс загрязнения пресных подземных и поверхностных вод за счет перетоков по стволам скважин имеет особенности, которые находят свое отражение на гидрохимическом облике подземных вод. Минерализованные подземные воды, формирующиеся за счет процессов выщелачивания соляных пород, характеризуются как хлоридно-натриевые. Пресные воды ТКТ имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Минерализованные воды по негерметичным стволам скважин, за счет имеющихся напоров в толще, поднимаются вверх, в зону пресных вод ТКТ. Перетоки, продолжающиеся длительное время, приводят к изменению гидрохимического облика подземных вод на участке воздействия: в водах ТКТ увеличивается минерализация и заметно возрастает содержание ионов хлора, кальция, натрия. Дополнительное поступление кальция, возможно, связано с природным куполом соленых сульфатно-кальциевых вод, о существовании которого под р. Зырянка высказывались А. И. Коротков и Н. И. Головина. Купол не достиг дна реки, но мог быть пройден скважинами, пробуренными в долине реки.

Под воздействием причин природного или техногенного характера (а часто и совместного их проявления), среди которых основная роль отводится перетокам, на водосборной территории Нижнезырянского водохранилища, сформировались соленые источники, среди которых следует выделить:

- родники на левом берегу водохранилища северо-восточнее пос. Новая Зырянка (минерализация 1,5–4,2 г/л);
- родник на правом берегу водохранилища у д. Суханово (минерализация 9 г/л);
- родники в долине р. Быгель у д. Чупино (минерализация 5–12 г/л);
- родники в долине р. Зырянка выше водохранилища (минерализация до 12 г/л).

Разгрузка засоленных подземных вод осуществляется в долинах рек Зырянка и Быгель как в виде родников, так и субаквально. Из источников вода высокой минерализации стекает в Нижнезырянское водохранилище, реки Зырянка и Быгель. Постоянное поступление в разной степени минерализованных подземных вод оказывает заметное влияние на гидрохимический режим исследуемого водоема. Влияние выражается в увеличении минерализации воды в водоеме, возрастании содержания ионов хлора, кальция, натрия.

2.6.3. Загрязнение сточными ливневыми водами

На северном берегу Нижнезырянского водохранилища расположен г. Березники, и в связи с этим водный объект испытывает определенное воздействие, которое в основном связано со стоком в водоем с территории города талых и дождевых вод, а также забор воды на производственные нужды. Ливневые сточные воды поступают в водоем самотеком по пониженным участкам рельефа. Кроме того, сточные воды с территории города сбрасываются в р. Быгель и вместе с водами реки поступают в водохранилище. Основным фактором, определяющим объемы поступающих в водохранилище ливневых сточных вод при отсутствии аварийных ситуаций, является количество осадков (твердых и жидких), выпадающих над территорией города. Предприятием, контролирующим сброс в водоем загрязняющих веществ с дождевыми и талыми водами, является МУП «Дирекция Единого Заказчика по ЖКХ г. Березники». В таблице 2.16 приведены объемы сбрасываемых вод по данным статистической отчетности за 2003–2006 гг., в таблице 2.17 указан перечень основных контролируемых загрязняющих веществ в этих водах и их годовое количество. На рисунке 2.19 показаны участки сброса ливневых вод с территории города в водохранилище и р. Быгель.

Рисунок 2.19.
Участки сброса дождевых и талых вод с территории г. Березники.

2.6.4. Привнос загрязняющих веществ рекой Зырянка и ее притоками

Нижнезырянское водохранилище находится в нижнем течении р. Зырянка, поэтому роль привноса загрязняющих веществ в рассматриваемый водоем извне иногда является весьма значимой.

Естественный гидрохимический облик воды р. Зырянка имеют только в верхнем течении: минерализация рек Извер и Легчим (в месте их слияния начинается Зырянка) составляет 200–210 мг/л при концентрациях хлоридов 8–16 мг/л. Во входном створе водохранилища минерализация вод достигает 1 г/л при преобладании в составе ионов натрия, калия (305 мг/л) и хлора (326 мг/л).

Формирование химического состава речной воды от устья рек Легчим и Извер до входного створа водохранилища происходит под влиянием нескольких природных факторов. Во-первых, это привнос загрязняющих веществ ручьями Пичуга, Круглый Рудник, Пономаревский Лог, вода которых в настоящее время имеет хлоридно-натриевый состав, минерализацию 2–13 г/л и высокое

Таблица 2.16.
Объемы сбрасываемых ливневых сточных вод в Нижнезырянское водохранилище за 2003–2006 гг. (по данным статистической отчетности МУП «Дирекция Единого Заказчика по ЖКХ г. Березники»).

	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Количество выпусков	3	3	3	2
Сброс, всего ливневых сточных вод, тыс. м^3	200,4	216,2	174,4	131,41
Объемы сбрасываемых ливневых сточных вод без очистки, тыс. м^3	200,4	216,2	174,4	131,41

Таблица 2.17.
Загрязняющие вещества и их годовое количество в ливневых сточных водах, сбрасываемых в Нижнезырянское водохранилище, за 2003–2006 гг. (по данным статистической отчетности МУП «Дирекция Единого Заказчика по ЖКХ г. Березники»).

Загрязняющие вещества, т	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
БПК	1,1	0,381	1,97	1,85
Взвешенные вещества	88,5	56,36	122,24	110,0
Сухой остаток	56,5	92,21	22,31	23,93
Нефтепродукты	0,14	0,15	0,3	4,56
Валовое количество	145,94	149,101	146,82	140,34

содержание хлоридов (6–12 г/л). Во-вторых, по левобережной части долины р. Зырянка (выше Нижнезырянского водохранилища) происходит разгрузка подземных вод, минерализация которых и содержание хлор-иона в них изменяются в очень широких пределах: 0,4–12 г/л и 0,72–6,2 г/л. В-третьих, происходит разгрузка (излив) минерализованных вод в поверхностные водотоки (р. Зырянка и ее приток) из скважин с поврежденными оголовками.

Привнос загрязняющих веществ во многом связан с р. Быгель, которая испытывает техногенное воздействие от промышленных предприятий и г. Березники. Примером воздействия может служить водозабор Быгель-3. Условия его эксплуатации привели к засолению пресноводных горизонтов. В 1990-х гг. беспрерывный выпуск засоленных подземных вод на рельеф и в р. Быгель из скважин водозабора Быгель-3 привел к засолению вод реки. В период зимней межени (март 1992 г.) при расходе воды 0,17 $м^3/с$ значение минерализации вблизи устья реки повысилось до 2763 мг/л. Такая ситуация не могла не сказаться на химическом составе вод водохранилища.

Результаты гидрологической съемки, проведенной в 1992 г., позволили оценить влияние р. Быгель на формирование минерализации водоема, которая на период съемки составляла 1440 мг/л (при расходе в нижнем бьефе равном 1,48 $м^3/с$). Согласно расчету (Сопряженная инвентаризация природных…, 1998), доля участия в формировании загрязняющих водохранилище химических веществ составляла 25% от их массы, то есть за счет загрязняющего воздействия р. Быгель минерализация в вохранилище повысилась на 285 мг. Выпуск засоленных вод продолжался до 1997 г.

После прекращения водоотбора ситуация стабилизировалась. Опробование, проведенное в августе 2005 г., показало, что в нижнем течении р. Быгель минерализация вод составляет 0,9–1,3 г/л, в составе вод преобладают ионы хлора и кальция, что в основном обусловлено разгрузкой засоленных родников в д. Чупино.

Засоление р. Быгель, несомненно, сказалось на составе вод и донных отложений Нижнезырянского водохранилища.

Глава 3

Методические основы и комплексное обследование малого водохранилища

3.1. Характеристика донных отложений

3.1.1. Методика проведения полевых работ

Отбор проб донных отложений на разные виды анализов производился по заранее намеченным точкам согласно предварительно разработанной программе полевых исследований. В основе выбора точек отбора проб грунта – модель пространственного распределения донных отложений (подробнее см. гл. 4). На основании исследований отобранных проб была построена карта распространения грунтов с различной степенью загрязнения.

Всего было отобрано 70 проб донных отложений (рис. 3.1).

Отбор проб донных отложений осуществлялся с помощью штангового дночерпателя типа ГР-91 и дночерпателя Петерсена в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». Отбор проб производился с борта лодки; на

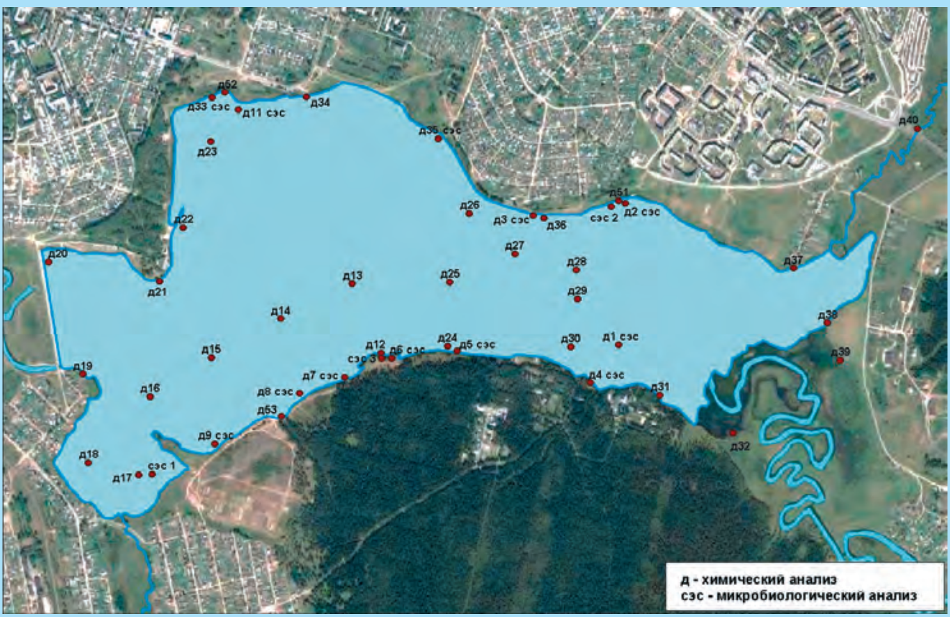


Рисунок 3.1.
Схема отбора проб донных отложений Нижнезырянского водохранилища: д – химический анализ, сэс – микробиологический анализ.

участках с малыми глубинами, исключавшими возможность подхода лодки, пробы отбирались путем захода со стороны берега.

Пробы анализировались на содержание цинка, кобальта, кадмия, меди, свинца, никеля, мышьяка, сурьмы, ртути, нефтепродуктов и токсичность; на микробиологические показатели (общие колиформные бактерии, группа кишечной палочки, патогенные микроорганизмы, энтерококки); на содержание токсичных солей; активность «дыхания» донных отложений; фитотоксичность; агрохимический и механический состав.

Батиметрические съемки объекта исследования производились с лодки с использованием цифрового эхолота «HUMMINBIRD 997c», позволяющего осуществлять промеры глубин до 500 м с точностью в пределах 0,1% от измеряемой глубины. Для исключения погрешностей, вызванных неоднородностью грунтов дна и водной растительностью водохранилища, производились контрольные промеры глубин с помощью модернизированной гидрометрической штанги ГР-56М. Координаты точек батиметрической съемки, а также точек отбора проб воды и донных отложений определялись с помощью портативного GPS-приемника.

3.1.2. Мощность накопленных донных отложений и их распределение по площади

Нижнезырянское водохранилище относится к неглубоким искусственным водоемам. Средняя его глубина составляет 1,9 м, максимальная – 5,6 м (табл. 3.1). Распределение глубин по акватории отличается неравномерностью (рис. 3.2). Наибольших значений глубины (4 м и выше) достигают в приплотинной части, постепенно уменьшаясь по направлению к верховью водоема и его берегам.

Современный рельеф дна водохранилища является результатом преобразования рельефа затопленной речной долины в

Таблица 3.1.
Характеристики донного рельефа Нижнезырянского водохранилища.

Характеристика		НПУ 114,5 м	НПУ 112,5 м
Глубина	средняя, м	1,9	1,0
	максимальная, м	5,6	3,6
Площадь мелководий	км^2	1,9	1,6
	% от площади водохранилища при НПУ	52	93

процессе осадконакопления. В целом произошла нивелировка подводного рельефа, что становится очевидно при сопоставлении гипсометрических профилей дна до затопления и современных (рис. 3.3–3.5). В результате заполнения наносами отрицательных форм донного рельефа затопленные русла рек Зырянка и Быгель в рельефе дна водохранилища в настоящее время морфологически не выражены (Максимович и др., 2011).

Дно водохранилища характеризуется пологим рельефом, уклоны которого в пределах всей акватории не превышают 2° (рис. 3.6). На подавляющей площади дна уклоны рельефа составляют менее 0,5°; уклоны, превышающие 0,5°, наблюдаются на участках прибрежной полосы центральной и приплотинной частей водоема. Лишь на отдельных участках, где затопленное русло подходит близко к берегу, а также в наиболее глубокой приплотинной части водоема, уклоны рельефа дна составляют более 1°.

По результатам расчетов, общий объем донных отложений, накопленных за время существования водохранилища, составляет 3,5 млн $м^3$, из которых 0,14 млн $м^3$ приходится на затопленную русловую ложбину рек Зырянка и Быгель. Расчетный объем донных отложений, находящихся в пределах предполагаемой зоны осушения при отметке 112,5 м, составляет 1,5 млн $м^3$ (табл. 3.2).

Распределение донных отложений по акватории водохранилища отличается большой неравномерностью (рис. 3.7), обусловленной морфометрическими особенностями водоема. Общей закономерностью распределения отложений является увеличение их мощности от верховьев к плотине и от берегов к затопленному руслу р. Зырянка, что наглядно иллюстрируют гипсометрические профили дна водохранилища (рис. 3.4 и 3.5). На фоне относительно небольших мощностей донных отложений, не превышающих 1 м, имеются участки дна с повышенными мощностями отложе-

Таблица 3.2.
Количественные характеристики донных отложений Нижнезырянского водохранилища.

Показатель		В целом для водохранилища	В пределах предполагаемой зоны осушения
Объем, млн $м^3$		3,5	1,5
Мощность, м	средняя	1,1	0,8
	максимальная	4,3	3,0
Площадь, га		365,0	193,0

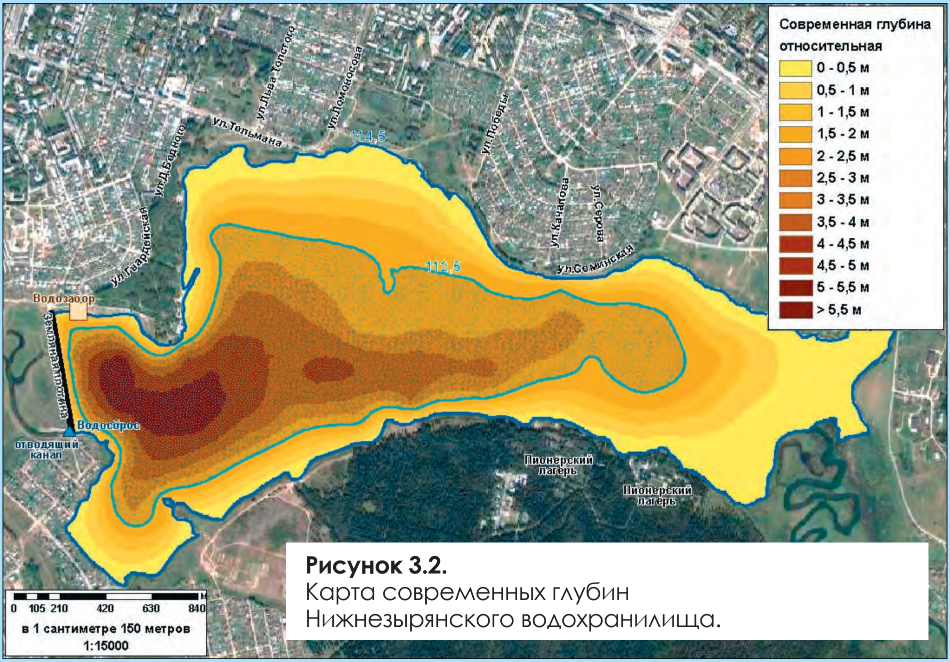


Рисунок 3.2.
Карта современных глубин Нижнезырянского водохранилища.

Рисунок 3.3.
Схема размещения гипсометрических профилей дна Нижнезырянского водохранилища.

Рисунок 3.4.
Продольный гипсометрический профиль дна Нижнезырянского водохранилища.

Условные обозначения

Глубина до затопления с учетом оседания

Современная глубина

Донные отложения

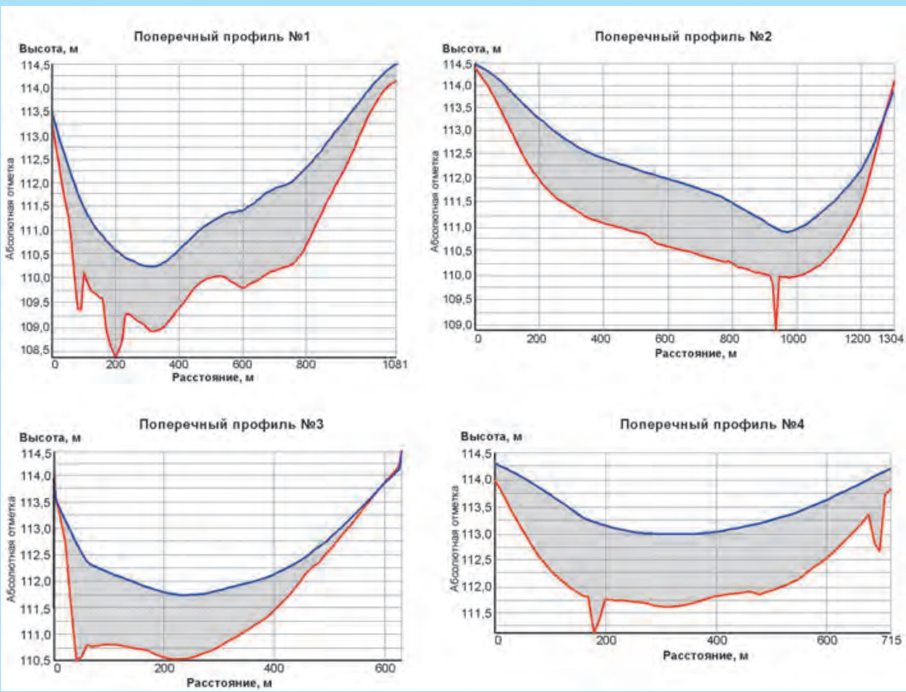


Рисунок 3.5.
Поперечные гипсометрические профили дна Нижнезырянского водохранилища.

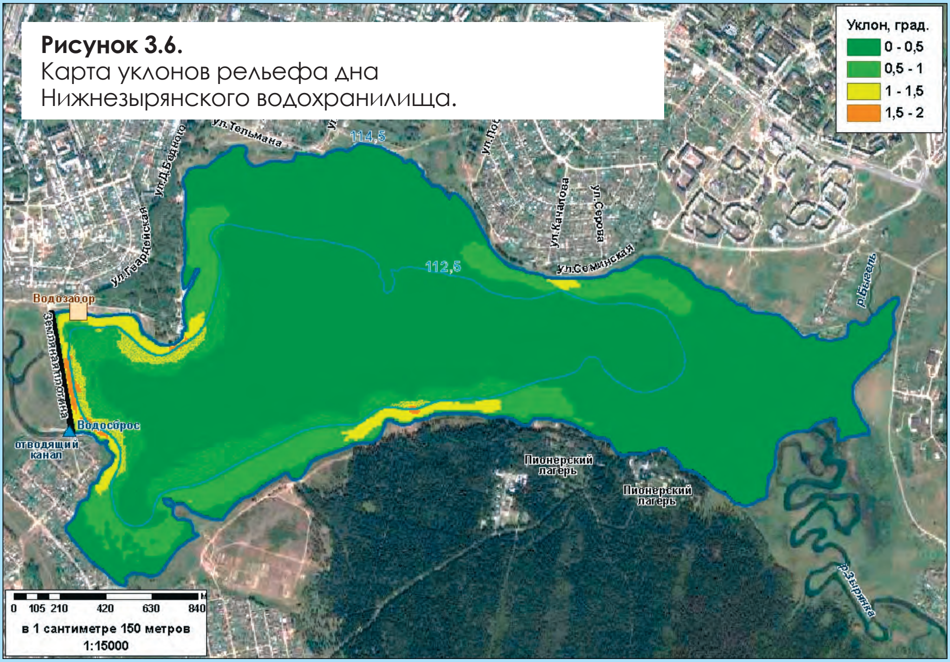


Рисунок 3.6.
Карта уклонов рельефа дна Нижнезырянского водохранилища.

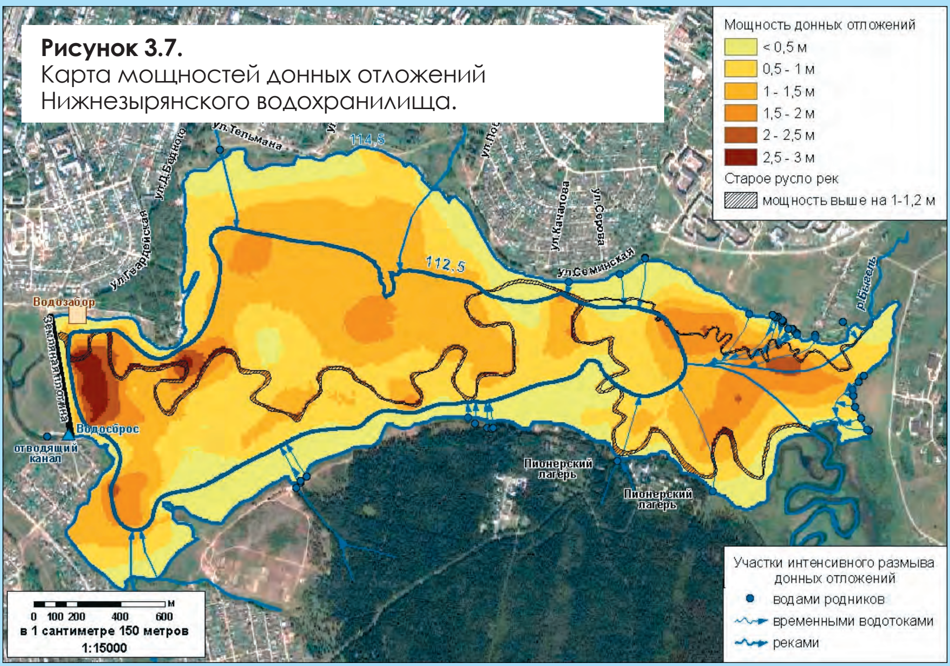


Рисунок 3.7.
Карта мощностей донных отложений Нижнезырянского водохранилища.

ний. По характеру их распределения Нижнезырянское водохранилище можно разделить на 3 участка.

Первый участок приурочен к верховью водохранилища. Здесь наблюдается крупный ареал донных отложений, мощность которых составляет 1–2 м. В центральной части водоема находится второй значительный по площади ареал повышенных (1–2 м) мощностей донных отложений, приуроченный к ее озеровидному расширению. Еще более значительные мощности донных отложений наблюдаются в самой глубокой, приплотинной части водохранилища. Здесь сформировался заметный ареал донных отложений, высота слоя которых достигает 3 м.

Наибольшие толщи донных отложений наблюдаются в затопленном русле рек Зырянка и Быгель, где они на 1–1,2 м выше, чем на примыкающих к руслу участках дна. В затопленном русле приплотинной части водоема была зафиксирована максимальная для водохранилища мощность донных отложений, составившая 4,3 м.

3.1.3. Состав донных отложений и их соответствие нормативным показателям

Программа обследования включала изучение состава донных отложений по физико-химическим и микробиологическим показателям, регламентируемым действующим законодательством применительно к водным объектам, с определением их химической опасности и биологической токсичности. Для анализа и последующей оценки состава донных отложений использованы критерии, рекомендованные ГКНТ МПР РФ (Критерии…, 1992), санитарно-эпидемиологические требования и гигиенические нормативы, утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ (ГН 2.1…, 2006). Оценка выполнена с учетом перспектив возможного последующего использования донных отложений в качестве почвообразующих пород в случае принятия решения о рекультивации обезвоженной части, или при частичной вывозке иловых масс для землевания агрохозяйственных объектов, поэтому при анализе, в числе прочих, использованы почвенные показатели качества грунтов (Критерии…, 1992).

Химические показатели

Химическое состояние донных отложений изучалось с позиций стандартного перечня обязательных показателей. В составе контролируемых учтены загрязнители нескольких групп: тяжелые металлы (в соответствии с рекомендованным перечнем), нефтепродукты, водородный показатель (pH) и суммарный показатель химического загрязнения (Zc). Результирующей величиной, рекомендованной нормативами для оценки экологического состояния, является суммарный показатель химического загрязнения. Он рассчитывается как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по их фактическому превышению фоновых значений или ПДК. Данный показатель отражает суммарную степень нагрузки на почвы и грунты, являясь, таким образом, индикатором экологического состояния территории в целом (Критерии…, 1992; СанПиН…, 2003–2007; СП…, 1997).

Расчетные значения Zc для изучаемого объекта приведены в таблице 3.3. Согласно этому показателю фактическая химическая нагрузка на донные отложения в территориальном плане неравномерна. В границах акватории есть участки практически чистые (пробы д6, д7, д8, д9, д30, д31), для которых не выявлено превышений ни по одному из рассматриваемых загрязняющих ингредиентов; суммарный показатель Zc для этих проб имеет значения от 0,0 до 3,4. Отклонение от нулевых значений обусловлено незначительным (менее 1,3 ПДК) превышением содержаний Zn (1 класс опасности) и Ni (2 класс опасности)(Максимович и др., 2008).

Согласно шкале оценки подобное отклонение (менее двух ПДК) позволяет оценить экологическую ситуацию на уровне допустимой. Все перечисленные «чистые» пробы приурочены к южной прибереговой зоне водохранилища: от песчаной косы, отделяющей побережье в районе пос. Новая Зырянка и участок берега с сохранившимся лесным массивом, до пионерлагеря включительно (рис. 3.8). Однако всю южную прибереговую зону распространения донных отложений нельзя отнести к «чистой», поскольку участки с допустимыми значениями Zc чередуются здесь с загрязненными, суммарный показатель загрязнения для которых превышает допустимый уровень. Так, например, проба грунта д12, отобранная в южной прибрежной зоне между отнесенными к «чистым» пробами д6 и д7, дает превышение по Zc, равное 23 единицам. Содержание в этой пробе водорастворимых форм Zn (1 класс опасности) достигает 243 мг/кг, то есть в 10 раз выше ПДК, в то время как превышения концентрации элементов 1 класса экологической опасности свыше 5 ПДК позволяют относить экологическую ситуацию к разряду чрезвычайно опасной.

Таблица 3.3.
Содержание подвижных (водорастворимых) форм тяжелых металлов в донных отложениях Нижнезырянского водохранилища.

№№ проб	Концентрации элементов (класс опасности), мг/кг						Нефте-продукты	Zc
	Zn(1)	Co(2)	Cd(1)	Pb(1)	Ni(2)	Всего		
ПДК (СанПин, 2007)	23	5	Фон 0,01	6	4	38,05	Фон 0,95	16,0
Д1	129,00	4,00	<0,01	<0,05	12,00	145,06	0,55	9,6
Д2	131,00	13,00	<0,01	0,23	285,00	429,24	8,00	79,6
Д3	36,00	3,00	<0,01	<0,05	15,00	54,06	0,30	5,4
Д4	17,00	2,30	<0,01	<0,05	6,60	25,96	0,20	1,6
Д5	32,00	3,50	<0,01	<0,05	7,00	42,56	0,30	3,2
Д6	25,00	3,00	<0,01	<0,05	7,00	35,06	<0,01	2,9
Д7	18,00	3,00	<0,01	<0,05	5,80	26,86	0,20	1,3
Д8	13,00	0,02	<0,01	<0,05	2,50	15,58	0,10	0,0
Д9	16,00	0,05	<0,01	<0,05	2,50	18,61	0,19	0,0
Д11	10,00	0,76	<0,01	<0,05	2,50	13,02	0,12	0,0
Д12	243,00	9,00	<0,01	17,00	31,00	300,01	0,30	23,0
Д13	166,00	10,00	<0,01	20,00	35,00	231,01	0,47	21,3
Д14	55,00	12,00	<0,01	9,00	23,00	99,01	0,75	12,1
Д15	164,00	7,70	<0,01	13,00	21,00	205,71	0,80	16,1
Д16	186,00	9,00	0,5	21,00	38,00	254,05	0,90	72,9
Д17	182,00	5,00	<0,01	10,00	13,00	210,01	0,83	13,9
Д18	243,00	9,00	0,2	11,00	16,00	279,20	1,40	38,2
Д19	186,00	8,00	0,5	19,00	30,00	243,50	1,80	70,4
Д20	127,00	11,00	<0,01	41,00	54,00	233,01	3,00	28,0
Д21	55,00	0,01	<0,01	5,00	11,00	71,02	0,94	5,2
Д22	104,00	6,40	<0,01	2,40	41,00	153,81	1,60	16,0
Д23	211,00	4,50	<0,01	9,00	19,00	243,51	0,74	16,0
Д24	92,00	6,50	<0,01	17,00	28,00	143,51	0,47	15,1
Д25	57,00	5,50	<0,01	8,00	23,00	93,51	1,20	10,7
Д26	121,00	10,00	<0,01	13,00	34,00	178,01	0,01	18,0
Д27	78,00	5,50	<0,01	9,00	19,00	111,51	1,30	10,8
Д28	44,00	0,01	<0,01	4,00	13,00	61,02	0,13	5,2
Д29	60,00	7,20	<0,01	8,60	12,00	87,81	0,84	8,4
Д30	16,00	1,90	<0,01	7,30	9,00	34,21	0,01	3,4
Д31	4,00	0,01	<0,01	0,02	4,00	8,04	0,01	0,0
Д32	77,00	2,50	<0,01	6,40	12,00	97,91	0,30	7,4
Д33	97,00	4,70	<0,01	17,00	40,00	158,71	3,20	17,0
Д34	29,00	0,01	<0,01	5,00	13,00	47,02	0,01	13,6
Д35	26,00	0,01	<0,01	3,00	8,00	37,02	0,02	3,3
Д36	50,00	0,01	<0,01	15,00	6,00	71,02	0,01	6,2
Д37	185,00	3,00	<0,01	4,00	9,00	201,01	2,70	10,2
Д38	51,00	1,60	<0,01	6,80	6,00	65,41	0,30	5,9
Д39	26,00	2,40	<0,01	5,70	8,00	42,11	0,56	3,1
Д40	103,00	4,50	<0,01	8,00	50,00	165,51	2,40	18,3

Наиболее загрязненные пробы донных отложений со значениями Zc выше 16 составляют 28% от суммарного количества проб. В их числе: с превышениями суммарного показателя в интервале значений 16–32, позволяющими отнести донные отложения к грунтам категории *умеренно опасного* загрязнения, пробы д12, д13, д15, д20, д26, д33, д40 – всего 7 проб; с превышениями в интервале значений 32–79, то есть на уровне *опасно загрязненных*, выявлено 4 пробы – д2, д16, д18, д19 (табл. 3.3). Наиболее загрязненные пробы донных отложений характерны для участка аккумуляции стоков ливневой канализации – проба д2 (Zc – 79,6) и для акватории с ослабленным водообменном в заливе у пос. Новая Зырянка – пробы д16, д18, д19 (Zc – в пределах 38,2–72,9) (рис. 3.8).

Из общего количества отобранных и проанализированных проб донных отложений 83% показали превышения содержания химических элементов 1 класса опасности, в том числе:

цинк – 82% проб, из них 43% проб с более чем трехкратным превышением относительно ПДК. Максимальные концентрации

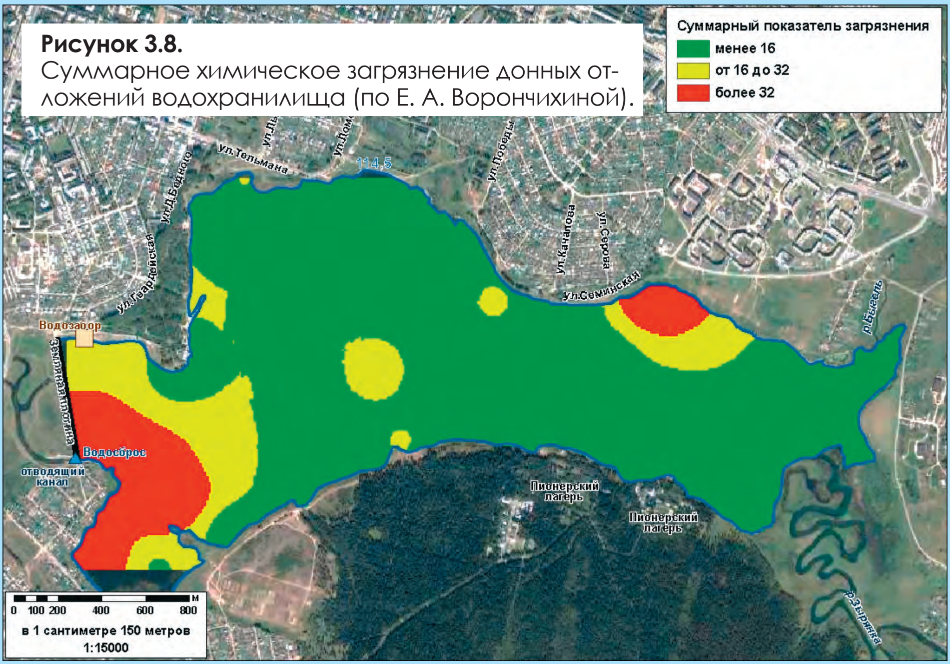


Рисунок 3.8.
Суммарное химическое загрязнение донных отложений водохранилища (по Е. А. Ворончихиной).

Zn (на уровне 10 ПДК) зафиксированы в пробах д12, д18 и д23, отобранных в нижней части водохранилища;

кадмий – 8% проб; в пробах д16, д18, д19 фоновое содержание Cd превышено от 20 до 50 раз. Указанные пробы отражают концентрацию этого загрязнителя в донных отложениях застойного участка водохранилища, примыкающего к пос. Новая Зырянка;

свинец – 54% проб, в том числе в пробах д13, д16, д19, д20 отмечены превышения ПДК более 3-х раз. Все эти пробы тяготеют к нижней приплотинной части водоема. Максимальная концентрация Pb (на уровне 7 ПДК) выявлена в пробе д20, отобранной в северной части приплотинной зоны.

Таким образом, по химическим показателям состояние донных отложений весьма неоднородно. Наиболее высокой химической нагрузкой характеризуются юго-западная приплотинная часть водохранилища и участок северной прибрежной зоны в ареале воздействия стоков ливневой канализации с территории городской застройки. На этих участках водохранилища современное состояние донных отложений, оцененное по суммарной химической нагрузке, соответствует категории «опасное загрязнение». На остальной части водохранилища химическое загрязнение донных отложений представлено очагово, небольшими по площади локальными участками, обусловленными различиями в условиях илонакопления на фоне неоднородного рельефа дна. Современная химическая нагрузка этих очаговых участков в суммарном выражении не выходит за пределы колебаний Zc <16 и <32, то есть находится в рамках допустимой и умеренно опасной.

Общие токсикологические показатели и фитотоксичность

Токсикологическое состояние донных отложений рассмотрено согласно нормативным требованиям по санитарно-гигиеническим показателям и общей фитотоксичности. Акватория водохранилища при этом условно принята за объект временного хранения отходов в виде донных отложений. Согласно полученным результатам, значительная часть донных отложений – 54% всех проб – относится к 5 классу токсической активности, то есть, к нетоксичным, не представляющим экологической опасности. В меньшей степени – 31% проб – распространены отложения, относящиеся к 4 классу токсичности (в экологическом отношении мало опасные). Из общего количества отобранных проб всего 15% (6 проб) можно отнести к 3 классу токсичности, характеризующемуся умеренной экологической опасностью. Территориальное распространение токсической нагрузки показано на рисунке 3.9.

Анализ распределения токсической активности относительно химической нагрузки показал, что в территориальном аспекте все пробы 3 класса токсичности соответствуют участкам водохранилища, неблагополучным по химической нагрузке, это: д2 – северная прибереговая зона в акватории сброса ливневой канализации, д18, д19, д20 – западная приплотинная часть водохранилища; д33 – северо-западный «угол» водохранилища, зона аккумуляции безымянного водотока с территории городской застройки в районе ул. Тельмана; д37 – северо-восточная часть водохранилища, участок отложений, формирующихся под влиянием стоков, выносимых р. Быгель (рис. 3.9). Токсичность проб обусловлена повышенной концентрацией тяжелых металлов – Zn (1 класс экологической опасности) и Ni (2 класс экологической опасности). При

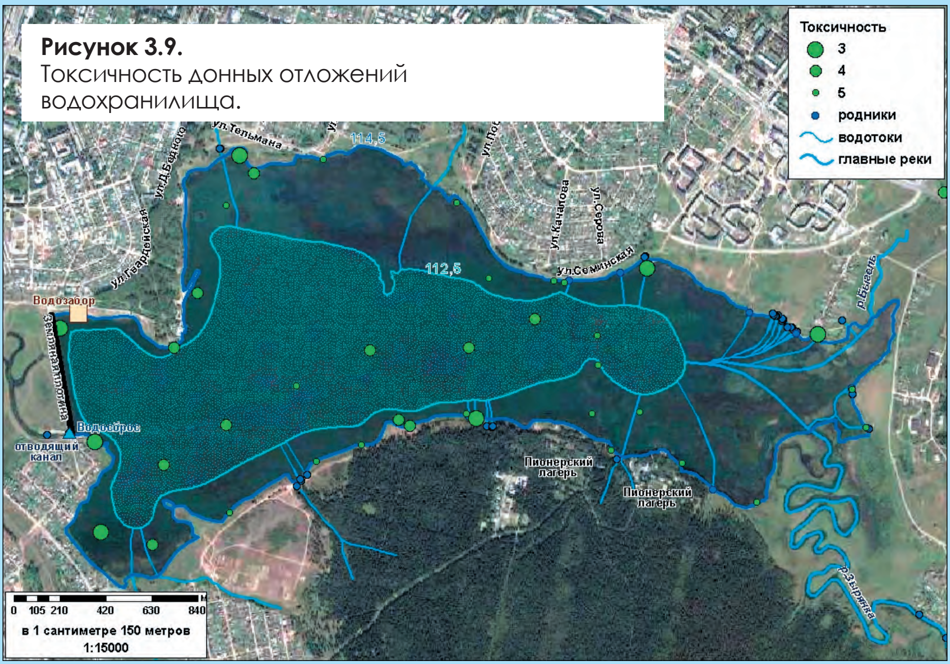


Рисунок 3.9.
Токсичность донных отложений водохранилища.

этом концентрация Zn – в пределах 1,5–10,6 ПДК; Ni – в пределах 1,8–71,3 ПДК.

В связи с перспективами возможной утилизации донных отложений, В. И. Каменщиковой была изучена фитотоксичность донного субстрата в лабораторных опытах с семенами агрокультуры (пшеница) и травосмесей (овсяница луговая, лисохвост луговой). Количественные показатели роста и развития культур на донных субстратах приведены в таблицах 3.4, 3.5 и на рисунке 3.10. Для анализа состояния растений в опытах использованы морфометрические и весовые показатели – высота надземной части растений, длина корневых систем, фитомасса надземная и корневая.

В качестве контрольных образцов в опытах использованы чистые, без превышений по выявленным для донных отложений токсикантам, луговая (контроль 1) и лесная (контроль 2 в табл. 3.4) дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы. Сравнительный

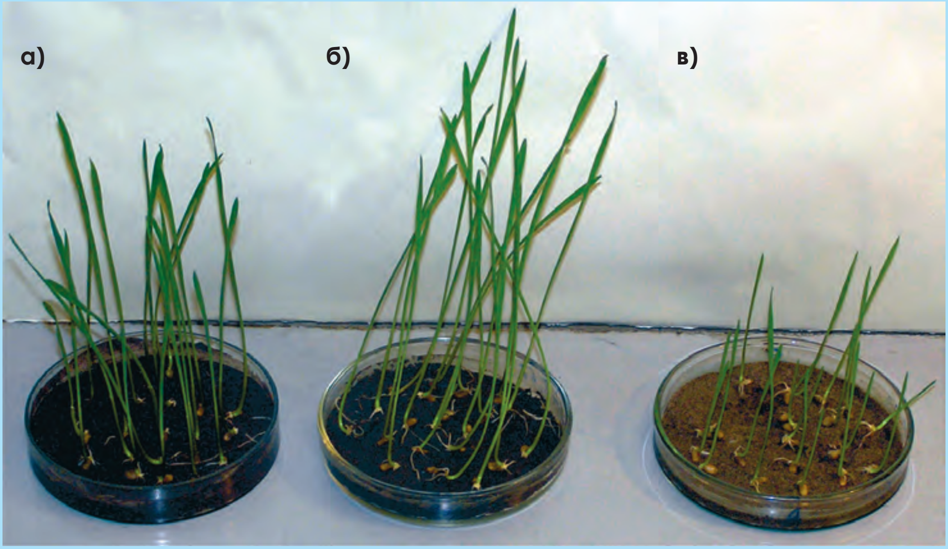


Рисунок 3.10.
Состояние растений в опытах на фитотоксичность донных отложений:
а) контрольный образец,
б) донные отложения из верхней части водохранилища (проба д1),
в) донные отложения из загрязненной части водохранилища (проба д5).

анализ состояния растений в различных вариантах опыта и в контроле показал, что пригодность донных отложений для использования под агрокультуры зерновых с разных участков водохранилища неодинакова. Наиболее пригодны для этих целей донные отложения суглинистого состава северо-восточной части акватории (пробы д1 и д2): опытные экземпляры пшеницы дали на этих субстратах заметно больший прирост и вес по сравнению с контролем (табл. 3.4, рис. 3.10). Особенно заметны различия в состоянии и массе корневых систем, увеличившихся по сравнению

Таблица 3.4.
Фитотоксичность донных отложений по отношению к агрокультуре (пшеница).

Индекс образца	Длина, мм		Отношение длины надз./корн.	Сырой вес одного растения, г		Отношение веса надз./корн.	Сухой вес расте-ний, г		% сухого вещества надз./корн.	% к контролю			
										Длина		Вес	
	Надземная масса	Корни		Надземная масса	Корни		Надземная масса	Корни		Надземная масса	Корни	Надземная масса	Корни
д1	21,80	14,69	1,48	0,114	0,081	1,40	0,22	0,10	10,1/ 6,38	118,67	200,9	114	126,5
д2	21,25	13,80	1,53	0,116	0,083	1,40	0,23	0,12	10,15/ 7,36	115,68	188,7	116	129,7
д3	17,21	7,74	2,26	0,084	0,065	1,37	0,20	0,13	11,89/ 10,2	93,68	105,9	89,5	100
д4	15,00	7,50	2,01	0,084	0,061	1,36	0,19	0,14	11,26/ 11,40	81,65	102,6	84	96,1
д5	14,20	7,07	2,06	0,076	0,051	1,48	0,13	0,10	12,29/ 10,20	77,20	96,7	76	79,7
д6	15,82	7,21	2,26	0,082	0,060	1,38	0,18	0,13	12,49/ 12,67	86,10	98,6	82	93,7
д7	14,82	8,53	1,82	0,078	0,054	1,50	0,20	0,18	12,86/ 17,29	80,67	116,7	78	84,5
д8	13,10	8,60	1,56	0,070	0,056	1,37	0,17	0,11	12,55/ 11,5	71,31	117,6	70	87,5
д9	15,23	7,58	2,0	0,079	0,060	1,33	0,19	0,17	11,68/ 17,5	82,90	103,7	79	93,7
д11	15,37	8,46	1,82	0,074	0,060	1,25	0,18	0,20	12,1/ 17,7	83,67	115,7	74	93,7
Контроль 1	16,35	7,77	2,14	0,091	0,059	1,57	0,22	0,13	12,1/ 11,3	89,00	106,3	91	92,2
Контроль 2	18,37	7,31	2,50	0,100	0,064	1,56	0,21	0,13	11,3/ 10,7	100	100	100	100

с контролем на 190–200%. В остальных вариантах опыта достоверного стимулирующего рост эффекта не получено, напротив, растения, выращиваемые на донных отложениях как по морфологическим, так и по весовым показателям отличались от контроля в сторону понижения.

Несколько иные результаты получены в опытах с травами (табл. 3.5). Использованные в опытах злаки (овсяница, лисохвост) показали высокую энергию прорастания на донных отложениях; за исключением двух случаев (пробы д3 и д6) энергия всхожести была достоверно близкой к контролю или более высокой. Наибольшая всхожесть семян зафиксирована в опытах с донными отложениями д1 и д2, ранее положительно проявившими себя в опытах с агрокультурой.

Морфологические показатели – высота надземной фитомассы – во всех опытных вариантах с травосмесями были достоверно близки по значениям или выше контрольного показателя, так же как и масса растений (табл. 3.5).

Таблица 3.5.
Фитотоксичность донных отложений к травосмесям.

№ образца	Количество проросших растений	% к контролю	Длина, см		Отношение длины надземной / корней	Вес 1 растения, мг	% к контролю	
			Надземная часть	Корни			Длина	Вес
д1	175	142	5,77	2,04	2,8	6,3	116,3	118,8
д2	165	134	5,30	2,10	2,5	4,8	106,8	90,9
д3	101	82	5,05	1,77	2,9	5,4	101,8	102,2
д4	114	92	5,41	2,60	2,1	6,7	108,8	126,8
д5	110	89	4,25	1,66	2,6	4,7	85,7	88,6
д6	73	59	5,04	2,39	2,1	6,1	101,6	114,1
д7	136	110	5,03	2,50	2,0	6,4	101,4	119,8
д8	116	94	4,95	2,31	2,1	5,9	100,0	111,3
д9	119	97	4,51	1,94	2,3	5,2	90,9	97,2
д11	119	97	4,28	1,97	2,1	5,0	86,3	93,4
Контроль 2	122	100	4,96	2,60	1,9	5,3	100	100

Результаты опытов позволяют сделать вывод о пригодности донных отложений для развития фитомассы злаков: как культурных (пшеница), так и дикоросов (овсяница, лисохвост). Токсичные ингредиенты, входящие в состав донных отложений, не оказывают угнетающего влияния на рост и развитие растений.

Микробиологические и санитарно-гигиенические показатели

Донные отложения прибрежных мелководий оценивались в соответствии с требованиями по нормируемым санитарно-гигиеническим показателям на наличие патогенных микроорганизмов, наиболее опасных в эпидемическом плане. Санитарно-гигиеническая оценка дала отрицательный результат для всех проб на наличие микроорганизмов из группы энтерококков. Их индекс ни в одной из проб не превышает допустимой нормы. По другим группам загрязнителей – общие колиморфные бактерии, группа кишечной палочки – состояние донных отложений не столь благополучно. В 45% случаев проанализированных проб выявлено превышение нормативного уровня по этому индексу. Наибольшие превышения показали пробы д2, д3, д8, д9.

Первые две пробы характеризуют санитарно-гигиеническое состояние донных отложений в ареале воздействия стоков с территории городской застройки: д2 – в районе ул. Качалова; д3 – к востоку от нее, с пустыря со стихийно сложившейся свалкой бытового мусора, примыкающей к ул. Семинской (рис. 3.1). Пробы д8 и д9 отражают санитарное состояние донных отложений в юго-западной части водохранилища. Их неблагополучие вызвано, очевидно, если исходить из похожей ситуации на объекте-аналоге (Томилина, 2006), с ослаблением водообмена в приплотинной части и неблагоприятным влиянием стоков с территории частной застройки – пос. Новая Зырянка. Эти два фактора предопределили, с одной стороны, лучшие термические условия для микробной активности, с другой – более высокую органотрофность водных экосистем в целом.

Микробиологическое состояние донных отложений оценено по активности продуцирования микробными ценозами CO^2; образцы стерильно отобранных донных отложений наблюдались в лабораторных условиях на протяжении трех суток по показателям базального, субстрат индуцированного (с введением углеводов), микробного дыхания (табл. 3.6). Для контроля использованы средние базальные показатели «дыхания» зональной лесной почвы.

Результаты анализа, выполненного В. И. Каменщиковой, показали, что активность «дыхания» донных отложений понижена относительно стандартного зонального состояния и варьирует в пределах: 1,3–33,0% от среднего значения в первые сутки опыта, 5,4–39,6% – во вторые, 8,9–83,6% – в третьи, то есть нигде не достигает нормальных базальных показателей. Стандартной величины, характерной для зональных условий, активность «дыхания» донных отложений не достигает даже после стимуляции микробиологической активности введением в субстрат дополнительного углеводного компонента. Субстрат индуцированное дыхание (табл. 3.6) остается более низким по сравнению с зональной почвой, варьируя в пределах значений от 22 мг/100 г субстрата CO_2 (31,3% от контроля) – в первые сутки,

Таблица 3.6.
Биологическая активность донных отложений по показателям субстратного «дыхания».

№ образца	Активность «дыхания» донных отложений за периоды											
	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
	мг CO_2 за 24 часа/100 г			% микробного от СИД	мг CO_2 за 24 часа/100 г			% микробного от СИД	мг CO_2 за 24 часа/100 г			% микробного от СИД
	Базальное	СИД*	Микробное		Базальное	СИД*	Микробное		Базальное	СИД*	Микробное	
Д1	18,48	58,36	33,88	64,70	9,68	33,88	24,20	71,43	16,28	33,88	17,60	51,41
Д2	23,32	54,12	30,80	56,91	17,82	41,80	23,98	57,37	41,80	48,01	27,68	58,03
Д3	18,75	64,24	45,67	71,09	10,12	35,64	25,52	71,61	18,04	39,16	21,12	53,93
Д4	6,60	36,96	30,36	82,14	7,82	43,12	35,20	81,63	11,00	21,12	12,19	57,97
Д5	9,68	42,68	33,00	77,32	5,06	32,78	27,72	84,56	7,92	27,28	19,36	70,96
Д6	5,72	29,04	23,32	80,30	7,26	44,22	36,60	83,58	10,12	21,58	11,44	53,00
Д7	8,36	32,12	23,76	73,97	6,82	36,30	29,50	81,26	9,24	20,68	11,44	55,32
Д8	0,88	22,00	21,12	96,00	3,30	43,34	40,04	92,88	4,40	23,32	18,92	81,13
Д9	7,48	33,88	26,40	77,92	2,42	40,70	38,28	94,05	7,92	22,44	14,52	64,70
Д11	9,68	22,88	13,20	57,96	6,82	36,74	29,92	81,43	9,68	33,88	24,20	71,42
Среднее для зональной почвы	70,40	–	–	–	44,83	–	–	–	48,84	–	–	–

Примечание:
* СИД – субстрат индуцированное дыхание

до 48 мг/100 г субстрата CO_2 (97,9% от контроля) – на третьи сутки (табл. 3.6). Доля микробных сообществ в структуре «дыхания» во всех образцах превышает 50% и колеблется в интервале от 51 до 96%, свидетельствуя таким образом, что сложившиеся условия благоприятны для развития устойчивых патогенных групп микроорганизмов и неудовлетворительны для развития микробных сообществ в целом.

Агрохимические показатели и механический состав

Агрохимическая характеристика дана с учетом перспектив возможного последующего использования донных отложений для агрохозяйственных целей. Частично их пригодность для роста и развития растений была показана в опытах, результаты которых приведены выше и которые продемонстрировали отсутствие выраженного негативного влияния на растения. Вместе с тем опыты показали, что рост и развитие подземной части растений – корневых систем – в донных отложениях значительно выше, чем в контроле. Данный факт косвенно свидетельствует в пользу низкой трофности донного субстрата. Вследствие недостатка элементов питания растение развивает более мощную корневую систему, способную обеспечить поступление питательных элементов с большей площади. Основные агрохимические показатели приведены в таблицах 3.7–3.9.

Важнейшим показателем пригодности грунтов для использования в агрохозяйственных целях является их засоленность (Критерии…, 1992; Группировка…, 1979; Радов и др., 1985). Результаты изучения уровня засоленности донных отложений приведены в таблицах 3.7 и 3.9. Данные о составе и концентрации солей показали полную безопасность донного субстрата для возможного агрохозяйственного использования. Из всей совокупности проб только в одной солевая насыщенность незначительно, на 0,1%, превысила барьер, отделяющий незасоленные отложения от слабозасоленных (табл. 3.7, проба д1).

По механическому составу донные отложения практически идентичны почвенному покрову побережья водохранилища и сложены песком и легким суглинком (табл. 3.8). Грубые скелетные фракции в отложениях отсутствуют, доля физической глины практически везде, за исключением двух образцов, д1 и д2, ниже 10%.

По агрохимическим показателям состав донных отложений неоднороден и коррелирует с насыщенностью илистыми фракциями. На уровне удовлетворительного по агрохимическому состоянию могут быть оценены только донные отложения верхней части водохранилища (пробы Д1 и Д2), имеющие слабощелочную реакцию среды, удовлетворительную обеспеченность органическим веществом и элементами первичного плодородия – подвижными формами фосфора и калия (табл. 3.9). Во всех остальных пробах обеспеченность фосфором и калием на уровне низкой и очень низкой, pH – щелочная.

Таким образом, по агрохимическим показателям рассматриваемые донные отложения малопригодны для землевания с целью повышения почвенного плодородия. Они могут использоваться только на кислых глинистых почвах для улучшения структурированности субстрата, повышения его аэрированности и в качестве легких раскислителей. Незагрязненные донные отложения могут использоваться для восстановления почвенного покрова в карьерах, на отвалах и др.

Таблица 3.7.
Химический состав солей водной вытяжки из донных отложений водохранилища.

№ пробы	Анионы, мг/л / мг-экв/л			Катионы, мг/л / мг-экв/л			Содержание токсичных солей, %	Характеристика засоленности почв и грунтов
	HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na + K		
Д1	0,66 0,040	2,61 0,125	1,75 0,062	3,76 0,075	0,81 0,010	0,45 0,010	0,322	Слабозасоленные
Д2	0,58 0,035	1,12 0,054	1,00 0,035	1,82 0,036	0,40 0,005	0,48 0,011	0,176	Незасоленные
Д3	0,41 0,025	0,86 0,041	0,89 0,032	1,88 0,038	0,19 0,002	0,09 0,002	0,140	Незасоленные
Д4	0,41 0,025	0,65 0,031	0,16 0,006	1,11 0,022	0,09 0,001	0,02 0,001	0,086	Незасоленные
Д5	0,38 0,023	0,62 0,030	1,10 0,039	1,08 0,022	0,14 0,002	0,88 0,020	0,136	Незасоленные
Д6	0,39 0,023	0,27 0,013	0,66 0,023	0,70 0,014	0,06 0,001	0,56 0,013	0,087	Незасоленные
Д7	0,41 0,025	0,22 0,011	0,38 0,013	0,84 0,017	0,05 0,001	0,02 0,001	0,068	Незасоленные
Д8	0,36 0,022	0,27 0,013	0,44 0,016	0,91 0,018	0,09 0,001	0,07 0,002	0,072	Незасоленные
Д9	0,44 0,027	0,39 0,019	0,48 0,017	1,29 0,026	0,01 0,000	0,01 0,000	0,089	Незасоленные
Д11	0,50 0,031	0,29 0,014	0,46 0,016	1,11 0,022	0,13 0,002	0,01 0,000	0,085	Незасоленные

Таблица 3.8.
Механический состав донных отложений.

№ пробы	Скелетные фракции, %	Содержание механических элементов (в % на воздушно-сухую почву) по фракциям, мм (по классификации Н. А. Качинского)						Сумма частиц < 0,01 мм (физглина)	Механический состав
		1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001		
Д1	Отсутствуют	6	32	38	8,8	9,7	5,5	24	суглинок легкий
Д2	Отсутствуют	6	31	39	8,7	8,5	6,8	24	суглинок легкий
Д3	Отсутствуют	17	46	35	0,5	0,4	1,1	6	песок рыхлый
Д4	Отсутствуют	14	66	13	1,8	2,0	3,2	7	песок связный
Д5	Отсутствуют	9	41	47	0,4	0,5	2,1	3	песок рыхлый
Д6	Отсутствуют	2	39	55	0,7	0,6	2,7	4	песок рыхлый
Д7	Отсутствуют	8	43	48	0,1	0,2	0,7	1	песок рыхлый
Д8	Отсутствуют	13	39	45	0,5	1,1	1,4	3	песок рыхлый
Д9	Отсутствуют	16	69	10	1,0	0,8	3,2	8	песок связный
Д11	Отсутствуют	17	54	21	1,4	1,7	4,9	5	песок рыхлый

Таблица 3.9.
Основные агрохимические показатели состояния донных отложений.

№ пробы	Суммарная солевая насыщенность, %	Содержание физической глины, %	pH H_2O	Содержание органического вещества, %	Содержание подвижных форм, мг/кг в.с.почвы	
					P_2O_5	K_2O
Д1	0,322	27	7,52	5,80	130	92
Д2	0,176	24	7,76	8,27	130	95
Д3	0,140	6	7,76	1,01	30	32
Д4	0,086	7	7,84	0,70	<18	20
Д5	0,136	3	8,00	0,43	<18	15
Д6	0,087	4	7,94	0,51	<18	22
Д7	0,068	1	7,99	0,45	<18	14
Д8	0,072	3	7,74	0,35	<18	16
Д9	0,089	8	7,78	0,46	<18	55
Д11	0,085	5	7,77	0,70	25	24

3.2. Характеристика поверхностных вод

3.2.1. Морфометрические характеристики водохранилища

Морфометрические характеристики водных объектов наглядно показывают особенности конкретного водоема. Опыт многолетнего исследования водохранилищ показывает, что влияние природных факторов на характер и интенсивность внутриводоемных процессов, а также своеобразие взаимодействия водоема с окружающей средой осуществляется через особенности его морфометрии (Матарзин, 2003).

В настоящее время нет единого мнения об основных морфометрических характеристиках водохранилищ и методах их вычисления. Многообразие мнений, методических приемов зачастую приводит к тому, что получаемые различными исследователями характеристики несколько отличаются. По результатам работ рассчитанные значения морфометрических показателей существенно меняются вследствие колебания уровней воды в водоеме. Наиболее характерными уровнями для искусственных водоемов являются: форсированный подпорный уровень (ФПУ), нормальный подпорный уровень (НПУ), уровень мертвого объема (УМО). Перечисленные характерные уровни для Нижнезырянского водохранилища регламентированы соответствующим документом (Акт обследования гидротехнических…, 2007).

Характеристика Нижнезырянского водохранилища с использованием морфометрических показателей (Матарзин, 2003) приведена в таблице 3.10 для характерных уровней (ФПУ, НПУ, УМО).

Морфометрические показатели, приведенные в таблице, количественно характеризуют форму и размеры водоема, а также их изменения при нормальном, форсированном уровнях и при максимальной сработке. Из таблицы видно, что наибольшим изменениям форма и размеры водоема подвержены при уровне мертвого объема (горизонт сработки). Особенно выражено реагируют на колебания уровня параметры таких морфометрических характеристик как площадь зеркала, объем, ширина.

Рисунок 3.11 показывает современные очертания водохранилища (до снижения уровня воды) и иллюстрирует распределе-

Таблица 3.10.
Основные морфометрические характеристики Нижнезырянского водохранилища до предполагаемого снижения уровня воды.

Морфометрические характеристики водохранилища	ФПУ 115,1 мм	НПУ 114,5 м	УМО 111,5 м
Длина, м	4130	3850	3385
Ширина средняя, м	949	948	236
Ширина максимальная, м	1500	1455	660
Длина береговой линии для правого берега, м	7250	6793	3892
Длина береговой линии для левого берега, м	5755	5454	4222
Площадь зеркала, км^2	3,92	3,65 (3,86*)	0,80
Удлиненность	4,4	4,1	14,3
Глубина средняя, м	2,4	1,9	0,7
Глубина максимальная, м	6,2	5,6	2,6
Полный объем, млн м^3	9,4	6,9 (8,1*)	0,56

Примечание:

* В скобках приведены показатели в соответствии с документом (Акт обследования гидротехнических…, 2007).

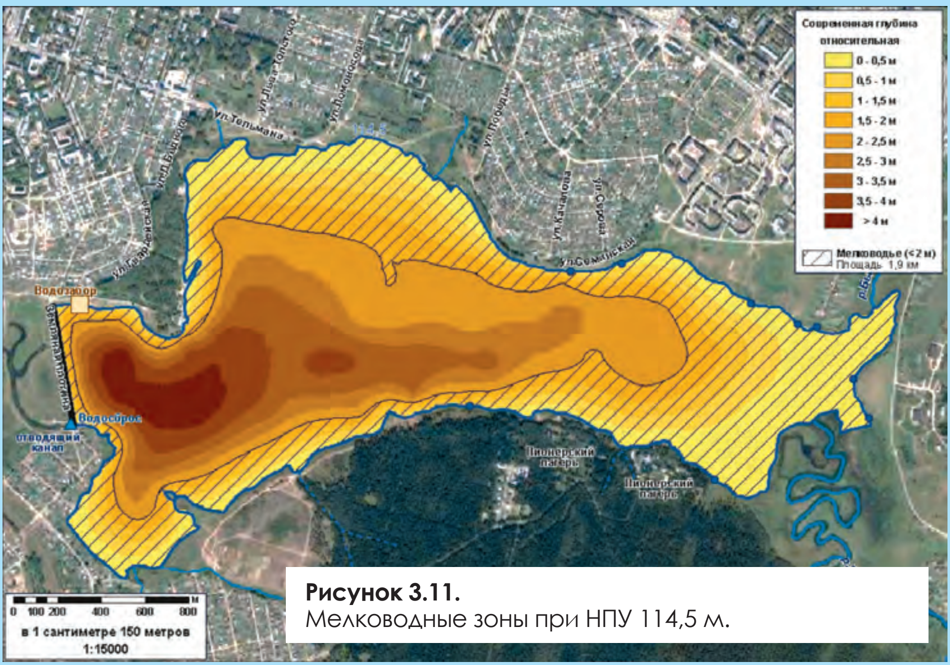


Рисунок 3.11.
Мелководные зоны при НПУ 114,5 м.

ние по площади водоема одной из морфометрических характеристик – глубины. Из рисунка видно, что максимальные глубины (более 4 м) приурочены к приплотинной части. Мелководные зоны (глубина менее 2 м) отчетливо выделяются в хвостовой части водохранилища, в районе Косачевского болота и долине р. Крыжевка. Площадь мелководных зон составляет 1,9 км².

3.2.2. Качество вод

Характеристика современного экологического состояния поверхностных вод дана на основании опробования водохранилища, его притоков и временных водотоков, выполненного в период с июля по сентябрь 2007 г. Точки опробования показаны на рисунке 3.12.

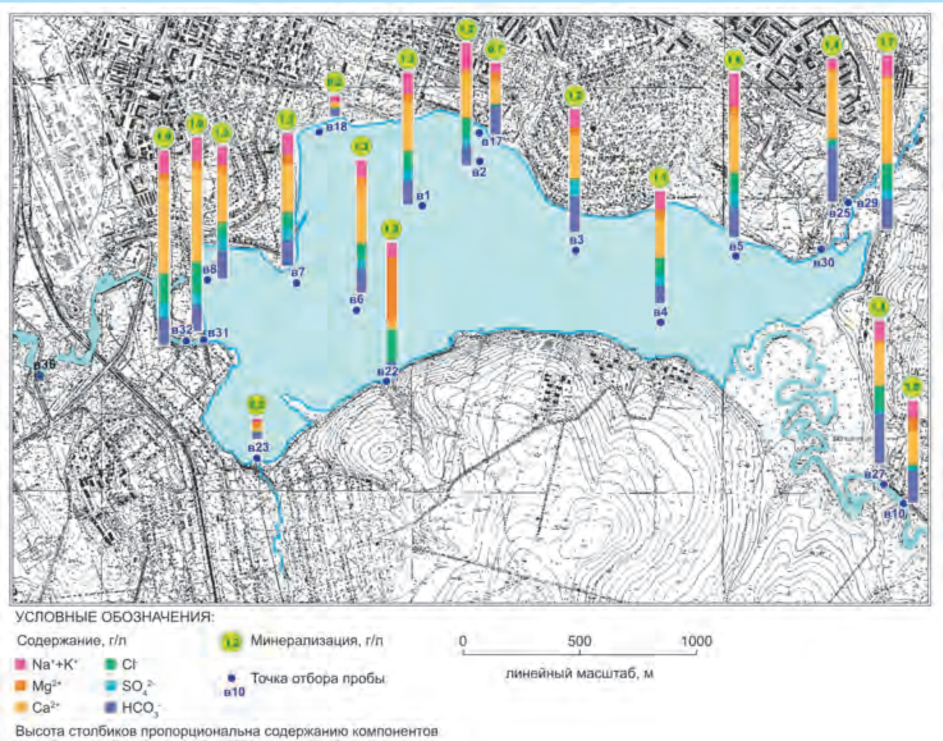


Рисунок 3.12.
Химический состав вод Нижнезырянского водохранилища.

Анализ химического состава воды включал определение следующих параметров: аммоний, нитраты, нитриты, фосфаты, хлориды, сульфаты, кальций, магний, гидрокарбонаты, натрий и калий, нефтепродукты, ХПК, цинк, кобальт, кадмий, свинец, никель, водородный показатель, взвешенные вещества, сухой остаток. Выполнен также анализ санитарно-гигиенического качества воды.

Химические показатели

Выявление загрязнения поверхностных вод производилось путем сравнения полученных при гидрохимическом опробовании данных с предельно допустимыми нормами (действовавшими на момент обследования), законодательно установленными для вод водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКв – в соответствии с ГН 2.1.5.1315-03) и рыбохозяйственного назначения (ПДКвр – в соответствии с Перечнем рыбохозяйственных нормативов от 28.04.99 № 96), при их отсутствии – с требованиями СанПиН 2.1.5.980-00. Результаты анализа проб воды придонной части водохранилища приведены в таблице 3.11.

Преобладающими ионами в химическом составе вод водохранилища являются ионы хлора и натрия. Величина водородного показателя находится в пределах нормы. Вода имеет повышенный сухой остаток, составляющий в среднем 1287 мг/л, с наибольшим превышением нормативных показателей (до 1,7 ПДКв) в точке в31, расположенной в верхнем бьефе водохранилища, у плотины. В этой же точке обнаружено повышенное содержание аммония (1,1 ПДКвр), хлоридов (2,6 ПДКв, 3,1 ПДКвр), ионов магния (2,2 ПДКв, 2,7 ПДКвр), цинка (10 ПДКвр), кобальта (10 ПДКвр), никеля (5 ПДКв, 16,6 ПДКвр). Содержание нефтепродуктов, относительно равномерно распределенных по акватории водоема (от 2 до 4,6 ПДКвр), здесь значительно превышает нормативные показатели, установленные для объектов рыбохозяйственного назначения, и составляет 5 ПДКв, 16,6 ПДКвр. Значительные превышения нормативных показателей по сравнению с остальной акваторией наблюдаются в точке в5, расположенной в 15 м от северо-восточной части левого берега водохранилища. Здесь обнаружено повышенное содержание нитритов (1,1 ПДКвр), хлоридов (1,6 ПДКв, 1,9 ПДКвр), ионов магния (3 ПДКв, 3,8 ПДКвр), ХПК (в 1,8 раза), цинка (10 ПДКвр), кобальта (10 ПДКвр), никеля (4 ПДКв, 14 ПДКвр).

Таблица 3.11.
Химический состав вод придонной части Нижнезырянского водохранилища. 2007 г.

№ п/п	Дата отбора проб	№ т.н. на карте	pH	Аммоний, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л	Фосфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Кальций, мг/л	Магний, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Гидрокарбонаты, мг/л	Натрий калий, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	ХПК	Взвеш.вещества, мг/л	Цинк, мг/л	Кобальт, мг/л	Кадмий, мг/л	Свинец, мг/л	Никель, мг/л	Токсичность, категория
1	24.07	в1	7,69	0,06	0,06	3,7	0,03	**495**	72	168	**114**	**1310**	210	**250**	**0,16**	**37,8**	**2**	**0,8**	**0,08**	0,001	0,002	**0,26**	5
2	24.07	в2	7,47	0,13	0,07	1,4	0,03	**424**	41	168	**109**	**1172**	250	180	**0,23**	**41,4**	0	**2,1**	**0,05**	0,001	0,002	**0,38**	3
3	24.07	в3	7,96	0,18	0,07	0,7	0,03	**441**	80	34	**146**	**1248**	180	**366**	**0,15**	**42,3**	0	**0,9**	**0,05**	0,001	0,002	**0,12**	4
4	24.07	в5	7,76	0,13	**0,09**	2,3	0,03	**567**	86	**192**	**153**	**1590**	310	**280**	**0,1**	**54**	**1**	**0,8**	**0,1**	0,001	0,002	**0,084**	5
5	24.07	в7	8,11	0,05	0,06	0,9	0,03	**459**	93	148	**113**	**1258**	201	**247**	**0,1**	**50**	**1**	**0,6**	**0,05**	0,001	0,002	**0,071**	5
6	24.07	в8	8,04	0,07	0,06	0,45	0,03	**461**	86	148	**120**	**1250**	168	**268**	**0,13**	**47**	**2**	**0,5**	**0,05**	0,001	0,002	**0,052**	5
7	24.07	в4	7,93	0,08	0,06	1,8	0,03	**409**	86	180	**106**	**1148**	182	184	**0,13**	**45,9**	0	**0,4**	**0,05**	0,001	0,002	**0,042**	5
8	24.07	в6	8,17	0,1	0,06	2,4	0,03	**567**	94	156	**94**	**1322**	176	**235**	**0,23**	**45**	0	**0,3**	**0,05**	0,001	0,002	**0,038**	5
9	06.09	в31	8	**0,52**	0,05	4	0,05	**923**	74	**301**	**109**	**1774**	224	**255**	**1,1**	26	**4,5**	**0,1**	**0,1**	0,001	0,001	**0,1**	5
		ПДКв*	6,5-8,5	1,5	3,3	45	3,5	350	500	180	50	1000	нет	200	0,3	нет		1	0,1	0,001	0,01	0,02	
		ПДКвр**	6,5-8,5	0,5	0,08	40	0,2	300	100	180	40	нет	нет	нет	0,05	нет	0,75	0,01	0,01	0,005	0,005	0,006	
		СанПиН ***														30	0,75						

Примечания:
* ГН 2.1.5.1315-03.
** Перечень ПДК утвержден Госкомрыболовства 28.04.99 № 96.
*** СанПиН 2.1.5.980-00.
Жирным шрифтом выделено превышение любого ПДК.

Устойчивое повышенное содержание в воде ионов магния наблюдается по всей акватории водохранилища и составляет в среднем 130 мг/л, что выше нормативных показателей для вод культурно-бытового водопользования в 2,6 раза, для вод рыбохозяйственного назначения – в 3,3 раза. Значительные превышения содержания в воде цинка (до 210 ПДКвр в пробе в2), кобальта (до 8 ПДКвр в пробе в1) и никеля (до 19 ПДКв, 63 ПДКвр в пробе в2), относящихся ко 2 и 3 классам опасности, наблюдается по всей площади опробования, с наибольшими превышениями норм в северной части водохранилища (пробы в1, в2, в3).

Результаты анализа гидрохимического состава проб воды рек исследуемой территории представлены в таблице 3.12. Состав вод р. Зырянка по основным гидрохимическим показателям отличен от природных. В точке в10, перед впадением в Нижнезырянское водохранилище (рис. 3.13), вода реки имеет хлоридно-натриевый состав с уровнем минерализации не превышающим установленные нормативы. Превышения ПДК по данным опробования в августе и сентябре составили: хлориды – 1,2 ПДКв, 1,4 ПДКвр , нефтепродукты – 28 ПДКвр, ХПК – превышение норм в 23 раза, цинк – 30 ПДКвр, кобальт – 10 ПДКвр, никель – 16 ПДКвр.

Воды р. Быгель (рис. 3.14) имеют хлоридно-натриевый состав с повышенным количеством сухого остатка (1420 мг/л). Содержание хлоридов в воде (проба в25) превышает ПДКв в 2 раза, ПДКвр – в 2,3 раза, ионов натрия – в 2,7 раза. В пробе обнаружены повышенные концентрации цинка (2 ПДКв, 210 ПДКвр), кобальта (8 ПДКвр) и никеля (26 ПДКв, 86 ПДКвр). Анализ пробы воды (проба в29), отобранной месяцем позже, показывает увеличение минерализации вод реки и содержания в их составе хлоридов, а также значительное содержание нефтепродуктов – до 1,7 мг/л, что выше ПДКв в 5,6 раза, ПДКвр – в 34 раза; кобальта – до 10 ПДК. В химическом составе вод р. Крыжевка (проба в23) также преобладают ионы хлора и натрия, но на уровне допустимых концентраций. Сухой остаток воды составляет 240 мг/л. Превышения ПДК в данной точке наблюдения обнаружены по следующим показателям: цинк (10 ПДКвр), кобальт (5 ПДКвр), кадмий (2 ПДКвр), никель (12 ПДКв, 40 ПДКвр), ХПК (превышение норм в 3,7 раза).

Состав воды р. Зырянка, вытекающей из водохранилища (проба в32), характеризуется повышенным содержанием сухого

Рисунок 3.13.
Река Зырянка перед впадением в Нижнезырянское водохранилище.

Рисунок 3.14.
Река Быгель.

остатка – до 1866 мг/л (1,8 ПДКв) и концентрацией хлоридов, превышающей нормы до 2,5 ПДКв, 3 ПДКвр. В данной точке наблюдения зафиксированы превышения допустимых норм по содержанию цинка (50 ПДКвр), кобальта (20 ПДКвр), никеля (10 ПДКв, 33 ПДКвр). Ниже по течению в химическом составе воды (проба в36) также сохраняются повышенные концентрации хлоридов (3 ПДКв, 3,5 ПДКвр), содержание сухого остатка (1,3 г/л), ХПК (превышение в 22 раза), нефтепродуктов (15,3 ПДКв, 92 ПДКвр), цинка (5 ПДКвр), кобальта (10 ПДКвр), никеля (2,5 ПДКв, 8,3 ПДКвр).

Химический состав вод временных водотоков, стекающих в водохранилище приведен в таблице 3.13. Согласно полученным результатам в составе воды временного ручья (проба в22), расположенного в районе пос. Нижняя Зырянка (рис. 3.15), преобладают сульфаты (1,2 ПДКв, 6 ПДКвр) и ионы кальция; здесь было выявлено превышение ПДК по содержащимся в воде нефтепродуктам (4 ПДКв, 24 ПДКвр), цинку (80 ПДКвр), кобальту (5 ПДКвр) и никелю (5,5 ПДКв, 18 ПДКвр).

Значительное превышение нормативных показателей по содержанию в воде исследуемых компонентов зафиксировано в

Рисунок 3.15.
Ручей в районе пос. Нижняя Зырянка.

Таблица 3.12.
Химический состав воды рек исследуемой территории. 2007 г.

№ п/п	Дата отбора проб	Местоположение	№ т.н. на карте	pH	Аммоний, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л	Фосфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Кальций, мг/л	Магний, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Гидрокарбонаты, мг/л	Натрий калий, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	ХПК	Взвеш.вещества, мг/л	Цинк, мг/л	Кобальт, мг/л	Кадмий, мг/л	Свинец, мг/л	Никель, мг/л	Токсичность, категория
1	09.08	р.Зырянка верх. бьеф	в10	7,7	0,14	0,06	1,96	0,05	**326**	**126**	31,8	32	1000	160	**305**	**0,07**	**114**	**6**	**0,8**	**0,05**	0,001	0,002	**0,021**	5
2	06.09	р.Зырянка верх. бьеф	в27	7,8	0,09	0,05	7	0,05	**414**	19,9	**220**	36,5	**1056**	184	**480**	**1,4**	**697**	**5**	**0,3**	**0,1**	0,001	0,001	**0,1**	4
3	06.09	р.Зырянка ниж. бьеф	в32	8,1	**0,52**	0,05	6	0,05	**885**	69	**281**	**134**	**1866**	224	**264**	**0,9**	**108**	**1,5**	**0,5**	**0,2**	0,001	0,001	**0,2**	4
4	06.09	р.Зырянка ниж.течение	в36	8,1	**0,21**	0,06	20	0,05	**1040**	41	**240**	**798**	**1354**	68	**610**	**4,6**	**660**	**1**	**0,05**	**0,1**	0,001	0,001	**0,05**	3
5	09.08	р.Быгель	в25	7,7	0,3	0,07	5,6	0,16	**683**	14	50	29	**1420**	91	**550**	**0,09**	**70**	**1**	**2,1**	**0,08**	**0,005**	0,004	**0,52**	4
6	06.09	р.Быгель	в29	8	0,32	0,02	14,8	0,05	**848**	8,7	**261**	**97**	**1572**	210	**294**	**1,7**	**43**	**2,5**	**0,3**	**0,1**	0,001	0,001	**0,2**	5
7	09.08	р. Крыжевка	в23	7,8	0,07	0,04	2,66	0,09	38	47	17	1	240	21	54	**0,38**	**111**	0	**0,1**	**0,05**	**0,002**	0,003	**0,24**	5
		ПДКв*		6,5-8,5	1,5	3,3	45	3,5	350	500	180	50	1000	нет	200	0,3	нет		1	0,1	0,001	0,01	0,02	
		ПДКвр**		6,5-8,5	0,5	0,08	40	0,2	300	100	180	40	нет	нет	нет	0,05	нет	0,75	0,01	0,01	0,005	0,005	0,006	
		СанПиН***															30	0,75						

Примечания:
* ГН 2.1.5.1315-03.
** Перечень ПДК утвержден Госкомрыболовства 28.04.99 № 96.
*** СанПиН 2.1.5.980-00.
Жирным шрифтом выделено превышение любого ПДК.

Таблица 3.13.
Химический состав воды временных водотоков. 2007 г.

№ п/п	Дата отбора проб	Местоположение	№ т.н. на карте	pH	Аммоний, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л	Фосфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Кальций, мг/л	Магний, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Гидрокарбонаты, мг/л	Натрий калий, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	ХПК	Взвеш.вещества, мг/л	Цинк, мг/л	Кобальт, мг/л	Кадмий, мг/л	Свинец, мг/л	Никель, мг/л	Токсичность, категория
1	09.08	правый берег	в17	8	**0,8**	0,52	8,75	0,08	240	76	23	6	730	86	**280**	0,03	**97**	**4,5**	**3,5**	**0,3**	**0,002**	0,004	**0,74**	4
2	06.09	правый берег	в18	7,9	**10,4**	0,07	28,5	**0,35**	56	0,02	14	1	228	58	65	0,03	**110**	**6**	**1,9**	**0,2**	**0,002**	0,003	**0,56**	4
3	06.09	левый берег	в22	6,2	**0,6**	0,06	2,5	**0,38**	80	**607**	**310**	8	716	140	31	**1,2**	**110**	**4,5**	**0,8**	**0,05**	**0,002**	0,001	**0,11**	5
			ПДКв*	6,5-8,5	1,5	3,3	45	3,5	350	500	180	50	1000	нет	200	0,3	нет		1	0,1	0,001	0,01	0,02	
			ПДКвр**	6,5-8,5	0,5	0,08	40	0,2	300	100	180	40	нет	нет	нет	0,05	нет	0,75	0,01	0,01	0,005	0,005	0,006	
			СанПиН***														30	0,75						

Примечания:
* ГН 2.1.5.1315-03.
** Перечень ПДК утвержден Госкомрыболовства 28.04.99 № 96.
*** СанПиН 2.1.5.980-00.
Жирным шрифтом выделено превышение любого ПДК.

пробах в17 (рис. 3.16) и в18 (рис. 3.17), взятых из стоков ливневой канализации с территории городской застройки, расположенных на правом берегу водохранилища.

В составе воды здесь преобладают хлориды и ионы натрия, содержание цинка превышает нормы в 3,5 раза (ПДКв), 350 раз (ПДКвр), кобальта – в 30 раз (ПДКвр), никеля – в 37 раз (ПДКв), 123 раза (ПДКвр).

Анализ проб воды включал определение уровня токсичности, представляющего собой степень проявления ядовитого действия разнообразных соединений и смесей, которые повреждают, ингибируют, стрессируют, вызывают генетические изменения и убивают организмы в воде, почве и воздухе (Жмур, 1996). Определенный методами биотестирования, показатель токсичности для исследуемых объектов составил: 80% проб акватории водохранилища отнесены к 5 (самой низкой) категории токсичности; 40% проб воды рек, впадающих в водоем, отнесены к 5 категории токсичности,

Рисунок 3.16.
Участок стока ливневых вод с территории г. Березники (район ул. Победы).

40% – к 4 категории, 20% – к 3 категории; воды временных водотоков отнесены к 4 и 5 категориям токсичности.

Таким образом, химический состав вод водохранилища, определяемый во многом техническими факторами, представлен преимущественно хлоридно-натриевыми водами, с превышением в их составе никеля, цинка, кобальта, нефтепродуктов, ХПК. Впадающие в него реки и другие водотоки привносят с собой значительное количество загрязняющих веществ, ухудшая экологическую обстановку. Особенно это касается ливневых стоков с территории г. Березники.

Санитарно-гигиенические показатели

Обследование Нижнезырянского водохранилища включало изучение качества воды по санитарно-гигиеническим показателям в соответствии с требованиями МУК4.2.1884-04, СанПиН 2.1.5.980-00. Проведен анализ проб воды на ОКБ (общие колиформные бактерии), ТКБ (термотолерантные колиформные бактерии), колифа-

Рисунок 3.17.
Участок стока ливневых вод с территории г. Березники (район ул. Льва Толстого).

Рисунок 3.18.
Зона разгрузки минерализованных подземных вод
в хвостовой части водохранилища
(район скважины 301).

ги, патогенные микроорганизмы. Согласно результатам анализов придонных проб воды (табл. 3.14), ни в одной из 5 проб не обнаружено превышений по данным показателям.

Таблица 3.14.
Результаты санитарно-бактериологического исследования воды по данным опробования 24.07.2007.

Номер пробы	ОКБ в 100 см³	ТКБ в 100 см³	Колифаги в 100 см³	Патогенные микроорганизмы в 100 см³
в2	менее 50 КОЕ	менее 50 КОЕ	4 БОЕ	не обнаружены
в3	менее 50 КОЕ	менее 50 КОЕ	2 БОЕ	не обнаружены
в4	менее 50 КОЕ	менее 50 КОЕ	2 БОЕ	не обнаружены
в5	менее 50 КОЕ	менее 50 КОЕ	4 БОЕ	не обнаружены
в8	менее 50 КОЕ	менее 50 КОЕ	3 БОЕ	не обнаружены
Норматив*	500 КОЕ	100 КОЕ	10 БОЕ	не должны содержаться

Примечание:
* СанПиН 2.1.5.980-00.

Рисунок 3.19.
Родник в устьевой части р. Быгель.


Рисунок 3.20.
Разгрузка подземных вод в виде групп родников западнее устья р. Быгель (район скважины 99).

Рисунок 3.21.
Выход родниковых вод на правом берегу, ниже пионерского лагеря (район скважины 5с).

Рисунок 3.22.
Разгрузка подземных вод западнее пос. Новая Зырянка (район скважины 81).

3.3. Характеристика подземных вод по данным обследования родников

В ходе полевых маршрутных исследований, проведенных летом 2007 г., в береговой зоне Нижнезырянского водохранилища выявлено несколько зон разгрузки подземных вод. В хвостовой части водохранилища, между реками Зырянка и Быгель, в районе скважины 301, на участке 200 м, наблюдается группа родников (рис. 3.18) со значительным дебитом и температурой воды 3˚С (пробы в11, в28, в20). В устьевой части р. Быгель, на участке 300 м, расположены родники с прозрачной холодной (7˚С) водой (пробы в21, в24, в30) (рис. 3.19). В правобережной части водохранилища, западнее устья р. Быгель, наблюдается разгрузка подземных вод в виде групп родников (рис. 3.20) (проба в14). В левобережной части, ниже пионерского лагеря, происходит разгрузка подземных вод в виде родников (рис. 3.21) с холодной прозрачной водой (пробы в16, в15, в33, в34). Разгрузка подземных вод в виде отдельных родников выявлена в правобережной части водохранилища в районе пос. Семино (пробы в13, в19) и на левом берегу, восточнее пос. Новая Зырянка (пробы в26, в35) (рис. 3.22); вода холодная, прозрачная. Схема отбора проб воды родников представлена на рисунке 3.23.

Подземные воды, разгружающиеся в пределах рассматриваемого участка, связаны с терригенно-карбонатными отложениями (верхнесоликамский водоносный комплекс). Подземные воды комплекса в естественных условиях содержат преимущественно пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией 0,2–0,5 г/л, реже – сульфатно-кальциевые с минерализацией более 1 г/л. Гидрохимическое опробование родников, проведенное в августе-сентябре 2007 г., показало, что состав вод (табл. 3.15) существенно отличен от природного. Воды большинства имеют высокую минерализацию, не пригодную для питьевых нужд. Дебиты источников сопоставимы с расходами притоков водохранилища и играют значительную роль в формировании его качества. В связи с этим, качество воды родников, понимая известную долю условности, справочно сравнивалось с нормативами для поверхностных вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и рыбохозяйственного назначения.

Максимальные значения содержания сухого остатка в воде родников приурочены к зоне выклинивания подпора, в хвостовой части водохранилища – до 9–11 г/л, что превышает предельно допустимые нормативы в 9–11 раза. В химическом составе этих вод преобладают ионы Na+K и Cl. Содержание ионов хлора здесь достигает наибольших значений, и превышение нормативных показателей составляет: в пробе в11 – 14,9 ПДКв, 17,9 ПДКвр; в пробе 20 – 18,5 ПДКв, 21,6 ПДКвр. Превышение нормативов содержания в воде рассматриваемых компонентов на протяжении всего периода наблюдений фиксируется для аммония (до 4,3 ПДКв, 13 ПДКвр), нефтепродуктов (до 5 ПДКв, 30 ПДКвр) цинка (1,2–3,2 ПДКв, 12–32 ПДКвр), кобальта (до 4 ПДКв, 30–40 ПДКвр), кадмия (до 40 ПДКв, 8 ПДКвр) и никеля (до 29 ПДКв, 96 ПДКвр).

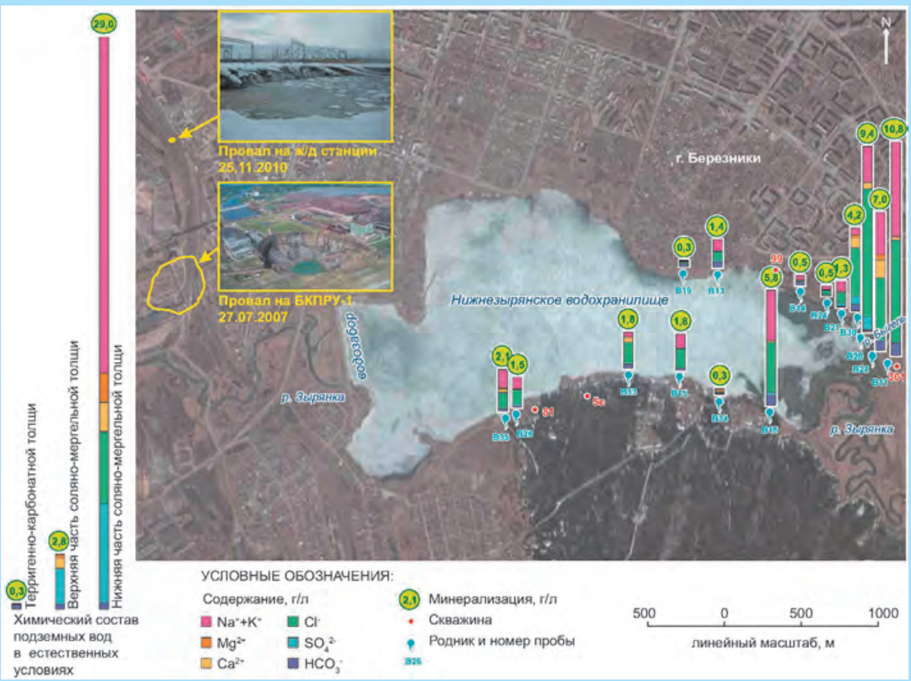


Рисунок 3.23.
Химический состав подземных вод, разгружающихся в Нижнезырянском водохранилище (основа – космический снимок из Google Earth от 30.04.2006 г.).

Таблица 3.15.
Химический состав воды в водоносных горизонтах и родниках, мг/л.

Водоносный горизонт	№ пробы родниковой воды	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	Общая минерализация	$(Na^+ + K^+ + Cl^-)$ / Общая минерализация, %	$(Na^+ + SO_4^{2-})$ / Общая минерализация, %	HCO_3^- / Общая минерализация, %
Пробы воды из водоносных горизонтов											
ТКТ	–	264	16	9	50	23	13	374	5,8	17,6	70,5
СМТ2	–	239	1846	13	511	175	66	2850	2,8	82,7	8,4
СМТ1	–	277	4325	3110	1293	1252	18760	29016	75,4	19,4	1,0
Пробы воды из родников											
ТКТ	в14	170	64	75	25	1	198	533	51,2	16,7	31,9
ТКТ	в19	120	38	56	13	41	28	296	28,4	17,2	40,5
СМТ2	в34	48	28	23	100	97	31	327	16,5	39,1	14,7
СМТ1	в20	86	679	6500	310	48	1800	9423	88,1	10,5	0,9
СМТ1	в30	330	418	2460	501	170	345	4224	66,4	21,8	7,8
СМТ1	в21	51	145	519	62	15	480	1272	78,5	16,3	4,0
СМТ1	в24	38	61	222	33	19	180	553	72,7	17,0	6,9
СМТ1	в11	580	57	5220	178	61	4800	10896	92,0	2,2	5,3
СМТ1	в13	280	126	409	36	12	580	1443	68,5	11,2	19,4
СМТ1	в26	85	57	709	37	29	535	1452	85,7	6,5	5,9
СМТ1	в16	510	150	2500	92	19	2540	5811	86,7	4,2	8,8
СМТ1	в33	198	26	1040	220	73	233	1790	71,1	13,7	11,1
СМТ1	в15	62	67	1004	38	12	750	1933	90,7	5,4	3,2
СМТ1	в35	88	49	810	190	79	887	2103	80,7	11,4	4,2
СМТ1	в28	480	78	3136	902	292	2140	7028	75,1	13,9	6,8

Опробование родниковых вод в точках в21, в24, в30, расположенных в приустьевой части р. Быгель, показало наличие хлоридно-натриевых вод разной степени содержания сухого остатка и ионов хлора, с превышением нормативов в пробе в21 (сухой остаток – 1,3 г/л, Cl^- – 1,7 ПДКвр) и в пробе в30 (сухой остаток – 2,4 г/л, Cl^- – 7 ПДКв, 8,2 ПДКвр).

Хлоридно-натриевый состав воды и повышенное содержание сухого остатка характерны также родникам в точках в13, в16.

Вода родника (проба в15), расположенного на левом берегу водохранилища, в районе пионерского лагеря, отличается высоким уровнем минерализации, превышающим нормативы в 1,9 раза, повышенным содержанием хлоридов (2,8 ПДКв, 3,3 ПДКвр) и ионов натрия (3,8 ПДК). Количество нефтепродуктов превышает установленные нормы в 5,8 раза, цинка – 2 ПДКв, 210 ПДКвр, кобальта – 2 ПДКв, 20 ПДКвр, никеля – 22 ПДКв, 73 ПДКвр. Вода родника, расположенного западнее (в35), также имеет хлоридно-натриевый состав с высокой степенью минерализации (1546 мг/л). Содержание нефтепродуктов здесь превышает предельно допустимые концентрации в 54 раза для вод культурно-бытового водопользования и в 90 раз – для вод рыбохозяйственного назначения. Здесь же отмечено повышенное содержание в воде цинка (30 ПДКвр), кобальта (10 ПДКвр) и никеля (16 ПДКвр).

На фоне техногенно-измененных подземных вод следует отметить три родника (пробы в14, в19, в34), где минерализация и содержание макрокомпонентов не превышают ПДК и близки к фоновым значениям; преобладающими ионами в химическом составе воды этих родников являются HCO_3^-, Na^++K^+, HCO_3^-, Mg^+.

По всей площади опробования в химическом составе родниковых вод обнаружены повышенные концентрации следующих компонентов: цинк – до 2–3 ПДКв, 90–230 ПДКвр в 20% проб; кобальт – до 2–4 ПДКв, 20–40 ПДКвр в 25 % проб; никель – до 16–29 ПДКв, 52–96 ПДКвр в 40% проб; нефтепродукты – 11 ПДКвр в среднем; ХПК – превышение в среднем до 6 раз. В 25% проб обнаружено повышенное содержание кадмия (до 40 ПДКв в пробе в28). По уровню токсичности родниковые воды исследуемой территории отнесены преимущественно к 4 категории – 50% проб, к 5 категории токсичности отнесены 30% проб, к 3 категории – 20% проб.

Загрязнение родникового стока вызвано комплексом причин техногенного и природного происхождения, среди которых в первую очередь следует выделить перетоки по скважинам различного назначения, пробуренным на побережье и сопредельных территориях. Свою роль в загрязнении подземных вод играет инфильтрация в водоносные горизонты загрязненного поверхностного стока на территории промышленных и жилых зон г. Березники.

По химическому составу выделяются *три группы родников*, воды которых разгружаются: (1) из терригенно-карбонатной толщи; (2) из верхнесоликамского водоносного горизонта; (3) из нижнесоликамского водоносного горизонта. Это разделение было выполнено на основе сопоставления отношений содержания преобладающих ионов к общей минерализации родниковой воды с аналогичными соотношениями для проб из водоносных горизонтов (см. табл. 3.15).

Воды ***первой группы родников*** разгружаются из терригенно-карбонатной толщи. Отношение содержания в них к общей минерализации составляет более 70%. Это пресные воды с минерализацией до 0,3 г/л. На берегах водохранилища разгружается два таких родника, которые находятся на северном берегу водохранилища. Один из них используется местным населением в питьевых целях.

Воды ***второй группы родников*** разгружаются из верхнесоликамского водоносного горизонта. Отношение содержания в них суммы ионов и к общей минерализации составляет более 80%. Это солоноватые воды с минерализацией до 3 г/л. На территории исследования встречен только один родник данного типа, который расположен на южном берегу водохранилища.

Воды ***третьей группы родников*** (наиболее многочисленной) разгружаются из нижнесоликамского водоносного горизонта. Отношение содержания в них суммы ионов, и к общей минерализации составляет около 70%. Это соленые воды с минерализацией до 30 г/л. На левом берегу Нижнезырянского водохранилища в 100 м от родников, из которых были взяты пробы воды в35 и в26, имеется скважина. Здесь у ручьев, вытекающих из родников, нет выраженных каналов стока, а наблюдается площадная разгрузка подземных вод. Это говорит о том, что перетоки начались сравнительно недавно. Наибольшее количество родников третьей группы находится в хвостовой части водохранилища, где по архивным данным также имеется скважина.

3.4. Характеристика водной растительности

По данным М. А. Бакланова, видовой состав макрофитов (высшей водной растительности) в водохранилище является типичным для стоячих водоемов Пермского края. В ходе исследований выявлены: элодея канадская (*Elodea canadensis*), три вида рдестов – сплюснутый (*Potamogeton compressus*), пронзеннолистный (*P. perfoliatus*), злаковый (*P. gramineus*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*), ряски трехраздельная (*Lemna trisulca*) и малая (*L. minor*), стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia*). По численности доминируют рдест злаковый, роголистник погруженный и элодея.

Максимальное зарастание наблюдается в верхней части водохранилища и вдоль его правого берега, то есть в местах поступления в водоем органических веществ. Из-за больших площадей мелководий и эвтрофности происходит сплошное зарастание водной растительностью более трети площади водохранилища (рис. 3.24).

Степень развития макрофитов в водоеме, несомненно, зависит от климатических особенностей конкретного года, однако основной тенденцией является постепенное зарастание все больших площадей. Интенсивный рост водных растений приводит к существенному увеличению органического вещества в водоеме, причем осенью и зимой происходит отмирание и разложение растений, в результате чего возможно возникновение дефицита кислорода в воде в подледный период.

Проведена ориентировочная оценка продуктивности макрофитов Нижнезырянского водохранилища. Для этого брались укосы растений с площадки 25×25 см (затем это пересчитывалось на 1 м^2) в трех повторностях. Стебли срезались у поверхности грунта. Фитомасса учитывалась в воздушно-сухом весе. Для пересчета средней фитомассы в годовую продукцию использовался коэффициент 1,2 (Распопов, 1973).

В Нижнезырянском водохранилище воздушно-сухая фитомасса варьировала от 130 до 720 г/м^2, в среднем этот показатель составил 245 г/м^2. При уровне наполнения водохранилища до отметки 114,5 м площадь мелководий до 2 м глубиной составляет 1,9 км^2, из них сплошное зарастание макрофитами характерно лишь для трети (0,633 км^2). Имея среднюю фитомассу 245 г/м^2 и коэффициент пересчета в продуктивность 1,2, получаем, что для Нижнезырянского водохранилища продукция макрофитов в год составляет 186,1 т.

Рисунок 3.24.
Зарастание Нижнезырянского водохранилища водной растительностью: а) верхней части; б) нижней (правый берег).

а)

б)

3.5. Характеристика животного мира

3.5.1. Гидробионты

Изучение фауны гидробионтов Нижнезырянского водохранилища было проведено в июле 2007 г. М. А. Баклановым. Сбор, обработка и анализ гидробиологического материала проводились по В. И. Жадину (1960) и «Методике...» (1975). Пробы зообентоса отбирали штанговым дночерпателем Экмана-Берджа с площадью захвата 0,01 м^2 и гидробиологическим скребком с длиной ножа 0,2 м, промывали через капроновое сито № 49. Дальнейшая обработка материала производилась в лабораторных условиях с использованием бинокулярного микроскопа МБС-9 и микроскопа Ломо Микмед-1. Все донные животные более 2 мм подсчитывались и взвешивались после обсушивания на фильтровальной бумаге. Для взвешивания крупных моллюсков использовались электронные весы MW-300T с точностью 0,1 г, остальные гидробионты взвешивались на весах WT-500 с точностью 2 мг.

Всех донных животных определяли, по возможности, до вида по «Определителям...» (1977, 1994, 1997, 1999, 2001, 2004). Некоторых зообентонтов определяли лишь до отряда или семейства ввиду несформировавшихся систематически значимых признаков (мелкие личинки бабочек, жуков и мокрецов).

Для выделения донных сообществ использовали численность, биомассу и количество видов донных животных, их встречаемость, и рассчитанные на основе этих показателей индекс доминирования и индекс видового разнообразия Шеннона. Индекс доминирования Броцкой-Зенкевича в модификации Мордухай-Болтовского (Методика…, 1975) рассчитывали по формуле:

$$Id = \sqrt{p\sqrt{b}},$$

где *b* – средняя биомасса данного вида в составе донного сообщества, *p* – встречаемость. Последняя учитывалась как отношение числа проб, в которых встречен данный вид (*m*), к общему числу проб (*n*):

$$p = \frac{m}{n}100\%.$$

Уровень трофности водоема оценивали по сводке С. П. Китаева (1984).

Индекс Шеннона (Шеннон, 1963) вычисляли по формуле:

$$H = \sum \frac{n}{N} \log_2 \frac{n}{N},$$

где H – индекс разнообразия, бит/экз.; *n* – численность каждого *i*-го вида; *N* – общая численность всех видов.

Для оценки качества вод использованы следующие показатели. Индекс Гуднайта-Уитлея, выражающий численность олигохет относительно численности всех донных животных в процентах (Goodnight, Whitley, 1961). Хирономидный индекс (Балушкина,1976):

$$Kch = \frac{\alpha_t + 0.5\alpha_{ch}}{\alpha_o},$$

в котором a_t, a_{ch}, a_o – вспомогательные величины для подсемейств таниподин, хирономин и ортокладиин соответственно; a=*N*+10, где *N* – относительная численность личинок данного подсемейства в процентах от общей численности хирономид. Биотический индекс BI (Woodowiss, 1964), основанный на учете представленности или отсутствии индикаторных таксонов. Классы качества вод и состояние экосистемы водоема оценивалось согласно рекомендациям Е. В. Балушкиной и Н. П. Финогеновой (Balushkina, Finogenova, 2003; Балушкина, 2004).

В результате исследований Нижнезырянского водохранилища в составе макрозообентоса было зарегистрировано 39 видов и форм (табл. 3.16). Также были отмечены представители мейозообентоса – нематоды (Nematoda), ракушковые рачки (Ostracoda) и водяные клещи (Hydracarina).

Наибольшее видовое разнообразие обеспечивают личинки комаров-звонцов (Chironomidae) – 9 видов и форм, брюхоногие моллюски (8 видов) и двустворчатые моллюски (7). Малощетинковые черви (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), равноногие раки (Isopoda), поденки (Ephemeroptera), ручейники (Trichoptera), жуки (Coleoptera), клопы (Heteroptera), бабочки (Lepidoptera) и мокрецы (Ceratopogonidae) насчитывают по 1–3 представителям.

В целом таксономический состав зообентоса характеризует исследованный водоем как типичное водохранилище с

Таблица 3.16.
Видовой состав бентоса Нижнезырянского водохранилища
(по данным М. А. Бакланова).

Кл. Nematoda	Кл. Insecta
Кл. Oligochaeta	Отр. Ephemeroptera
Сем. Tubificidae	Сем. Caenidae
Limnodrilus hoffmeisteri Claparede	*Caenis macrura* Stephens
Potamothrix hammoniensis (Michaelsen)	*C. horaria* (L.)
Tubifex tubifex (Mueller)	Отр. Trichoptera
Кл. Hirudinea	Сем. Hydroptilidae
Erpobdella octoculata (L.)	*Oxyethira sp.*
Helobdella stagnalis (L.)	Отр. Lepidoptera
Кл. Bivalvia	Отр. Heteroptera
Сем. Euglesidae	Сем. Corixidae
Euglasa sp.	*Micronecta sp.*
Сем. Pisidiidae	Отр. Coleoptera
Pisidium amnicum (Mueller)	Сем. Chrysomelidae (larvae)
Сем. Sphaeriidae	*Donacia aquatica* (L.)
Nucleocyclas nucleus (Studer)	Сем. Haliplidae (larvae)
Sphaerium corneum (L.)	Сем. Goerissidae (larvae)
Сем. Unionidae	Отр. Diptera
Anodonta cygnea (L.)	Сем. Ceratopogonidae
Unio rostratus Lamarck	Сем. Chironomidae
Colletopterum rostratum (Rossmaessler)	*Ablabesmyia longistyla* Fittkau
Кл. Gastropoda	*Chironomus anthracinus* Zetterstedt
Сем. Bithyniidae	*Ch. plumosus* (L.)
Bithynia tentaculata (L.)	*Cladotanytarsus* gr. *mancus*
Сем. Lymnaeidae	*Cricotopus* gr. *sylvestris*
Lymnaea auricularia (L.)	*Cryptochironomus* gr. *defectus*
L. baltica (L.)	*Cryptotendipes holsatus* Lenz
L. stagnalis (L.)	*Paratrichocladius inaequalis* (Kieffer)
L. monnardi (Hartmann)	*Stictochironomus crassiforceps* (Kieffer)
Lymnaea (juv.)	Кл. Crustacea
Сем. Planorbidae	Отр. Isopoda
Planorbis planorbis (L.)	*Asellus aquaticus* (L.)
Сем. Valvatidae	Отр. Ostracoda
Cincinna ambigua (Westerlund)	Кл. Arachnida
C. depressa (C. Pfeiffer)	Отр. Hydracarina

большим количеством пелофильных (олигохеты, *P. amnicum*, *Ch. plumosus*, *A. aquaticus*) и фитофильных (брюхоногие моллюски, *Oxyethira sp.*, *D. aquatica*, *C. gr. sylvestris*) форм. В прибрежье, где грунты представлены заиленными песками, большое значение имеют псаммопелофильные (униониды, *C. gr. mancus*, *S. crassiforceps*) зообентонты.

Количественные показатели макрозообентоса разных грунтов представлены в таблице 3.17. По уровню развития бентофауны водохранилище может быть отнесено к эвтрофным (Китаев, 1984) водоемам.

Таблица 3.17.
Численность и биомасса макрозообентоса на разных грунтах (М. А. Бакланов).

Группа	Грунт			
	Заиленный песчаный		Илистый	
	экз./м^2	г/м^2	экз./м^2	г/м^2
Кл. Oligochaeta	339	0,62	1249	3,06
Кл. Hirudinea	56	0,43	8	0,10
Кл. Bivalvia (всего)	759	1678,98	448	5,64
Кл. Bivalvia (кормовых)	737	12,51	448	5,64
Кл. Gastropoda (всего)	747	29,93	407	33,07
Кл. Gastropoda (кормовых)	690	21,54	264	3,97
Кл. Insecta	11889	12,62	2114	12,35
Отр. Ephemeroptera	39	0,04	0	0
Отр. Trichoptera	8	>0,01	0	0
Отр. Lepidoptera	6	>0,01	0	0
Отр. Heteroptera	25	>0,01	0	0
Отр. Coleoptera	120	0,16	99	2,72
Отр. Diptera	11691	12,41	2015	9,63
Сем. Ceratopogonidae	581	0,19	0	0
Сем. Chironomidae	11110	12,22	2015	9,63
Кл. Crustacea	25	0,02	0	0
ВСЕГО	13815	1722,60	4226	54,22
ВСЕГО КОРМОВОГО	13680	47,31	4075	25,02

На заиленных песках обнаружено 36 видов и форм зообентонтов. Средняя биомасса донных животных здесь оказалась равной 1722,60 г/м^2 при численности около 13,8 тыс. экз./м^2. Биомасса кормовой части зообентоса составляет 47,31 г/м^2 при плотности 13,7 тыс. экз./м^2. Так, основу биомассы псаммопелофильного зообентоса формируют крупные некормовые моллюски сем. Unionidae – 96,7%. Раковины крупных моллюсков в некоторых местах водохранилища сплошным слоем покрывают прибрежье (рис. 3 25).

В доминантный комплекс кормовой части зообентоса данного биотопа входят относительно мелкие двустворчатые и брюхоногие моллюски – *P. amnicum, S. corneum, C. ambigua* и хирономиды *C. gr. defectus, S. crassiforceps*. Личинки стиктохиронома (*S. crassiforceps*) оказались самыми массовыми и определяют своим развитием 66,9% численности всего зообентоса песчаных грунтов.

На илистых грунтах идентифицировано 19 видов и форм донных беспозвоночных. Средняя биомасса пелофильного зообенто-

Рисунок 3.25.
Раковины крупных моллюсков на правом берегу водохранилища.

са составляет 54,22 г/м^2 при численности около 4,2 тыс. экз./м^2. Биомасса и плотность кормовой части зообентоса оказались равными – соответственно 25,02 г/м^2 и 4,1 тыс. экз./м^2. Доминантный комплекс формируют 2 формы – брюхоногие моллюски *L. stagnalis*, приуроченные к зарослям гидрофитов, и личинки хирономид *C. gr. defectus*. Крупные моллюски *L. stagnalis* обеспечивают в среднем 52,0% биомассы зообентоса илистых грунтов, но приурочены к зарослям гидрофитов и не встречаются в зообентосе открытой части водоема. Доля хирономиды *C. gr. defectus* в биомассе пелофильных донных сообществ равняется 15,1% (32,7% биомассы кормового зообентоса), при этом криптотендипы (*C. gr. defectus*) встречаются в большом количестве как на илах, так и в зарослях гидрофитов, произрастающих на илах. Также можно отметить высокую представленность брюхоногих и двустворчатых моллюсков *B. tentaculata*, *S. corneum*, олигохет *T. tubifex*, хирономид рода *Chironomus*.

Оценка экологического состояния водоема проведена по широко используемым параметрам, рассчитанным на основании количественных показателей зообентоса (табл. 3.18). В соответствии с величинами разных параметров, воды Нижнезырянского водохранилища характеризуются от очень чистых до загрязненных, относясь при этом к 1–4 классам качества.

Таблица 3.18.
Величины биотического индекса Вудивисса (BI), олигохетного индекса Гутнайта-Уитлея (OI), хирономидного индекса Балушкиной (Kch) и индекса Шеннона (H).

Параметр	Мин.–макс.	Среднее	Класс качества вод*	Качество воды*	Состояние экосистемы*
BI	3–8	5,30	1–2	Очень чистая – чистая	Относительно удовлетворительное
OI, %	0,16–28,71	15,17	1–2	Очень чистая – чистая	Относительно удовлетворительное
Kch	4,31–6,50	6,14	3–4	Умеренно загрязненная – загрязненная	Напряженное – критическое
H, бит/экз.	1,02–3,29	2,35	–	–	–

Примечание:
* По: Balushkina, Finogenova, 2003; Балушкина, 2004.

Биотический индекс варьировал в пределах 3–8, что вполне естественно для стоячих водоемов. Хотя такие индикаторные группы донных животных, как ручейники и поденки немногочисленны и не играют значительной роли в структуре зообентоса (табл. 3.17), их наличие при достаточно высоком видовом богатстве бентофауны определило высокую среднюю величину индекса – 5,3 (табл. 3.18).

Обращает на себя внимание низкая численность олигохет (табл. 3.17), что выражается в низких величинах индекса Гуднайта-Уитлея (табл. 3.20). Возможно, это связано с циклами развития, а именно в нахождении большинства малощетинковых червей на младшевозрастных стадиях онтогенеза.

Величины хирономидного индекса мало варьировали и составили в среднем 6,14. Стабильность значений индекса связана с подавляющим количественным преобладанием комаров-звонцов подсемейства Chironominae, что естественно для малых водохранилищ.

Таким образом, видовое богатство макрозообентоса Нижнезырянского водохранилища достаточно велико – 39 видов и форм из 6-ти классов, также зарегистрированы типичные представители мейозообентоса – нематоды, остракоды, водяные клещи. Сравнение с данными по р. Быгель (табл. 3.19) демонстрирует существенный рост в водохранилище разнообразия семейств в зообентосе, численности и биомассы донных животных.

Интересно отсутствие некоторых типичных компонентов прудовой фауны – олигохет сем. Naididae, хирономид рода *Procladius*, личинок стрекоз, что требует дальнейшего изучения. Количествен-

Таблица 3.19.
Основные показатели развития зообентоса р. Быгель и Нижнезырянского водохранилища.

Показатель	Быгель				Нижнезырянское водохранилище	
	До скачка солености		После скачка солености		Заиленный песок	Ил
	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия		
Число семейств	14	15	10	7	22	16
Численность, экз/м^2	9670	7550	4560	4720	13815	4226
Биомасса, мг/м^2	13,17	14,32	6,56	4,30	1722,60	54,22

ные показатели донных сообществ характеризуют водоем как эвтрофный, биомасса зообентоса, которая может быть потреблена рыбами в корм составляет на разных биотопах 25,02–47,31 г/м².

Принимая во внимание указанные выше параметры оценки экологического состояния водоема, а также среднюю величину индекса Шеннона, водохранилище можно считать «чистым – умеренно загрязненным», а состояние экосистемы охарактеризовать как «относительно удовлетворительное – напряженное». При этом по двум индикаторным индексам – Вудивисса (BI) и Гутнайта-Уитлея (OI), состояние «относительно удовлетворительное», что является максимальной положительной оценкой, и лишь по хирономидному индексу Балушкиной (Kch) – «напряженное – критическое», то есть проявляется антропогенное воздействие на биоценоз.

3.5.2. Ихтиофауна

В ходе трех полевых выездов ихтиологами Пермского государственного университета под руководством М. А. Бакланова было проведено обследование фауны рыб Нижнезырянского водохранилища. Исследовались: видовой состав и экологическая структура ихтиофауны, популяционные и биологические характеристики массовых видов рыб, численность и параметры молоди рыб. Основной целью работ являлось оценка экологического состояния водохранилища по ихтиофауне и прогноз изменений в ихтиоценозе при понижении уровня воды.

Сбор материала производился с помощью набора ставных сетей (длиной 50–70 м, ячеей 20–45 мм), малькового неводка (длина 8 м, ячея 3 мм) и любительских орудий лова. Наряду с непосредственным изучением ихтиофауны водохранилища осуществлялся сбор опросных сведений у местного населения, позволивший определить приблизительные сроки появления в водоемах видов-вселенцев, уточнить встречаемость малочисленных видов и выявить наиболее общие черты изменения ихтиофауны за последние годы.

Сбор и обработка материалов проведены в соответствии с типовыми методиками (Правдин, 1966; Лукин и др., 1981; Зиновьев, Мандрица, 2003). Производился полный биологический анализ: измерялась длина до конца чешуйного покрова с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм, у фиксированных рыб определялась масса тела с внутренностями и без них с помощью аптечных весов с точностью до 0,1 г. Визуально определялся пол и стадия зрелости половых продуктов по шестибалльной шкале. Чешуя для определения возраста бралась в наиболее высокой средней части тела,

Таблица 3.20.
Видовой состав ихтиофауны Нижнезырянского водохранилища и относительная численность видов рыб.

Виды	Относительная численность
Отряд **Esociformes** – щукообразные	
Семейство **Esocidae Cuvier**, 1816 – щуковые	
1. ***Esox lucius*** Linnaeus, 1758 – щука	++
Отряд **Cypriniformes** – карпообразные	
Семейство **Cyprinidae** Fleming, 1822 – карповые	
2. ***Rutilus rutilus*** (Linnaeus, 1758) – обыкновенная плотва	+++
3. ***Alburnus alburnus*** (Linnaeus, 1758) – уклейка	+++
4. ***Tinca tinca*** (Linnaeus, 1758) – линь	+
5. ***Gobio gobio*** (Linnaeus, 1758) – обыкновенный пескарь	++
6. ***Abramis brama*** (Linnaeus, 1758) – лещ	+++
7. ***Carassius carassius*** (Linnaeus, 1758) – обыкновенный карась	+
8. ***Carassius auratus gibelio*** (Bloch, 1782) – серебряный карась	+
9. ***Cyprinus carpio*** Linnaeus, 1758 – сазан	+
10. ***Ctenopharyngodon idella*** (Valenciennes, 1844) – белый амур	0
11. ***Hypophthalmichthys molitrix*** (Valenciennes, 1844) – белый толстолобик	0
Семейство ***Balitoridae*** Swainson, 1839 – балиторовые	
12. ***Barbatula barbatula*** (Linnaeus, 1758) – усатый голец	++
Отряд ***Perciformes*** – окунеобразные	
Подотряд ***Percoidei*** – окуневидные	
Семейство ***Percidae*** Cuvier, 1916 – окуневые	
13. ***Stizostedion lucioperca*** (Linnaeus, 1758) – судак	++
14. ***Perca fluviatilis*** Linnaeus, 1758 – речной окунь	+++
15. ***Gymnocephalus cernuus*** (Linnaeus, 1758) – обыкновенный ерш	++

Примечание:
+++ – многочисленный вид,
++ – обычный,
+ – малочисленный,
0 – вид встречается единичными экземплярами.

выше боковой линии, под спинным плавником. Возраст определялся под микроскопом МБС-2 путем подсчета годовых колец.

В ихтиофауне водохранилища обнаружено 15 видов рыб, относящихся к 3 отрядам и 4 семействам (табл. 3.20). Преобладают представители семейства карповых (10 из 15), что в целом характерно для всего бассейна Камы (Зиновьев, Бакланов, 2000). Основу ихтиоценоза составляют эврибионтные и лимнофильные виды. По численности в водохранилище доминируют уклейка (*Alburnus alburnus*), плотва (*Rutilus rutilus*), окунь (*Perca fluviatilis*) и лещ (*Abramis brama*). Обычными видами являются щука (*Esox lucius*), судак (*Stizostedion lucioperca*), обыкновенный пескарь (*Gobio gobio*), ерш (*Gymnocephalus cernuus*), усатый голец (*Barbatula barbatula*). Малочисленны – линь (*Tinca tinca*), золотой (*Carassius carassius*) и серебряный (*Carassius auratus gibelio*) караси.

Кроме того, встречаются ценные виды рыб, запущенные для увеличения рыбохозяйственной значимости водоема. К ним относятся – карп (*Cyprinus carpio*), белый амур (*Ctenopharyngodon idella*) и белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*). Лишь для карпа возможно естественное воспроизводство в данных условиях, тогда как остальные два вида представлены особями, выпущенными сюда ранее.

Пока для Нижнезырянского водохранилища не отмечены, но могут встречаться в нем – верховка *Leucaspius delineatus*, озерный гольян *Phoxinus percnurus*, вьюн *Misgurnus fossilis* и ротан-головешка *Perccottus glenii*. Для всех этих видов в водохранилище имеются подходящие условия для существования и, возможно, их отсутствие в уловах является следствием непродолжительного периода исследований лишь в один сезон. Так, верховка и озерный гольян в летний период могут держаться в толще воды на удалении от берега (эпипелагиале), из-за чего они отсутствуют в уловах мальковым неводком в прибрежье, тогда как в сети они не ловятся из-за малых размеров. Вьюн в бассейне Камы является малочисленным видом, обитающим в сильно заросших, стоячих водоемах. Из-за скрытного образа жизни он часто избегает учета при исследованиях фауны рыб. Ротан – вид-вселенец из бассейна Амура, который стремительными темпами расширяет свой новый ареал на европейской территории и в бассейне Камы уже дошел до низовьев Вишеры. Скорее всего, он уже проник в водохранилище, но пока, из-за невысокой численности популяции, не обнаруживается. Рост его численности может также сдерживать наличие в ихтиоценозе щуки, которая избирательно выедает ротана.

В целом, сообщество рыб в Нижнезырянском водохранилище демонстрирует наличие благоприятных экологических условий для существования большинства видов рыб. В нем присутствуют виды чувствительные к токсическому загрязнению вод: судак, обыкновенный пескарь, ерш. Высока численность бентофагов – придонных рыб, которые обычно в первую очередь подвергаются различным негативным воздействиям.

Рыбное сообщество сбалансировано – по численности преобладают мирные виды разных экологических ниш, но имеются и хищники (щука, судак, крупный окунь), выполняющие регулирующую роль в ихтиоценозе.

Анализ уловов молоди в прибрежье позволяет констатировать благоприятные условия для нереста большинства рыб в водохранилище. Биологические и популяционные показатели отдельных видов рыб (линейный и весовой рост, темп созревания, половой и возрастной состав) также не демонстрируют каких-либо признаков угнетения. Исключение составляет лишь популяция леща, для которой характерна малочисленность старшевозрастных половозрелых особей. Однако это является следствием распространенного на водохранилище браконьерского лова крупноячейными сетями. С другой стороны, наличие большого числа молодых неполовозрелых лещей, не позволяет говорить о критическом состоянии данного вида рыб. При ужесточении контроля за браконьерами нормальная возрастная структура популяции леща восстановится в течение 3–5 лет.

Микроэлементный состав органов и тканей рыб. Анализ микроэлементов был проведен атомно-адсорбционным методом. Для определения содержания микроэлементов в органах и тканях рыб использовались пробы не от одной особи, а суммарные от 5 (крупные рыбы) или 10 (мелкие) экземпляров. При этом от разных особей старались брать примерно равное количество ткани, а гомогенизация проб осуществлялась путем тщательного протирания и перемешивания образцов после озоления.

Для изучения были взяты следующие виды рыб: окунь – эврифаг, плотва – эврифаг с доминированием растительной пищи, и два бентофага – лещ и пескарь. Во всех пробах проведено определение 8 элементов, результаты анализа представлены в таблице 3.21. При интерпретации полученных результатов использовалась база данных по накоплению микроэлементов в органах и тканях рыб из водоемов в бассейне Камы.

Из выявленных металлов наиболее токсичными являются кадмий и свинец. Кадмий обнаружен в незначительных, следовых концентрациях, которые характерны для всех организмов. Для свинца обнаружено превышение допустимой ориентировочной концентрации (ДОК) для пищевых продуктов в костях и чешуе, тогда как в мышцах и коже концентрация этого элемента незначительна. Однако здесь и при последующем анализе необходимо учитывать, что превышение ДОК для пищевых продуктов большинством тяжелых металлов в чешуе и костях является типичным для рыб, и само по себе не является маркером загрязнения. Напротив, превышение концентрации элемента ДОК в мягких тканях, особенно в мышцах, указывает на его повышенное содержание в организме. Таким образом, содержание свинца в организме рыб Нижнезырянского водохранилища находится в норме. Сравнение с данными по рыбам из других водоемов Прикамья демонстрирует низкое содержание свинца даже в костях и чешуе исследуемых рыб, так как обычно в городских водоемах этот элемент накапливается в данных тканях рыб в существенно больших количествах (3–9 мг/кг).

Полностью аналогична свинцу ситуация с никелем. В мягких тканях его концентрация не превышает ДОК, а в твердых – это превышение незначительно и существенно уступает концентрациям никеля в рыбах из других городских водоемов Прикамья.

В научной литературе отсутствуют данные о ДОК для кобальта в рыбах, однако анализ полученных результатов указывает на наличие поступления в организм рыб избыточных концентраций этого металла. Высока концентрация кобальта в мышцах плотвы (4,89 мг/кг), леща (9,36 мг/кг) и пескаря (8,65 мг/кг), а у окуня этот микроэлемент в значительном количестве накоплен в чешуе (162,98 мг/кг). Для сравнения: в других рыбах из бассейна Камы концентрация кобальта в разных органах и тканях не превышает 2–3 мг/кг.

Также выражено накопление в рыбах из Нижнезырянского водохранилища меди. Превышение ДОК по этому металлу наблюдается у окуня в чешуе, костях и мышцах, у леща – в чешуе, а у

Таблица 3.21.
Содержание микроэлементов в органах и тканях рыб Нижнезырянского водохранилища, мг/кг (М. А. Бакланов).

Вид рыб	Органы и ткани	Элементы							
		Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
Плотва	кости	<0,33	<0,66	<0,33	**<0,83**	**<1,66**	**1813,3±430**	466,6±66	708,1±70
	мышцы	<0,02	4,89±0,9	**12,41±2,3**	<0,05	<0,09	**239,3±58**	26,1±3,6	253,1±24
	чешуя	<0,37	<0,74	<0,37	**<0,92**	**<1,84**	**1253,2±301**	224,2±33	389,6±40
Лещ	кости	<0,34	<0,68	<0,34	**<0,85**	**<1,69**	**1105,3±264**	422,5±61	1250,6±125
	мышцы	<0,03	9,36±1,8	9,36±1,8	<0,06	<0,13	**155,3±38**	13,2±1,8	193,3±19
	кожа	<0,01	<0,03	<0,01	<0,03	<0,07	**498,5±119**	51,6±7,2	618,4±62
	чешуя	<0,24	<0,47	**33,03±7,1**	**<0,59**	**<1,18**	**2384,9±566**	790,3±111	1217,2±123
Окунь	кости	<0,31	<0,62	**11,12±2**	**<0,77**	**<1,55**	**1495,6±371**	525,3±74	954,8±96
	мышцы	<0,02	<0,04	**14,7±2,7**	<0,05	<0,09	**189,2±45**	16,1±2,3	181,9±18
	чешуя	<0,51	162,98±31	**32,60±6,1**	**<1,27**	**<2,55**	**1125,6±270**	488,9±66	422,7±41
Пескарь	кости	<0,25	<0,50	<0,25	**<0,63**	**<1,26**	**1617,8±377**	493,1±68	354,8±35
	мышцы	<0,04	8,65±1,7	5,88±1,0	<0,09	<0,17	**226,6±55**	20,4±2,8	263,3±26
ДОК* для пищевых продуктов		–	–	10,0	0,5	1,0	40	–	–

Примечание:
* ДОК – допустимая ориентировочная концентрация.
Жирным выделено превышение ДОК.

плотвы – в мышцах. Максимальна концентрация меди в чешуе, затем идут мышцы, и минимум наблюдается в костях. Такое распределение микроэлемента нетипично и может указывать на недавнее поступление загрязняющего вещества в водоем. Дело в том, что тяжелые металлы сначала накапливаются в чешуе, постоянно контактирующей с водой, и лишь в последнюю очередь аккумулируются в костях. При хроническом загрязнении обычно максимальна концентрация элемента именно в костях. Следует отметить, что в других исследованных камских рыбах превышение медью ДОК в мышцах ранее не наблюдалось. Цинк, марганец и железо являются важными биогенными элементами и обычно имеют высокую концентрацию в организме. Например, для железа не существует предельной максимальной концентрации в продуктах, так как у человека имеется эффективный механизм выведения его избытка. Однако в исследованных пробах вызывает опасение высокая концентрация цинка в мышцах всех рыб (в 2–5 раз превышающая ДОК) и в коже леща (превышение ДОК в 12 раз).

В целом, по водной растительности, гидробионтам и ихтиофауне можно констатировать удовлетворительное экологическое состояние Нижнезырянского водохранилища. По этим компонентам экосистемы не выявлены показатели, характеризующие водоем как зону экологического кризиса. Тем не менее, анализ содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб Нижнезырянского водохранилища показал повышенную аккумуляцию таких элементов как медь, цинк и кобальт, которое вызвано, скорее всего, антропогенным загрязнением. Негативное влияние человека также связано с загрязнением водохранилища органикой, что наиболее ярко проявляется в интенсивном росте высшей водной растительности.

Рисунок 3.26.
Заболоченный участок в верхней части водохранилища – результат снижения уровня воды.

3.6. Результаты рекогносцировочного обследования

3.6.1. Состояние водоохранной зоны

Рекогносцировочное обследование территории, окружающей водохранилище, выполнено Е. А. Ворончихиной в августе 2007 г. При обследовании уделялось внимание общему состоянию природных комплексов в границах водоохраной зоны, в том числе тем ее участкам, которые перешли из аквального в аэральное состояние в связи с понижением уровня воды в водохранилище примерно на 1 м.

Начальной точкой маршрута стало русло р. Зырянка в 200 м выше водохранилища. Вода в Зырянке имеет слабо выраженный солоноватый привкус, прозрачная, холодная, без запаха. Долинно-речная экосистема представлена закустаренным мезо-гигрофильным лугом с порослью *Salix sp., Betula platyphylla, Agropyrum repens, Festuca pratensis, Galamagrostis epigeios, Carex pilosa, Eguisetum palustre* и др. По визуальным признакам состояние наземных комплексов удовлетворительное.

Рисунок 3.27.
Погребенные илы черного цвета под тонким слоем песчаных наносов, свидетельствующие об активном развитии анаэробных процессов.

Маршрут проходил по северному побережью водохранилища. Верхняя часть его, в связи со сбросом вод, на значительной площади осушена. В границах участка осушения акватория представлена болотом в начальной стадии зарастания (рис. 3.26).

Состав растительного покрова в границах обезвоженного участка территориально упорядочен в зависимости от близости к коренному берегу: от кромки побережья до первоначального уреза зеркала вод распространены густые заросли синантропного крупнотравья, в котором доминируют *Heracleum sibiricum*, *Artemisia lercheana, Agropyrum repens, Cirsium arvense, Tussilago farfara* и другие виды; по кромке заболоченного пространства в составе растительности заметно увеличилась доля гигрофитов, доминирующее значение приобрели *Typha orientalis, Carex pilosa, Juncus filiformis, Eguisetum palustre, Cirsium palustre*, постепенно, по мере продвижения к центральной части обезвоженной зоны, уступающие место разреженной ассоциации с преобладанием *Juncus filiformis*.

В границах полосы осушения растительностью занято около 15% площади, остальная освободившаяся от воды площадь с поверхности темно-серая с рыжими пятнами, переувлажненная, с характерным неприятным гнилостным запахом. В прикопке на глубине 2–7 см и ниже обнажается более темный, почти черный, илистый слой супесчаного состава (рис. 3.27).

Протяженность обезвоженного участка вдоль северного побережья – 150–170 м. Далее он выклинивается до узкой (шириной 4–11 м) прибрежной полосы. Берег водохранилища становится выше, ассоциация синантропного крупнотравья с преобладанием борщевика сменяется суходольной разнотравно-злаковой ассоциацией из *Artemisia lercheana, Rumex confertus, Thalictrum minus, Agropyrum repens, Festuca pratensis, Galamagrostis epigeios* и др., перемежающейся на участках понижений, обусловленных деятельностью водотоков, питающих водохранилище, с ассоциациями гигрофильной растительности (рис. 3.28).

Вдоль северного побережья в ходе маршрутного обследования выявлено 11 родников, питающих водохранилище. Отмечено наличие двух родников с крайне низким дебитом – иссыхающих в связи со снижением уровня воды в водохранилище (рис. 3.29).

Визуальная оценка санитарно-гигиенического состояния водоохраной зоны в границах северного побережья неудовлетвори-

Рисунок 3.28.
Родники, разгружающиеся в водохранилище, размывают рыхлые донные отложения, способствуя перемещению их в центральную глубоководную зону.

Рисунок 3.29.
Иссыхающий родник на северном побережье водохранилища.

тельная: на значительном протяжении встречаются замусоренные участки, выявлено две стихийно сложившиеся свалки бытового мусора, удаленные от уреза водохранилища на 40–60 м, стихийная мойка автотранспорта. Освободившаяся от воды прибрежная полоса донных отложений нуждается в очистке от хлама (рис. 3.30). Ширина обезвоженной полосы вдоль северного побережья в период обследования составила 4–15 м, на всем протяжении она заилена. Мощность донных отложений около 1 м.

Юго-западное и южное побережье водохранилища по визуальным признакам находится в более удовлетворительном состоянии, чем северное (рис. 3.31). По гипсометрическому уровню оно выше, сложено преимущественно песками.

Количество родников на южном побережье водохранилища меньше, чем на северном – около 9. По органолептическим признакам отклонений от нормального состояния родниковых вод не замечено. Растительный покров по экологическим параметрам отнесен к условно естественному и представлен лесными

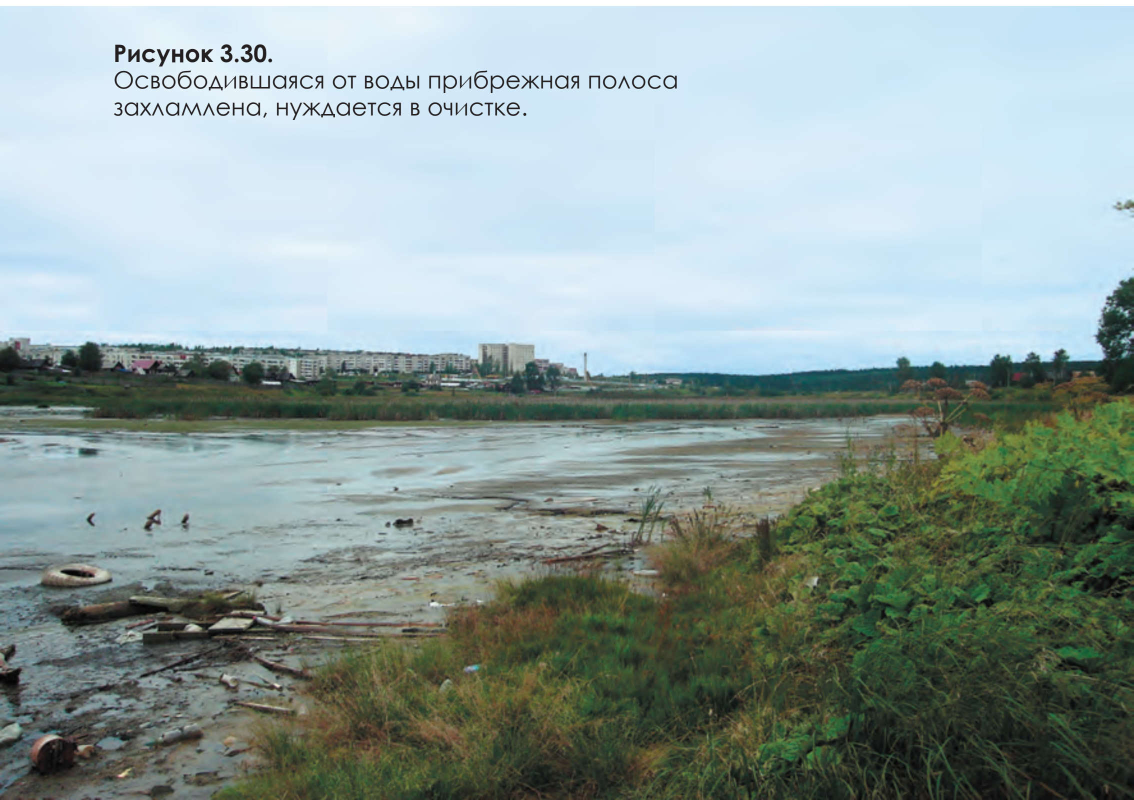


Рисунок 3.30.
Освободившаяся от воды прибрежная полоса захламлена, нуждается в очистке.

ассоциациями смешанного состава, преимущественно из *Betula platyphylla, B.pubescens, Picea excelsa* и *Pinus silvestris*, в западной части южного побережья – закустаренными мезотрофными лугами. Явных следов негативной хозяйственной деятельности, свалок и участков заболачивания на южном побережье не выявлено.

3.6.2. Последствия изменения уровня водохранилища

В результате маршрутно-рекогносцировочного обследования установлены, визуально и органолептически воспринимаемые на уровне негативных, последствия снижения уровня воды в водохранилище. Они обусловлены особенностями состава и экологического состояния донных отложений, которые на первом этапе осушения – во влажном состоянии – будут являться источником резкого гнилостного запаха, инкубатором развития патогенных микроорганизмов, ухудшающих санитарно-гигиеническую обстановку не только в зоне непосредственно контакта, но и под влиянием обилия насекомых (мух и др.) на значительном расстоянии. На втором

Рисунок 3.31.
Юго-западная, возвышенная часть побережья водохранилища, сложенная песками.

этапе осушения – в обезвоженном, просохшем состоянии – донные отложения будут являться источниками развеваемой пыли, загрязняющей водоохранную зону водохранилища и прилегающую урбанизированную территорию.

Непременным следствием понижения уровня воды в чаше водохранилища явится снижение местного базиса эрозии для питающих его водотоков и родников. Это приведет к активизации поверхностных водно-эрозионных процессов, изменит орографическую стабильность водотоков. Данная тенденция уже проявилась на обезвоженных участках водохранилища (рис. 3.26 –3.28).

В экологическом плане данные процессы будут характеризоваться ухудшением санитарно-гигиенического состояния, снижением качества поверхностных вод и перераспределением мелкофракционных донных отложений водохранилища. В наиболее вероятном варианте последствий – заиление сохраненной акватории в нижней части водохранилища, трансформация ее в мелководный, хорошо прогреваемый водоем с последующим его эвтрофицированием. Эвтрофикация приведет к зарастанию и заболачиванию прибрежных мелководий, ухудшению эдафических условий среды обитания гидрофауны и утрате рыбопромыслового потенциала водохранилища.

Глава 4

Моделирование снижения уровня воды в водохранилищах и прорыва плотины

4.1. Выбор метода построения цифровой модели рельефа дна водохранилища

Основой для решения задач, связанных с процессом сработки водоема и определением мощности донных отложений, может служить применение цифровой модели рельефа (ЦМР) дна водоема. Для корректного построения цифровых моделей рельефа использованы интерполяционные методы, реализованные в модулях Geostatistical Analyst и Spatial Analyst ГИС ArcGIS 9.1.

Модуль Geostatistical Analyst предназначен для усовершенствованного моделирования поверхности с использованием детерминированных и геостатистических методов. Для выбора оптимальной поверхности применен метод сравнения полученных моделей. Сравнение позволяет определить, насколько выбранный интерполяционный метод, используемый для создания цифровой модели рельефа, лучше, чем какой-либо другой.

Геостатистические методы, в отличие от детерминированных методов, позволяют дополнительно оценивать стандартную ошибку интерполяции кригинга $d(s_i)$ в каждой интерполируемой точке s_i и строить карту стандартных ошибок интерполяции, которая количественно определяет неопределенность вычислений. Если исследуемые данные подчиняются закону нормального распределения, то истинное значение будет находиться в интервале, определяемом вычисленным значением ± двукратная стандартная ошибка интерполяции примерно в 95% случаев.

В модуле Geostatistical Analyst за критерий оптимальности модели принимается минимум ошибок интерполяции при перекрестной проверке. Перекрестная проверка служит для того, чтобы помочь исследователю принять решение о том, какая модель дает наиболее точные результаты. Она состоит в последовательном удалении из общей совокупности наблюдений одной опорной точки, а затем – интерполяции значения этой точки с использованием оставшихся данных. После этого проинтерполированное значение сопоставляется с фактическим (значением наблюдения) для оценки того, насколько хорошо работает модель интерполяции.

Данные статистики используются для проверки геостатистичекого слоя по трем моментам:

- Проинтерполированные значения должны быть как можно ближе к измеренным значениям, поэтому лучшая модель должна иметь минимальную среднеквадратическую ошибку E_{ms}. Это критерий оптимальности при сравнении моделей.

- Проинтерполированные значения должны быть несмещенными (центрированными по измеренным значениям). Если ошибки вычислений не смещены, средняя ошибка интерполяции E_m должна быть примерно равной нулю. Для оценки геостатистических моделей можно использовать среднюю нормированную ошибку E_{mnorm}, которая не зависит от масштаба данных.
- Для геостатистических моделей оценка средних стандартных ошибок интерполяции должна быть близка к ее среднеквадратической ошибке, полученной в результате перекрестной проверки. Тогда можно быть уверенным в том, что стандартные ошибки интерполяции являются удовлетворительными:

  Если E_{st} близка к E_{ms} ($E_{mnorm} = 1$), то неопределенность при интерполировании значений можно корректно оценить.

  Если E_{st} больше, чем E_{ms} ($E_{mnorm} < 1$), то оценка отклонений в вычислениях завышается.

  Если E_{st} меньше, чем E_{ms} ($E_{mnorm} > 1$), то оценка отклонений в вычислениях занижается.

Поставим задачу построения оптимальной ЦМР дна водного объекта, рассмотрев в качестве исходных данных результаты батиметрической съемки глубин Нижнезырянского водохранилища (рис. 4.1).

При построении ЦМР к опорным точкам должна быть подобрана модель, которая будет учитывать глобальные тренды в данных. Если в данных существует тренд, он представляет собой неслучайную (детерминированную) составляющую поверхности, которая может быть описана какой-либо математической формулой. Поэтому построение ЦМР начато с исследовательского анализа исходных данных инструментом анализа тренда модуля Geostatistical Analyst.

Инструмент анализа тренда проецирует значения опорных точек на плоскости XZ и YZ и строит их точечные графики. Эти графики могут рассматриваться как боковые проекции трехмерных данных. К точечным графикам на плоскостях проекций подбираются аппроксимирующие их полиномы (рис. 4.2).

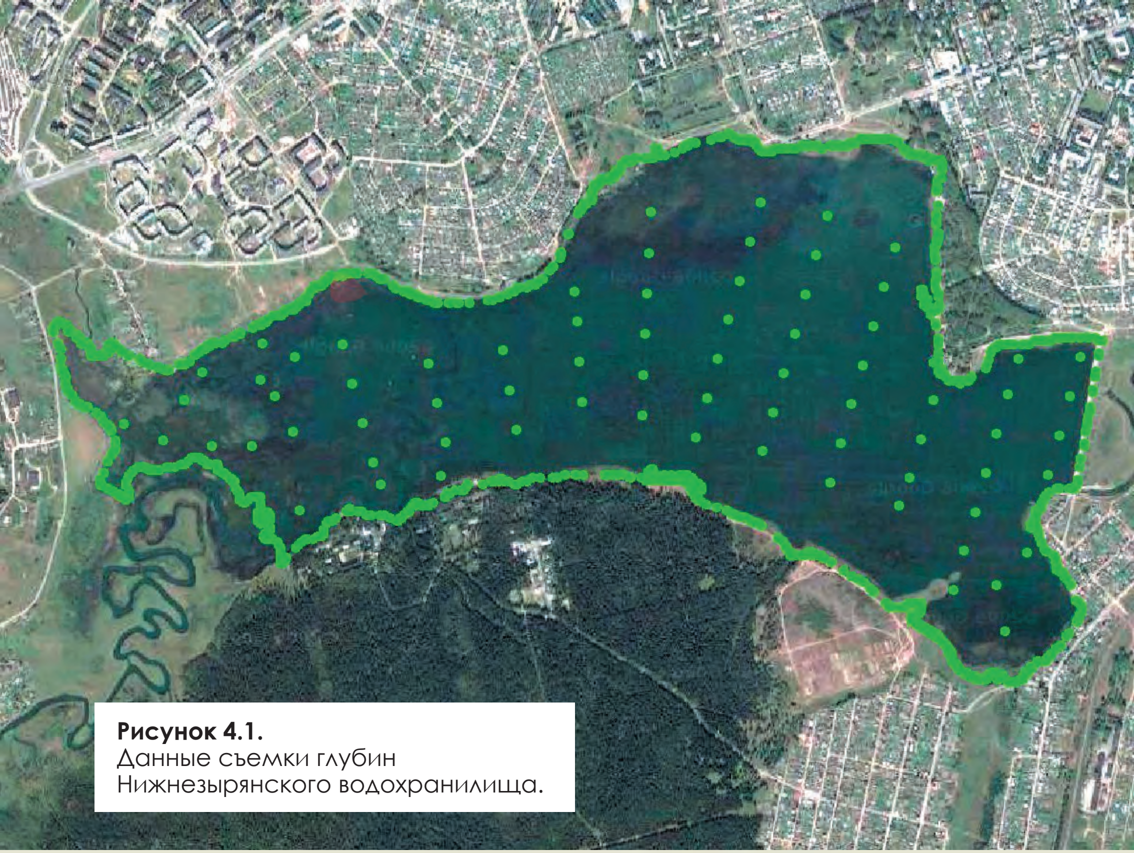
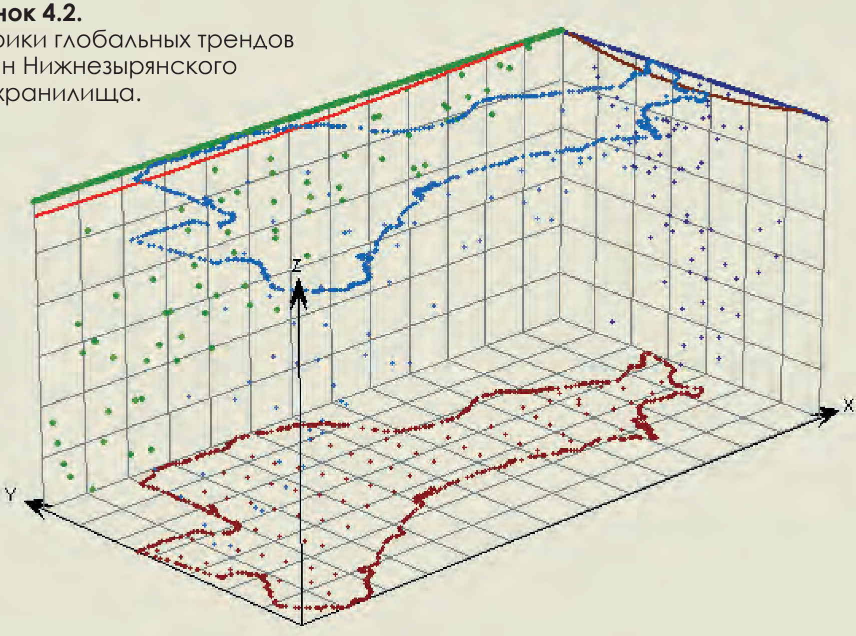


Рисунок 4.1.
Данные съемки глубин Нижнезырянского водохранилища.

Рисунок 4.2.
Графики глобальных трендов глубин Нижнезырянского водохранилища.



На графиках прослеживается глобальный тренд в направлении запада. Это объясняется, во-первых, географическим расположением водохранилища, а во-вторых, тем, что его глубины уменьшаются по мере отдаления от старого русла. Будем учитывать этот тренд в моделях интерполяции для правильного построения ЦМР.

Чтобы создать наилучшую ЦМР необходимо смоделировать поверхности, используя различные методы интерполяции с разными параметрами. За критерий оптимальности построенного геостатистического слоя принимается минимум среднеквадратической ошибки при перекрестной проверке (E_{ms}). Для статистических методов интерполяции дополнительным критерием оптимальности является минимум средней стандартной ошибки интерполяции E_{st}.

Поверхность глубин Нижнезырянского водохранилища построена всеми доступными методами интерполяции модуля Geostatistical Analyst с параметрами интерполяции, заданными по умолчанию. Созданные геостатистические слои поверхностей имеют довольно высокие ошибки E_{ms} и E_{st} (таб. 4.1).

Наилучшие результаты при перекрестной проверке получены при интерполяции геостатистическими методами ординарного и универсального кригинга. С целью минимизировать E_{ms} оптимизируем параметры интерполяции каждого метода путем их всевозможного перебора, построения моделей поверхностей с этими параметрами и сравнения полученных моделей поверхностей

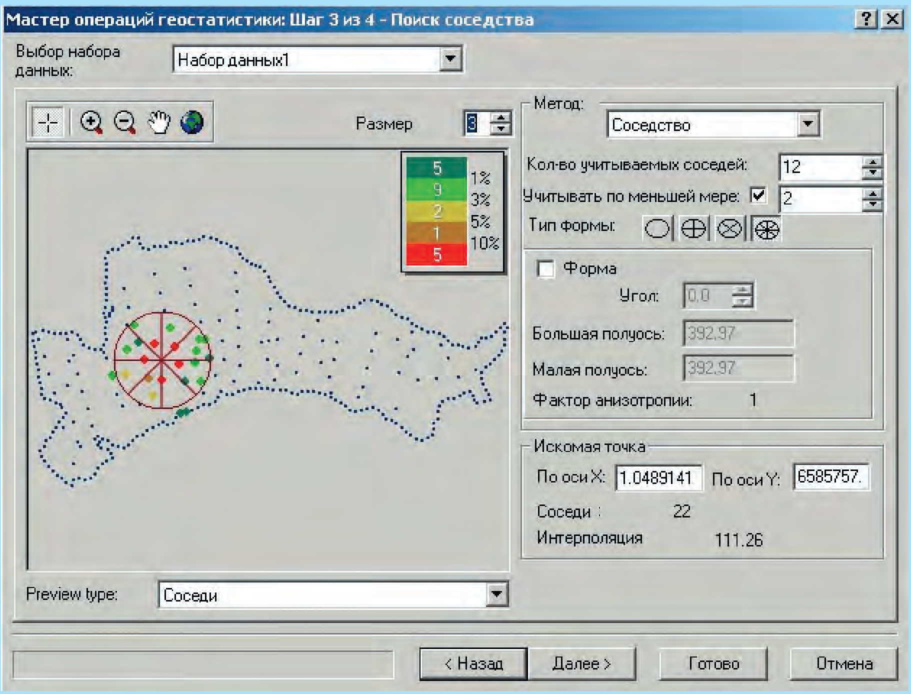
Таблица 4.1.
Результаты моделирования с параметрами интерполяции, заданными по умолчанию.

Метод интерполяции	E_{ms}	E_{st}
Ординарный кригинг	1,55	1,689
Универсальный кригинг	1,55	1,689
Локальными полиномами	1,561	–
Простой кригинг	1,619	2,421
Радиально-базисные функции	1,71	–
Обратно взвешенных расстояний	1,897	–
Глобальным полиномом	3,919	–

между собой при перекрестной проверке. Результаты перекрестной проверки представлены в таблице 4.2.

Оптимизированные поверхности имеют минимально возможные ошибки E_{ms} и значительно меньшие средние стандартные ошибки интерполяции геостатистических методов E_{st}. Вычисленные ошибки характеризуют качество исследуемых интерполяторов для построения поверхности по исходным данным. Оптимальные параметры методов (области соседства, степени полиномов и т. д.) приведены на рисунке 4.3. Построенные поверхности глубин Нижнезырянского водохранилища приведены на рисунке 4.4. Карты стандартных ошибок геостатистических методов интерполяции приведены на рисунке 4.5.

Интерполяция исходных данных методом **глобального полинома** дает сравнительно высокие ошибки при перекрестной про-

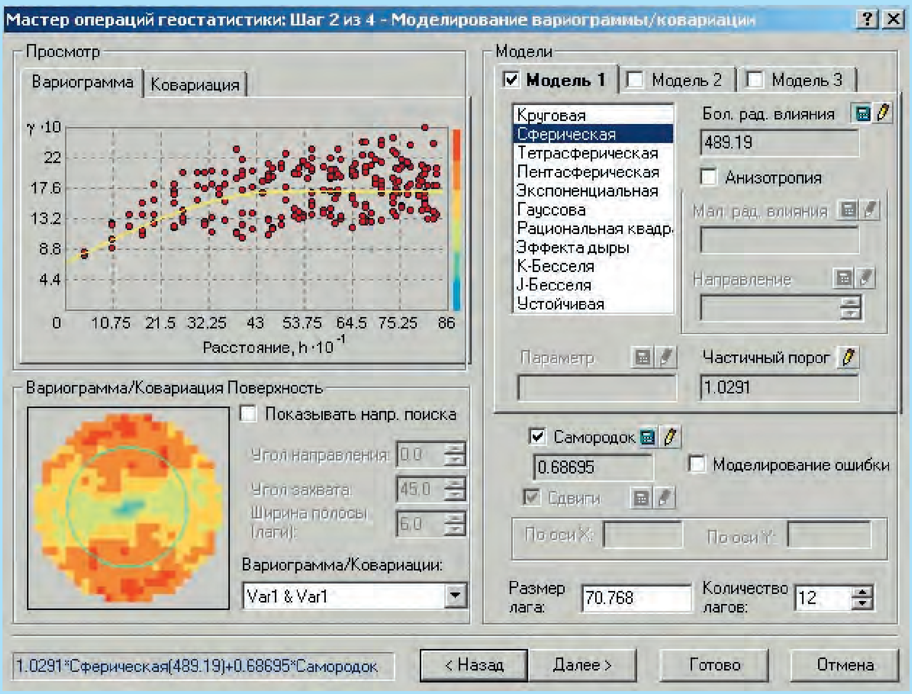


а)

Рисунок 4.3.
Оптимальные параметры геостатистических методов:
а) выбор набора данных, б) вариограмма.

верке, уменьшающиеся с увеличением степени полинома. При интерполяции полиномом 10-й степени E_{ms} = 1,796; E_p = 1,8 (при исключении опорных точек с нулевыми значениями глубин E_p = 2,18). Вычисленные ошибки интерполяции порядка двух метров говорят о том, что построенная модель слишком сглаженная и непригодна для построения ЦМР дна.

При интерполяции методом **локальных полиномов** подобран полином 3-й степени. Этот полином наилучшим образом подходит для моделирования изгибов рельефа дна, при этом достигается минимально возможная ошибка E_{ms} = 1,489. Вычисленная ошибка E_p показывает значительные отклонения построенной поверхности в опорных точках (порядка 1 м от фактических значений наблюдений), что говорит о непригодности данного метода для построения ЦМР дна.



б)

Таблица 4.2.
Результаты моделирования с оптимизированными параметрами интерполяции.

Метод	E_{ms}	E_p	E_{st}
Ординарный кригинг	1,452	0	0,917
Универсальный кригинг	1,469	0	1,101
Радиально-базисные функции	1,483	0	–
Локальных полиномов	1,489	0,968*	–
Простой кригинг	1,51	0	1,212
Обратно взвешенных расстояний	1,554	0	–
Глобального полинома	1,911	1,8*	–

Примечание:
* Интерполяция методом глобального полинома и интерполяция методом локальных полиномов не «жесткая». Для оценки «жесткости» этих методов вручную вычислена среднеквадратическая ошибка интерполяции в опорных точках E_p (исключая нулевые значения на берегу 2,18 и 1,245 соответственно).

Результаты интерполяции методом **обратно взвешенных расстояний** полностью зависят от выбора статистики соседства. Модуль Geostatistical Analyst позволяет оптимизировать параметр метода в зависимости от выбранной статистики соседства. Для этого метода выбрана наилучшая область поиска соседства – эллипс с 4-мя секторами. Из каждого сектора берется одна опорная точка. Малый радиус эллипса выбран равным 500 метрам, большой – 1500 метрам. Этим обеспечивается захват одной опорной точки каждым сектором на всей внутренней области залива. Фактор анизотропии равен 3, поэтому данная модель учитывает сильное влияние по направлению. Угол наклона эллипса в 67 градусов соответствует направлению русла залива. У данного метода – максимальная стандартная ошибка интерполяции (E_{ms} = 1,554) среди «жестких» методов. Модель плохо моделирует изгибающуюся поверхность рельефа дна.

При интерполяции **радиально-базисными функциями** наилучшая модель поверхности достигнута с применением в качестве радиально-базисной функции мультиквадриков. Оптимальной областью поиска соседства является эллипс с 4-мя секторами, учи-

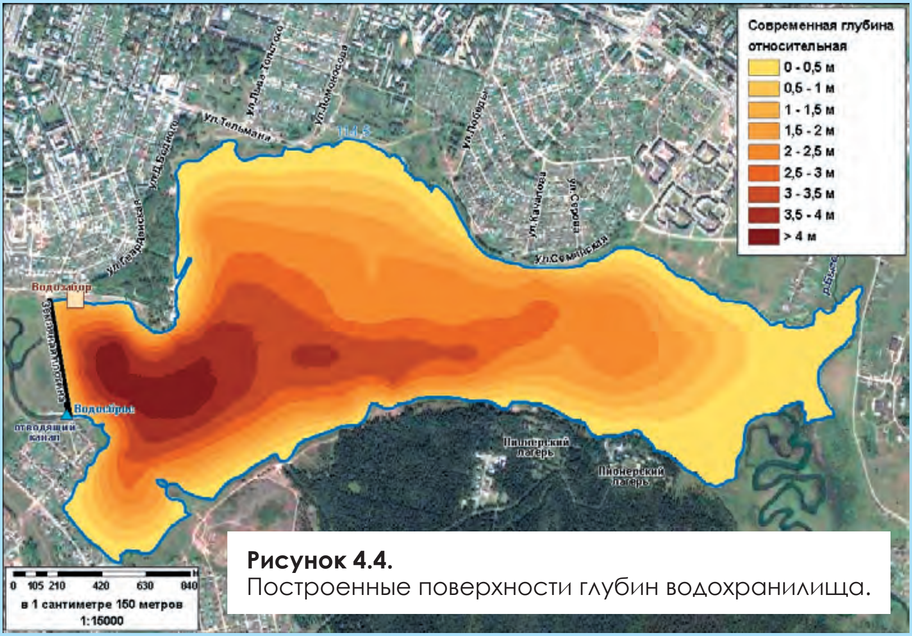


Рисунок 4.4.
Построенные поверхности глубин водохранилища.

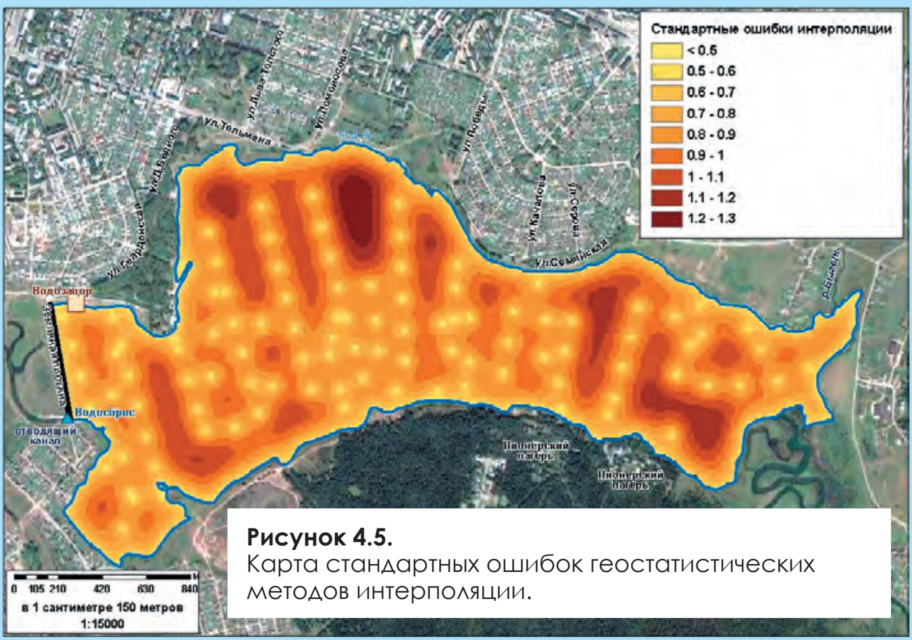


Рисунок 4.5.
Карта стандартных ошибок геостатистических методов интерполяции.

тывающий в интерполяции 40 соседних опорных точек. Угол наклона эллипса равен 64,5 градуса, фактор анизотропии равен 2,991. Угол наклона эллипса, его малый и большой радиусы совпадают с аналогичными параметрами метода простого кригинга, следовательно, можно считать, что эти параметры подобраны с учетом пространственной автокорреляции данных. Радиально-базисные функции хорошо описывают изгибающуюся поверхность рельефа дна, поэтому при перекрестной проверке поверхности, построенной этим методом, получена минимальная среднеквадратическая ошибка интерполяции среди всех исследуемых детерминированных методов (E_{ms} = 1,483).

Рассмотрим результаты построения ЦМР с использованием геостатистических методов. В работе анализировались методы простого, ординарного и универсального кригинга.

У методов кригинга есть возможность при интерполяции учитывать ошибку измерений значений опорных точек. При учете этой ошибки кригинг сглаживает моделируемую поверхность в опорных точках, а без учета ошибки он проводит поверхность точно через точки. Ошибка измерений в Geostatistical Analyst носит название «эффект самородка».

Опытным путем установлено, что применительно к исходным данным учет «эффекта самородка» ведет к тому, что значения глубин результирующей поверхности в опорных точках завышаются на вычисленную модулем Geostatistical Analyst величину этого эффекта. Таким образом, кригинг сглаживает значения глубин.

В настоящей постановке задачи считается, что значения глубин измерены точно. Учитывая физическую специфику используемых данных, для построения реалистичной модели необходимо использовать «жесткий» интерполятор, поэтому будем применять «жесткие» формы кригинга, не учитывающие ошибки измерений.

По результатам моделирования геостатистическими методами интерполяции модель **простого кригинга** занимает последнее место (E_{ms} = 1,51, E_{st} = 1,212). Это объясняется тем, что глубины водохранилища имеют много локальных вариаций, которые лучше моделируются с помощью модели, позволяющей контролировать степень изгибания поверхности (например, метод радиально-базисных функций). Модель простого кригинга учитывает ковариации между всеми опорными точками и она схожа с методом обратно взвешенных расстояний. Обе эти модели плохо подходят для моделирования такой поверхности, как рельеф дна.

Наилучшие результаты при применении **универсального кригинга** получены с использованием в качестве модели тренда глобального полинома 2-й степени (E_{ms} = 1,469, E_{st} = 1,101), а при применении **ординарного кригинга** – с использованием в качестве модели тренда локальных полиномов 3-й степени (E_{ms} = 1,452, E_{st} = 0,917). При интерполяции использовалась модель:

$z(s) = m(s) + e(s)$, где $m(s)$ – детерминистический тренд, а $e(s)$ – автокоррелирующие случайные ошибки.

В этой модели автокоррелирующие случайные ошибки моделируются с помощью статистических методов, а детерминированный тренд наиболее адекватно интерполируется локальными полиномами 3-й степени, хорошо описывающими рельеф дна водохранилища. Фактически построенная методом ординарного кригинга модель уточняет поверхность, построенную методом локальных полиномов, которая имеет E_{ms} = 1,489.

При сравнении всех построенных моделей получены следующие результаты. Среди детерминированных методов первое место занимает метод интерполяции радиально-базисными функциями (E_{ms} = 1,483); построенная модель адекватно описывает рельеф дна водохранилища, но нет доказательства ее достоверности. Наилучшим образом исходную поверхность рельефа дна водохранилища интерполирует метод ординарного кригинга. Полученная при этом модель адекватна тематической постановке задачи. Она учитывает как детерминированный тренд в рельефе дна, описываемый локальными полиномами 3-й степени, так и локальные вариации рельефа, моделируемые при помощи вариограммы. Модель имеет наименьшую среднеквадратическую ошибку при перекрестной проверке (E_{ms} = 1,452). Достоверность модели подтверждается минимальными средними ошибками кригинга (E_{st} = 0,917) и по карте ее стандартных ошибок, которая показывает минимальные стандартные отклонения глубин среди геостатистических моделей (рис. 4.5).

4.2. Моделирование процесса сработки и оценка мощности донных отложений

Для решения проблемы получения формальных выводов о процессе сработки на территории Нижнезырянского водохранилища с учетом понижения его уровня, создан программный инструмент, реализующий определенный статистический подход.

В программе моделирования используется алгоритм: смоделировать сброс воды в водохранилище на заданный уровень и создать полигональный слой, содержащий не осушенные и осушенные области водохранилища при данном уровне сброса.

- Сброс воды в водохранилище моделируется выполнением арифметических операций над растрами глубин. Создается постоянный растр, все значения ячеек которого равны константе сброса воды. Производится суммирование исходного растра глубин и созданного постоянного растра. Обозначим исходный растр $Raster1$, а постоянный растр сброса воды $const$, тогда растр представляющий глубины водохранилища после сброса воды $Raster2$ вычисляется по формуле: $Raster2 = Raster1 + const$. При этом моделируется одинаковый сброс воды во всех областях водохранилища, и результирующий растр не учитывает наличие особых областей в водохранилище. В особых областях уровень воды остается постоянным после снижения общего уровня воды водохранилища выше уровня образования острова.
- Определяются осушенные и покрытые водой зоны водохранилища путем реклассификации значений растра. Значениям растра вне зоны водохранилища присваивается значение 1, покрытым водой – 2, осушенным – 3.
- Реклассифицированный растровый слой конвертируется в векторный полигональный слой. Он содержит полигоны осушенных участков водохранилища и областей водохранилища, покрытых водой.
- В полигональном слое особых областей выделяются обнажившиеся территории (острова). Таблица слоя имеет отдельное поле, содержащее уровни образования островов. Для определения обнажившихся областей производится выборка по атрибуту полигонов особых областей, чьи значения меньше, либо равны заданному уровню сброса.

- Производится объединение полигонального слоя с выделенными обнажившимися слоями и полигонального слоя, содержащего осушенные участки водохранилища и области водохранилища, покрытые водой. Результирующий полигональный слой содержит атрибуты обоих слоев. В нем присутствуют все обнажившиеся острова, область водохранилища, покрытая водой, и осушенные области, возникшие после сброса воды на заданный уровень (рис. 4.6).

По вычисленным статистическим характеристикам и графикам функций распределения глубин производится анализ морфометрической структуры дна, также возможно сделать выводы о принадлежности морфометрической структуры дна одному из типов классификации.

Для оценки объема иловых загрязнений на территории Нижнезырянского водохранилища, с учетом понижения его уровня и проседания части водохранилища, разработан следующий алгоритм (методы построение Grid-темы указаны в подглаве 4.1 «Выбор метода построения цифровой модели рельефа дна водохранилища»):

- Построить Grid-тему «ЦМР дна 1955 г.» на основе данных о проектных глубинах Нижнезырянского водохранилища. Исходной информацией являются векторные данные, полученные путем векторизации растрового изображения методом цифрования по подложке. Растровое изображение было получено при сканировании карты «Экспликация земель, затопляемых и подтопляемых водохранилищем», разработчик – Ленинградское отделение «Теплоэлектропроект», январь 1955, М 1:5000 (рис. 4.7).
- Построить Grid-тему «ЦМ оседания дна» на основе данных о суммарных оседаниях в г. Березники. Исходной информацией являются векторные данные, полученные путем векторизации растрового изображения методом цифрования по подложке. Растровое изображение было получено при сканировании совмещенного плана «г. Березники и горные работы рудника БКПРУ-1 с изолиниями суммарных оседаний», М 1:10000.
- Построить Grid-тему «ЦМР дна 2007 г.» на основе данных полевых работ (июль-август 2007 г.). Исходной информацией

Рисунок 4.6.
Анализ морфометрической структуры дна водохранилища при сработке на 2 м.

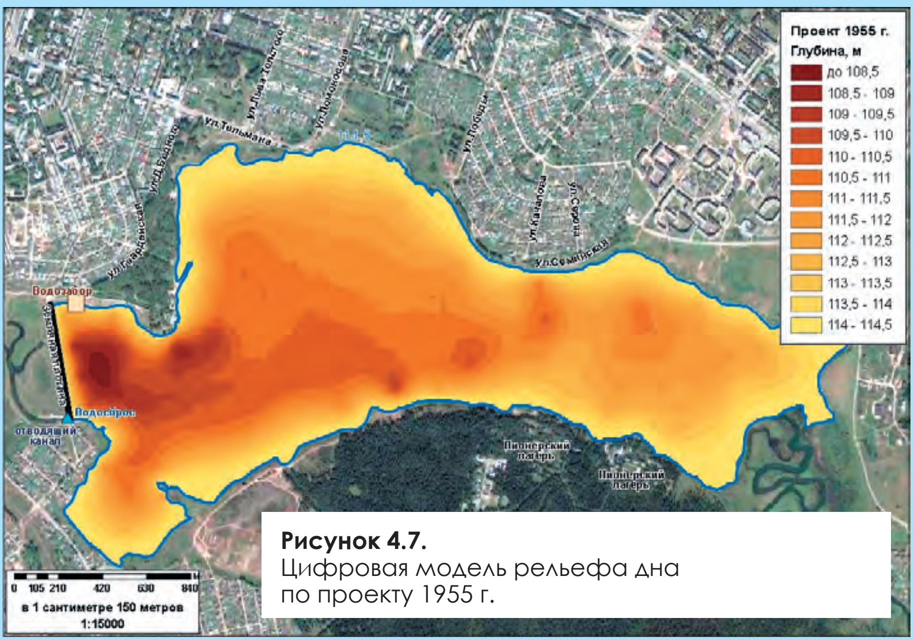


Рисунок 4.7.
Цифровая модель рельефа дна по проекту 1955 г.

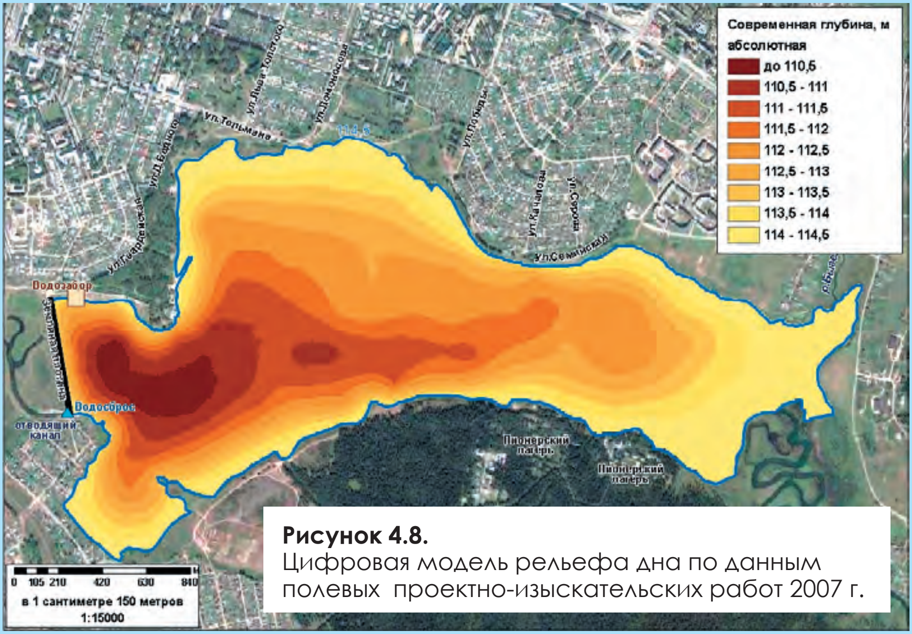


Рисунок 4.8.
Цифровая модель рельефа дна по данным полевых проектно-изыскательских работ 2007 г.

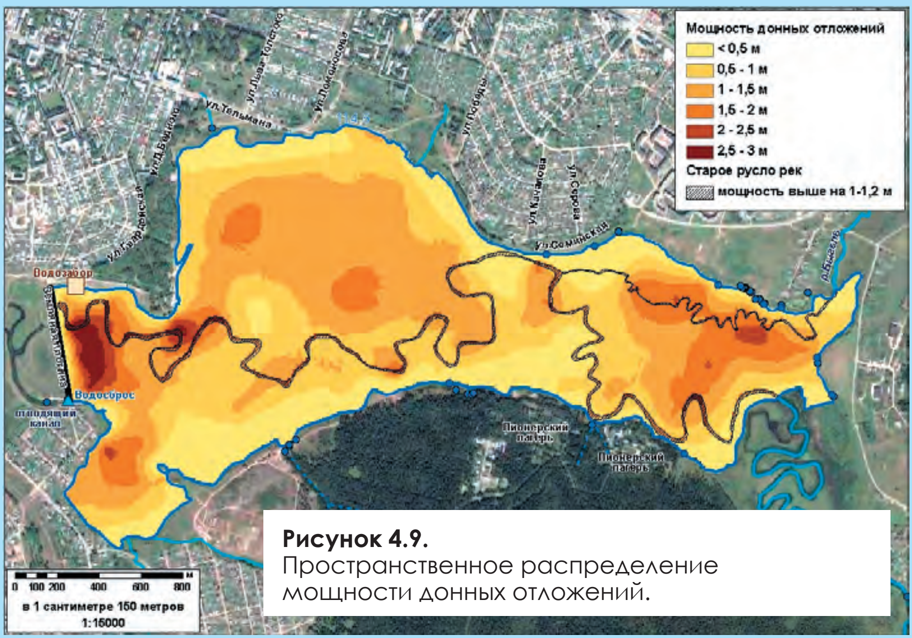


Рисунок 4.9.
Пространственное распределение мощности донных отложений.

являются точки промера глубин при отметке сброса водохранилища на момент проведения исследований. В дальнейшем все отметки глубин приведены к проектному уровню 114,5 м. (рис. 4.8).

- Найти разность трех Grid-тем: Grid.«ЦМР дна 1955 г.» – Grid.«ЦМ оседания дна» – Grid.«ЦМР дна 2007 г.». Результирующий растр несет в себе информацию о пространственном распределении толщины донных отложений с учетом оседания поверхности (рис. 4.9).
- Преобразовать Grid-тему – результат разности Grid.«ЦМР дна 1955 г.» – Grid.«ЦМ оседания дна» – в триангуляционную модель (TIN). Вычислить объем проектируемого водохранилища с учетом оседания поверхности дна, используя модуль 3D Analyst.
- Преобразовать Grid-тему «ЦМР дна 2007 г.» в TIN. Вычислить модельный объем водохранилища при его современном состоянии (отметке 114,5 м), используя модуль 3D Analyst.

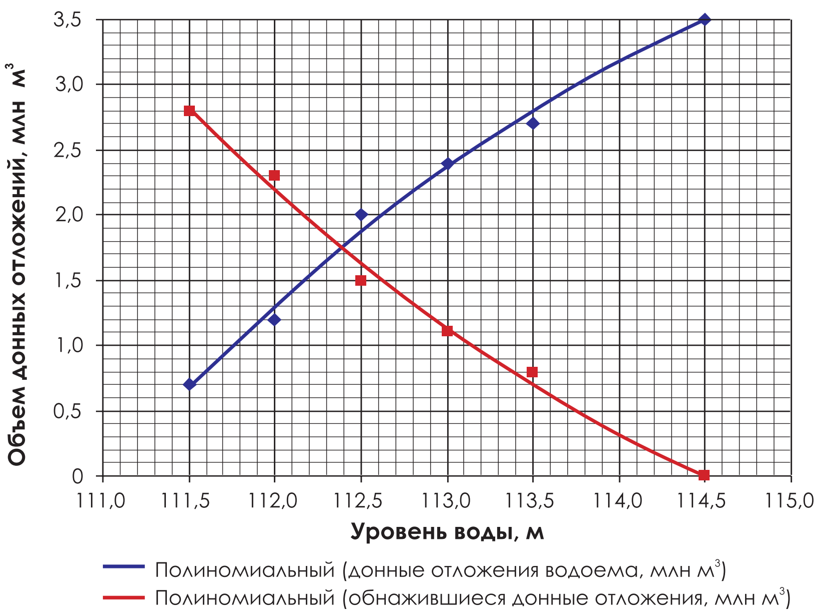


Рисунок 4.10.
Вычисление объемов обнажившихся донных отложений.

- Найти разность между двумя объемами водохранилища (1955 г. с учетом оседания и 2007 г.) при проектном уровне.
- Вычисление объемов обнажившихся донных отложений производится с учетом алгоритма «Геостатистическое моделирование процесса сработки водохранилища» (рис. 4.10).

Для определения средних мощностей донных отложений на различных участках построены и совмещены профили дна водохранилища по старым проектным глубинам с учетом оседания поверхности и по современным глубинам (рис. 3.5). Помимо оседания поверхности дна, при вычислении объема отложений учитывалось и старое русло реки (Шавнина и др., 2007).

4.3. Моделирование волны прорыва в нижнем бьефе Нижнезырянского водохранилища

Рассмотрен сценарий развития гидродинамической аварии разрушения плотины ГТС в результате сейсмических воздействий или воздействий в виде масштабного взрыва. Расчеты волны прорыва выполнены по программе «Волна» версия 2.0, разработанной ВИА им. Куйбышева, ЦНИЭКС, ВНИИ ГОЧС и предназначенной для прогнозирования масштабов затопления местности и характеристик волны прорыва при разрушении гидроузлов. Параметры волны прорыва определены для условий мгновенного образования прорана в теле грунтовой плотины (мгновенного полного разрушения плотины) водохранилища для двух сценариев развития событий.

В нижнем бьефе водохранилища местность разбита на семь створов, в которых определены необходимые параметры для расчета волны прорыва, важнейшими из которых являются удаление от створа плотины, отметки горизонталей местности и расстояния между ними.

Согласно сценарию развития гидродинамической аварии, поражающим фактором является разрушающая сила водного потока, определяемая его глубиной, шириной фронта движения воды со скоростью продвижения потока, обрушивающегося на территорию, расположенную в нижнем бьефе водохранилища (жилые дома и хозяйственные постройки, объекты промышленности и инфраструктуры). Последствия такой аварии: разрушение силой потока зданий и сооружений, техники и оборудования, за-

Таблица 4.3.
Расчетные данные результатов моделирования при НПУ 111,5 м.

Параметры	Единицы измерения	Значения
Площадь затопления	км^2	3,436
Q прорыва	тыс. м^3/сек	0,080
В том числе: по правому берегу по левому берегу	 м^2 м^2	 2,1354 1,2198
Размер сетки	м	10
Число шагов итерации		26
Точность оценки объемов	тыс. м^3	0,050

топление жилых домов и хозяйственных построек, находящихся в зоне воздействия потока.

Построение зон затопления и осушения водохранилища в результате сработки осуществлялось с использованием программы ArcView GIS 3.2a (рис. 4.11–4.15). В таблице 4.3 приведены расчетные данные результатов моделирования при НПУ 111,5 м; в таблице 4.4 – морфометрические характеристики Нижнезырянского водохранилища при разных отметках сработки водохранилища.

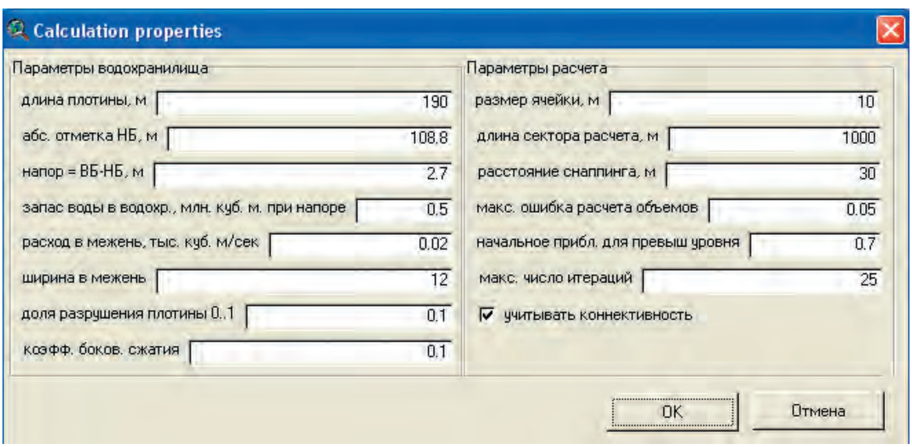


Рисунок 4.11.
Исходные данные.

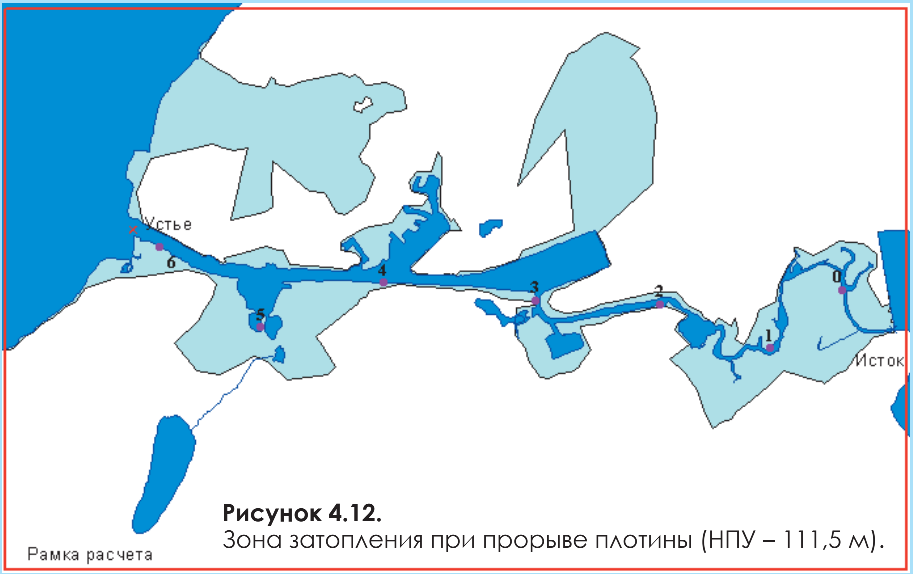


Рисунок 4.12.
Зона затопления при прорыве плотины (НПУ – 111,5 м).

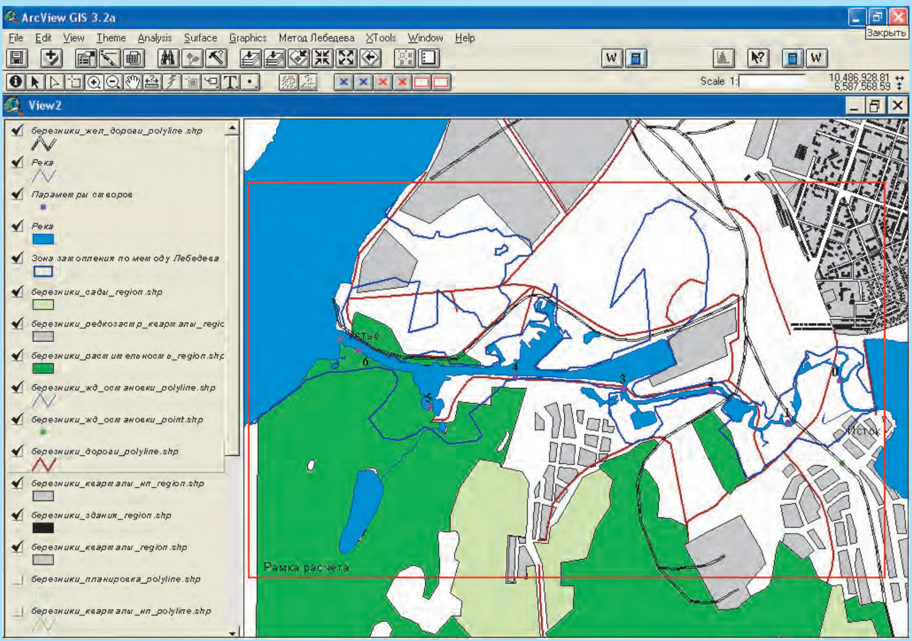


Рисунок 4.13.
Зона затопления при прорыве плотины (НПУ – 111,5 м) (городская инфраструктура).

Рисунок 4.14.
Зона затопления при прорыве плотины в нижнем бьефе Нижнезырянского водохранилища при разных отметках уреза воды (расчетные данные): а) – 112,5 м; б) – 113,5 м; в) – 114,5; г) – 115,5 м.


в)
Устье
108.76
109.59
109.73
110.25
110.33
111.19
113.16


г)
Устье
109.53
109.65
110.34
110.58
110.68

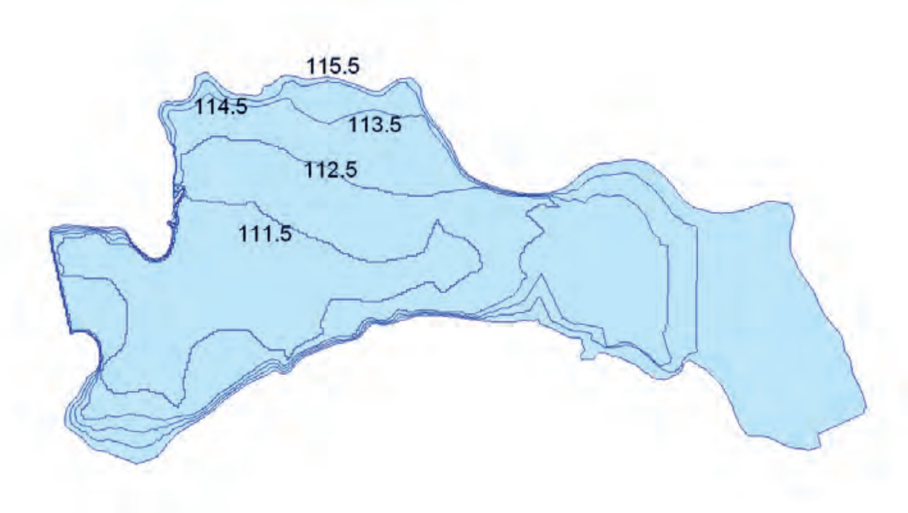


Рисунок 4.15.
Изменение формы Нижнезырянского водохранилища при разных отметках уреза воды.

Таблица 4.4.
Морфометрические характеристики Нижнезырянского водохранилища при разных отметках (расчетные данные).

Уровень, м	Площадь, км^2	Объем воды, млн м^3
115,5	4,17	10,6
114,5	3,23	6,78
113,5	2,83	3,79
112,5	1,93	1,38
111,5	0,90	0,5

Глава 5

Прогноз и оценка последствий при снижении уровня водохранилища: экологические аспекты

5.1. Экологические последствия

Экологическое воздействие строительства плотин на речные экосистемы изучено достаточно хорошо (Авакян, 1998; Савкин, 2000; Водохранилища и их воздействие…, 1986 и др.). Исследований экологических последствий, связанных со спуском искусственных водоемов, значительно меньше.

Периодический плановый спуск с последующим наполнением практикуется на рыбохозяйственных прудах в рамках мероприятий по улучшению качества водной среды. Осушение пруда (летование) производится, как правило, на один год через каждые 4 года с целью улучшения естественной кормовой базы путем вспашки и посева сельскохозяйственных культур. Спуск пруда производится также с целью его очистки от избыточного количества ила, способствующего развитию в водоеме неблагоприятных для рыбного хозяйства процессов (Ветеринарно-санитарные правила…, 1967).

Что касается других типов искусственных водоемов, то периодическое осушение части дна в них происходит в результате сработки уровня водохранилищ. Наиболее ярко это выражено в зоне переменного подпора одиночных водохранилищ и головных водохранилищ каскада, типичным примером которых является Камское водохранилище (рис. 5.1). Поскольку происходящее в зоне переменного подпора водохранилища обнажение части дна является сравнительно кратковременным и происходит в холодный период года, то заметных экологических последствий при этом не наблюдается.

Внеплановый спуск водохранилищ производится, как правило, в случае истечения срока эксплуатации плотины, как следствие ее износа и нахождения в аварийном состоянии. Решение в пользу осушения водоема подкрепляется тем, что финансовые средства, необходимые для ремонта плотины и ее содержания, зачастую намного превышают стоимость спуска водоема и демонтажа плотины.

Наиболее полно проблема спуска водохранилищ и его экологических последствий изучена в США, чему посвящен ряд публикаций (Elizabeth H.W. Riggs, 2003; Прощай, плотина, 2004; Dam Removal Research. Status…, 2002; Dam Removal. Science and…, 2002; Edward M. Quinn, 1999; The Ecology of Dam Removal…, 2001). Среди отечественных исследований в этой области выделяются работы Российского

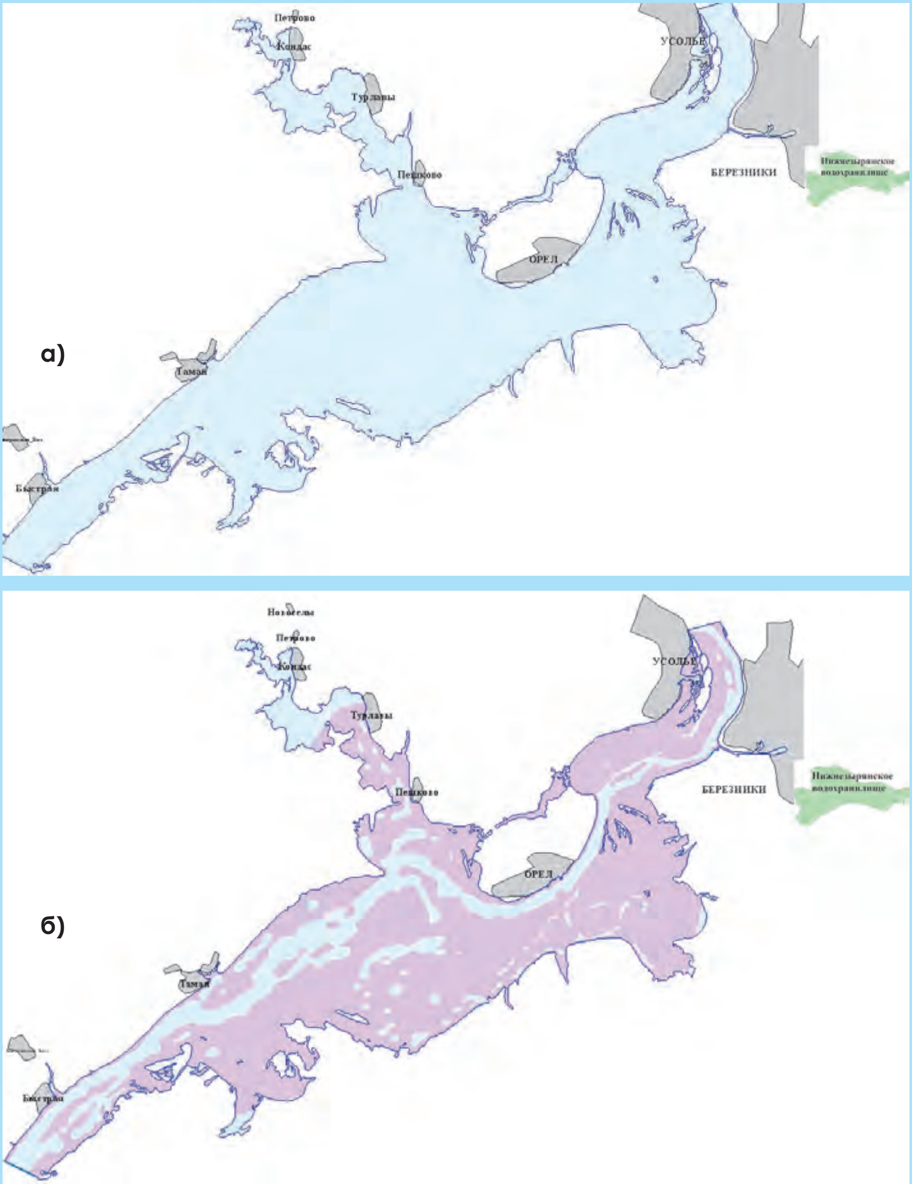


Рисунок 5.1.
Верховье Камского водохранилища в районе г. Березники:
а) при нормальном подпорном горизонте;
б) при горизонте сработки.
Розовый цвет показывает временно осушенные территории.

научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ) (Попов и др., 2004).

С экологических позиций наибольшее внимание при изучении последствий спуска водохранилищ уделяется осушенным донным отложениям, накопившимся за время эксплуатации водоема. При решении данной проблемы ключевое значение имеет состав донных отложений. Формирование последнего происходит под воздействием как естественных, так и техногенных факторов.

Донные отложения, сформировавшиеся под воздействием естественных факторов, состоят, как правило, из частиц песчано-глинистых фракций и органических веществ. Водохранилища, расположенные в промышленно развитых районах, подвержены воздействию сточных вод различных видов, преобладающими среди которых являются городские, ливневые, промышленные, сельскохозяйственные. Загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, гербициды и другие, нередко присутствуют в водах в растворенном состоянии. Попадая в водохранилища, они могут выпадать из раствора в осадок, адсорбироваться на тонкодисперсных взвешенных частицах и осаждаться вместе с ними. Этим обусловливается многократное превышение концентрации поллютантов в донных отложениях над их содержанием в водной толще.

При спуске водохранилища происходит неизбежное понижение базиса эрозии его основного и боковых притоков, что приводит к размыву толщ донных отложений, накопившихся за время его эксплуатации.

Смыв верхнего полужидкого слоя донных отложений обычно начинается непосредственно в начале понижения уровня водохранилища при возникновении линейной скорости по направлению к более глубоким частям акватории и нижнего бьефа. Важную роль в этом потоке играет взмучивание под действием ветрового волнения на малых глубинах и особенно вблизи уреза воды. Донные отложения верхнего, наиболее подвижного, слоя в конечном итоге транспортируются в нижний бьеф. Их количество определяется физическими свойствами осадков (механический состав, связность и др.), морфометрией водохранилища, в особенности длиной разгона волны, розой и скоростью преобладающих ветров. Перенос этих донных отложений в водотоке происходит во взвешенном состоянии, с последующей аккумуляцией в соответствии с гидравлической крупностью на участках со скоростями течения меньше придонной скорости от взмучивания при ветровом разгоне волны в спускаемом водохранилище (Общие технические требования…, 2004).

Более глубокие и плотные слои донных отложений, неподверженные размывающему воздействию ветрового волнения, подвергаются эрозии под действием основного и боковых притоков, а также плоскостного и ручейкового стоков. Масштабы ремобилизации и смыва этой части донных отложений во многом определяются объемом и механическим составом осадков, накопившихся за время существования водохранилища, а также условиями (стратегией) осушения водоема. Для искусственных водоемов малого размера характерен размыв и вынос большей части донных отложений; в сравнительно больших водохранилищах, ширина которых намного превышает ширину реки в незарегулированном состоянии, значительное количество донных отложений после спуска, как правило, остается на месте. При этом эрозии подвергается, главным образом, только часть донных отложений, лежащая в пределах новообразованных русла и поймы.

Размываемые различными путями донные отложения сносятся в нижний бьеф и аккумулируются в соответствии с гидравлической крупностью на участках реки, либо в искусственном водоеме, расположенном ниже по течению.

Морфологические изменения, происходящие при этом в русле реки в нижнем бьефе в результате повышенного стока наносов, зависят от величины, частоты, длительности поступления взвешенного вещества вследствие размыва донных отложений водохранилища. Также важными факторами являются гранулометрический состав наносов и характеристики русла. Если количество поступающих наносов превосходит транспортирующую способность руслового потока, происходит частичная или полная аккумуляция материала. В случае частичной аккумуляции, осаждение происходит на участках с пониженной гидродинамической активностью, таких как речные плесы. Значительная аккумуляция наносов в русле реки может привести к изменениям характера русловых процессов, в том числе способствовать развитию процессов разветвления русла (Sara L. Rathburn, Ellen E. Wohl, 2002).

Кроме этого, поступление избыточного количества наносов в русло оказывает существенное влияние на аквальные и прибрежные экосистемы, существенно нарушая среду местообитания гидробионтов, в первую очередь путем изменения характера донного субстрата. В частности, изменение механического состава донных отложений реки приводит к нарушениям среды местообитания гидрофауны. Например, для нереста многих видов лососевых рыб необходимо наличие донных отложений грубого механического состава. Заиление грубодисперсных аллювиальных отложений вновь принесенным мелкозернистым материалом может превратить донные грунты на таком участке непригодными для нереста.

Другим неблагоприятным последствием размыва донных отложений для гидробионтов является ухудшение качества воды ниже по течению в результате повышения мутности. Появление избыточного количества взвешенных веществ в воде может привести к гибели рыб, засоряя их жабры и вызывая удушье (Edward M. Quinn, 1999).

Типичный комплекс экологических последствий механического смыва донных отложений наблюдался на водохранилище Халлигэн (штат Колорадо, США). В конце сентября 1996 г. из водохранилища в реку Норт Форк Каше ла Поудрэ было сброшено около 7 тыс. м^3 донных отложений, литологический состав которых варьировался от глины до гравия. Сброс произошел в конце весеннего половодья, тогда как водохранилище было спущено в течение зимы. Во время сброса расход наносов составлял 4 м^3 в секунду, но сразу же после сброса этот показатель упал до 0,06 м^3 в секунду. В результате донные отложения водохранилища аккумулировались в русле реки на более чем 8 км вниз по течению, и погибло более 4000 рыб. Наносы аккумулировались преимущественно на плесовых участках пропорционально расстоянию от плотины вниз по течению. На расстоянии 0,5 км плесы глубиной до 3,5 м были полностью занесены; на расстоянии 3,2 км вниз по течению плесы были занесены наполовину. С удалением от плотины донные осадки становились более тонкодисперсными. Осадки также образовали тонкий, но протяженный слой на перекатах и проникли на 6 см вглубь грубодисперсных аллювиальных отложений. Результирующим влиянием аккумуляции наносов стало снижение контрастности рельефа речного дна, что способствовало изменению естественного режима транспортировки и аккумуляции наносов (Sara L. Rathburn, Ellen E. Wohl, 2002).

Размыв донных отложений в процессе спуска водохранилища сопровождается также поступлением содержащихся в них загрязняющих веществ в водную толщу, что может вызвать ухудшение качества воды в нижнем течении с соответствующими неблагоприятными последствиями для гидробионтов и водопользователей. Наибольшей интенсивности оно может достигать в период оголения донных отложений или промывки их атмосферными осадками, а также в половодье, поскольку в это время донные отложения будут «отдавать» поровые воды, концентрация поллютантов в которых может быть достаточно велика, что явно скажется на благополучии речной экосистемы. Фактически можно ожидать эффекта аварийного сброса загрязняющих веществ (Общие технические требования…, 2004).

Одним из примеров недоучета количественных и качественных характеристик подверженных размыву донных отложений водохранилища при его спуске, является осушение водохранилища, образованного плотиной Форт Эдвард на реке Гудзон в Нью-Йорке (США). Вскоре после спуска водохранилища и демонтажа плотины в 1973 г. возникли непредвиденные проблемы с качеством воды и судоходством, некоторые из них существуют и по сей день. В частности, химический состав донных отложений водохранилища не был достаточно проанализирован на наличие полихлорированных бифенилов, источником которых являлся химический завод, располагавшийся выше по течению. Внезапная ремобилизация поллютантов оказалась катастрофической для речной экосистемы, что повлекло за собой запрет на рыбную ловлю в реке Гудзон в 1976 г. Кроме того, наносы были смыты вниз по течению и заблокировали большую часть судоходного канала реки, пристань и т. д. В результате пропускная способность канала уменьшилась, подвергнув риску наводнения город Форт Эдвард (Dam Removal. Science and…, 2002).

Другая часть донных отложений, расположенная выше вновь образованных русла и поймы и не подверженная воздействию водно-эрозионных процессов, при определенных условиях может подвергаться дефляции. При наличии в обнажившемся в результате осушения водоема грунте загрязняющих веществ, донные отложения могут превратиться в источник ядовитых паров.

Например, осушение Зеркального пруда в Саратовской области, произошедшее в августе 2006 г. в результате несанкционированного спиливания задвижки водосливной трубы, обернулось экологической катастрофой. Несколько десятилетий назад крупное промышленное предприятие сбрасывало в данный пруд сточные воды с загрязняющими веществами, которые захоронялись в донных отложениях. После их осушения токсиканты начали испаряться. По оценкам экспертов, предельно допустимая норма фенола была превышена в 200 раз, сероводорода – в 75. По словам местных жителей, больше 20 минут на открытом воздухе выдержать было невозможно из-за возникающих слабости и головокружения (Угроза экологического бедствия…, 2006).

Помимо экологических последствий спуска водохранилищ, связанных с количественными и качественными характеристиками донных отложений, в научной литературе описаны также последствия, связанные с рядом других факторов. Один из них связан со значительными изменениями гидрологического режима в результате спуска водохранилища, которые способствуют смене гидробионтов, типичных для водоемов с замедленным стоком, гидробионтами, характерными для речных условий. Так, в результате ихтиологических исследований, проведенных на реке Барабу (штат Висконсин, США), была зафиксирована быстрая смена сообществ рыб в результате восстановления естественного течения реки. В течение 18 месяцев, прошедших после спуска водохранилища, количество видов рыб на месте бывшего водоема увеличилось с 11 до 24. При этом число представителей большеротого окуня, который очень требователен к качеству воды, увеличилось с 3 до 87 (Dam Removal. Science and…, 2002).

В некоторых случаях плотины являются полезным барьером между популяциями рыб выше и ниже плотины. Например, если популяция рыб ниже плотины заражена токсичными веществами, плотина может препятствовать их миграции вверх по течению. В этом случае спуск водохранилища и демонтаж плотины могут привести к заражению популяции рыб, обитающих выше плотины. Если плотина играет роль барьера, препятствующего вторжению чужеродных видов на участки рек как выше, так и ниже плотины, то спуск водохранилища и демонтаж плотины сделают этот процесс возможным (The Ecology of Dam Removal…, 2001).

Повышенные глубины и замедленный водообмен на водохранилище, по сравнению с водотоком в естественном состоянии, обусловливают различия в ряде физико-химических параметров воды (количество растворенного кислорода, температура, концентрация биогенных элементов и др.). Спуск водохранилищ приводит к изменениям ряда физико-химических свойств воды на месте бывшего водоема и на участках рек ниже по течению, сглаживая данные различия. Чем значительнее были данные различия во время эксплуатации водохранилища, тем больше диапазон изменений, происходящих после его осушения (David D. Hart etc., 2002).

Таким образом, основные экологические последствия при спуске водохранилищ связаны с ухудшением качества воды за счет повышенной мутности и выноса загрязняющих веществ из донных отложений в водную толщу, нарушением среды местообитания водных организмов, изменением характера русловых процессов в результате переотложения наносов, а также с рядом гидробиологических и гидрохимических изменений, обусловленных сменой зарегулированного стока на речной режим.

5. 2. Прогноз изменения экологической ситуации при снижении уровня Нижнезырянского водохранилища

5.2.1. Донные отложения

Перераспределение отложений по площади

Оценка возможных изменений экологических параметров водохранилища выполнена Е. А. Ворончихиной с учетом прогноза естественного развития природных процессов после снижения объема вод. Учитывая типологическую принадлежность объекта и его размещение в границах региона с высоким естественным эрозионным потенциалом, можно ожидать, что на первом этапе ведущую роль будет играть перераспределение донных отложений, оставшихся выше уровня воды.

Активные каналы стока в зоне осушения представлены временными и постоянными водотоками, в том числе на участках разгрузки подземных вод, имеющих значительные дебиты. Участки интенсивного линейного размыва донных отложений показаны на рисунке 3.7. Характер размыва донных отложений показан на рисунках 3.27 и 3.28.

Наибольшего поступления наносов в результате линейного размыва донных отложений следует ожидать в результате эрозионной деятельности рек Зырянка и Быгель. Перемещение границы выклинивания подпора в результате частичного спуска водохранилища и смена условий зарегулированного стока на условия реки, в свободном течении приведет к интенсивному размыву толщ накопленных донных отложений и формированию на осушившемся участке дна новых пойменно-русловых форм рельефа, соответствующих новым гидродинамическим условиям.

Помимо линейной эрозии часть донных отложений водохранилища, находящаяся в пределах зоны осушения, будет размываться под действием плоскостного стока, а в приурезовой зоне – ветрового волнения.

В связи с понижением базиса эрозии по сравнению с современным на 2,0 м, прогнозируемый врез составит значительную величину. Количественные характеристики вреза будут определяться погодными условиями теплого времени года, количеством дождевых осадков, объемом снегозапасов и их перераспределением в границах площади, обусловленным ветровым режимом, а также дебитами родников. Наибольшая активность водно-эрозионных процессов ожидается в период активного снеготаяния и протаивания грунтов: апрель-май. В теплый период года интенсивность проявления стокообусловленных процессов варьирует пропорционально количеству осадков. По средним многолетним характеристикам максимальная стоковая нагрузка приходится на июль-август.

В пространственном отношении наиболее интенсивный размыв донных отложений будет происходить в верховье водохранилища. Это обусловлено впадением сюда главных его притоков и наличием большого количества родников.

Общая направленность потоков вещества определяется уклоном поверхности в направлении к приплотинной части водохранилища. Наличие техногенного механического барьера в виде плотины на пути повышенного транзита наносов будет способствовать их аккумуляции в оставшейся части чаши водохранилища независимо от гидравлической крупности взвешенного материала. Перемещение размытых донных отложений в оставшуюся часть водохранилища будет способствовать его ускоренному занесению и, как следствие, уменьшению емкости водохранилища, а также увеличению площади мелководий, которая при НПУ 112,5 м и без того составляет 93% площади водохранилища. Размыв и перенос донных отложений отрицательно скажется и на качестве воды.

Высыхание донных отложений и воздействие на прилегающие экосистемы в связи с пылением

Одновременно с эрозионным размывом на участке осушения неизбежно развитие дефляционных процессов, чему будет способствовать высыхание обнажающегося слоя донных отложений. Максимальный уровень пыления ожидается на втором этапе развития последствий сброса вод – обнажения поверхности отложений при отсутствии фитопродуцирования, то есть в период, когда их поверхность просохнет до состояния пыления, но еще не будет покрыта растительностью. В обезвоженном, просохшем состоянии донные отложения будут являться источниками развеваемой пыли, загрязняющей водоохранную зону водохранилища и прилегающую урбанизированную территорию.

Первичный анализ гранулометрического состава донных отложений позволяет оценить пылевой потенциал осушаемой акватории. По расчетам Е. А. Вороночихиной, с учетом того, что пылевая фракция в составе отложений колеблется от 7 до 24% (табл. 3.9), эродируемая мощность слоя составляет 0,01 м, потенциальный объем пыли в максимальном варианте на 1 га площади осушения составит 240 т, а на всю площадь осушения – более 40 тыс. т.

Учитывая состав пылевых масс, насыщенность их загрязняющими ингредиентами, в том числе тяжелыми металлами 1 класса экологической опасности (Zn, Pb, Cd), можно прогнозировать увеличение общей атмохимической нагрузки на прилегающие к акватории водохранилища экосистемы. Объем выноса и перераспределения перечисленных ингредиентов составит от 3 до 72 кг в пересчете на 1 га площади, что соответствует нормативной оценке «умеренно опасное загрязнение» (Санитарно-эпидемиологические…, 2003).

С учетом сложившейся розы ветров (преобладают южные – 31%, юго-восточные – 14%, юго-западные – 12%), их скорости и повторяемости наиболее вероятностным ареалом атмохимического загрязнения может рассматриваться северное побережье водохранилища, где расположен г. Березники. Экологическая опасность атмохимической загрязняющей нагрузки значительно увеличивается современным санитарно-бактериологическим состоянием донных отложений в зоне северного побережья: в 45% проб донных отложений водохранилища здесь выявлено присутствие микроорганизмов из группы кишечной палочки, общее санитарно-бактериологическое состояние отложений неудовлетворительное.

Наибольшую экологическую опасность обнажающиеся донные отложения будут представлять до их зарастания, то есть до формирования устойчивых сомкнутых растительных ассоциаций, препятствующих развитию дефляционных процессов.

Оценка возможности зарастания ложа водохранилища и изменений в наземных экосистемах

Процесс зарастания обнажающейся донной поверхности протекает с различной степенью интенсивности в зависимости от эдафического состояния грунтов, их пригодности для роста и развития зональных видов растительности. Натурное обследование, выполненное Е. А. Ворончихиной, показало, что в прибрежной зоне осушения, шириной до 20 м, под влиянием обезвоживания донных отложений начинается активное развитие болотного процесса, предопределяющего состав формирующейся растительности с преобладанием гигрофитов – *Typha orientalis, Carex pilosa, Juncus filiformis, Eguisetum palustre, Cirsium palustre* и др.

Информация о развитии ситуации на объектах аналогах (Парабучев, 2000 и др.) позволяет прогнозировать развитие болотных ценозов в направлении формирования закустаренных гигрофильных лугов из *Agropyrum repens, Festuca pratensis, Galamagrostis epigeios, Carex pilosa, Eguisetum palustre* и других, с постепенным заселением древесными видами – *Salix sp., Betula platyphylla*. Данные растительные ассоциации устойчивы в эдафическом плане, хорошо переносят загрязнение, низкий уровень трофности, характерный для обнажающихся донных отложений, однако они обеднены в видовом отношении, имеют низкий уровень фитопродуктивности, низкие водоохранно-защитные свойства и растянутость во времени прохождения первой стадии сукцессионного развития на 30–40 лет. Это позволяет оценить формирующиеся наземные экосистемы как недостаточно эффективные для стабилизации экологической обстановки в охранной зоне водохранилища, требующие коренной реконструкции, направленной на повышение фитопродукционных и водоохранно-защитных свойств.

5.2.2. Поверхностные воды

Морфометрические характеристики

Снижение уровня воды в Нижнезырянском водохранилище до проектной отметки будет неизбежно сопровождаться изменением его морфометрических характеристик. Снижение НПУ до проектной отметки 112,5 м приведет к уменьшению размеров водоема и новому очертанию береговой линии. Количественное выражение изменения основных морфометрических показателей отражено в таблице 5.1.

Размеры и форма водохранилища изменятся в первую очередь за счет уменьшения объема воды, площади зеркала, глубины и ширины. Уменьшение перечисленных показателей произойдет преимущественно за счет освобождения от воды хвостовой части водохранилища и гипсометрически низких участков на правом берегу (бывшее Косачевское болото и прилегающие территории). После предполагаемого спуска воды водоем приобретет более вытянутую форму, что находит свое отражение в увеличении удлиненности.

Площадь зеркала и объем водоема являются одними из наиболее важных морфометрических характеристик. На рисунке 5.2 представлен график зависимости данных показателей от уровня воды в водоеме и рассчитанный для современных условий (накопленные донные отложения, выработанная береговая линия и проч.).

Таблица 5.1.
Характеристика основных морфометрических характеристик Нижнезырянского водохранилища при НПУ до предполагаемого спуска воды и после.

Морфометрические характеристики водохранилища	Уровни НПУ		Коэффициент $\frac{\text{НПУ 114,5}}{\text{НПУ 112,5}}$
	114,5 м*	112,5 м**	
Длина, м	3850	3240	1,19
Ширина средняя, м	948	531	1,69
Ширина максимальная, м	1455	990	1,47
Длина береговой линии для правого берега, м	6793	4051	1,67
Длина береговой линии для левого берега, м	5454	3800	1,43
Площадь зеркала, км^2	3,65	1,72	2,02
Удлиненность	4,1	6,1	0,70
Глубина средняя, м	1,9	1,05	1,9
Глубина максимальная, м	5,6	3,6	1,56
Полный объем, млн м^3	6,9	1,8	3,83

Примечания:
* НПУ, регламентированный документом (Акт обследования гидротехнических…, 2007).
** НПУ, проектируемый после снижения уровня вод.

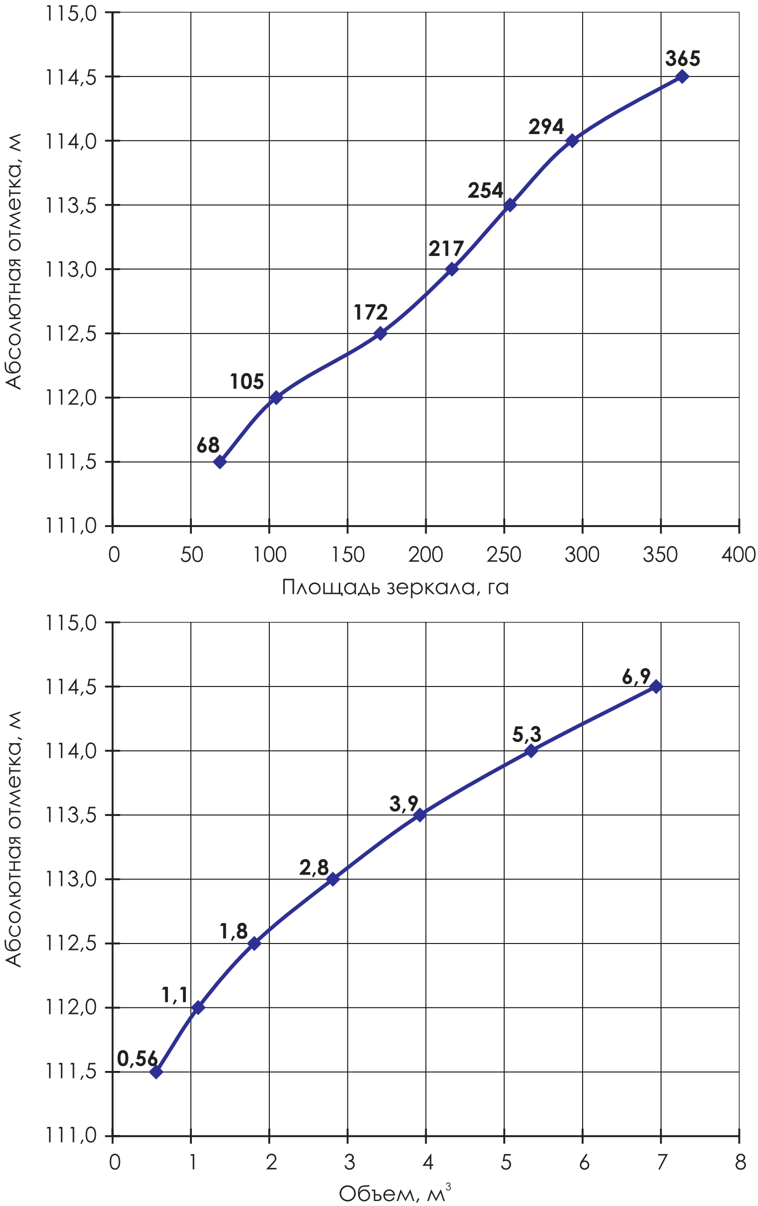


Рисунок 5.2.
Зависимость площади зеркала и объема водоема от уровня воды.

Вследствие снижения уровня воды в Нижнезырянском водохранилище ожидается увеличение площади мелководных зон (глубина менее 2 м). Расчетные данные показывают, что площадь мелководий до снижения воды равнялась 1,9 км^2, что составляло 52% от площади зеркала. Ожидается, что после снижения уровня воды площадь мелководий водохранилища составит 1,6 км^2, что составит 93% от площади зеркала. На рисунке 5.3 представлен характер распределения мелководных зон до и после предполагаемого снижения уровня воды. Рисунок 5.4 характеризует зависимость площади мелководных зон (в процентном отношении к площади зеркала) от уровня воды в водохранилище. Таким образом, после снижения уровня вод Нижнезырянское водохранилище станет весьма мелководным водоемом. Возможно, потребуется удаление части донных отложений для сокращения площади мелководных зон. Следует отметить, что после снижения уровня начнется интенсивный снос осушенных донных отложений в оставшуюся часть водохранилища, что приведет к его обмелению и расширению мелководной зоны.

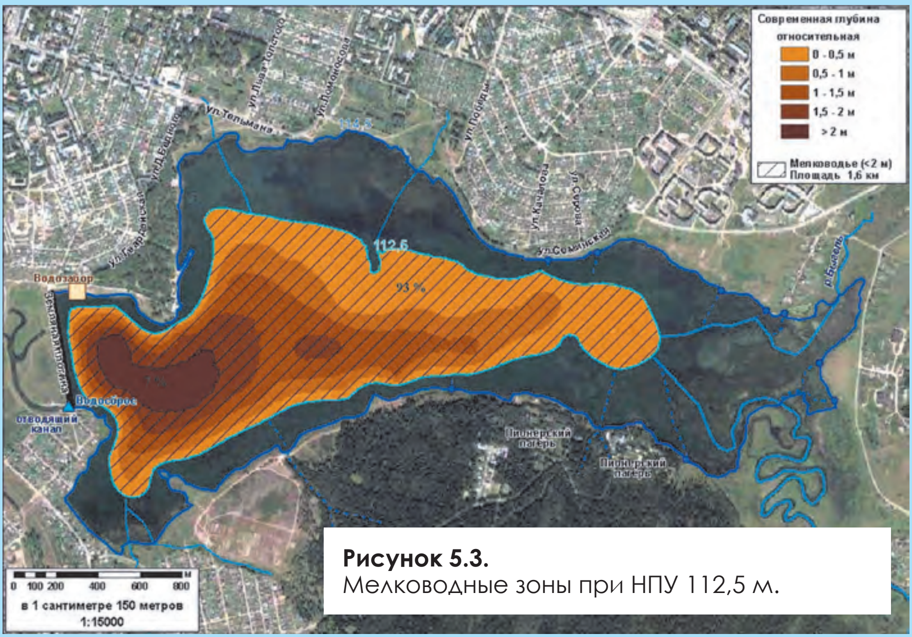


Рисунок 5.3.
Мелководные зоны при НПУ 112,5 м.

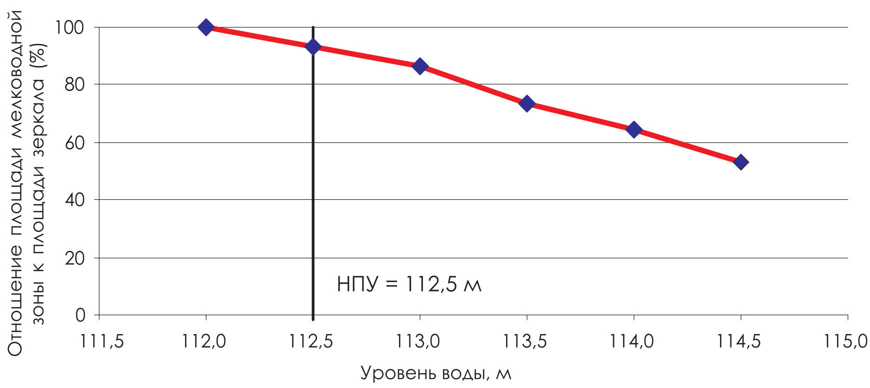


Рисунок 5.4.
График зависимости площади мелководий от уровня вод.

Гидрологические характеристики

Основными рассматриваемыми гидрологическими характеристиками водохранилищ являются расход воды, скорости течения, термический и ледовый режимы, мутность воды, водообмен вод. Анализ гидрологических процессов, происходящих в водоеме, имеющихся гидрологических характеристик Нижнезырянского водохранилища и изучение аналогичных ситуаций (снижение уровня воды и спуск водохранилищ) на других водных объектах позволяют сделать некоторые выводы.

Изменение морфометрических показателей (уменьшение объема, площади зеркала) приведет к незначительному увеличению температур в теплое время года за счет улучшения условий прогревания.

В ледовом режиме водохранилищ выделяются 3 фазы: замерзание, ледостав, вскрытие. После спуска водохранилища, вследствие уменьшения объема водных масс, площади зеркала, ширины водоема возникнут условия для незначительного смещения сроков как замерзания, так и вскрытия – они будут наступать раньше. Возможно, что толщина льда в период ледостава увеличится.

Скорости движения водных масс при осуществлении поэтапного спуска воды увеличатся. После достижения проектного НПУ, на отметке 112,5 м произойдет их стабилизация. Учитывая, что уменьшится площадь зеркала водоема, и новые условия движения водных масс станут более близки к речным, чем ранее, скорость течения немного возрастет.

Мутность воды резко возрастет в период снижения уровня водохранилища и в первое время по его завершении. Особенно заметно взмучивание будет наблюдаться вдоль береговой линии. Повышение мутности связано с поступлением в водохранилище твердых частиц вследствие активизации экзогенных процессов: выработки новой береговой линии, проложения новых русел притоками, временными водотоками (стекание дождевых и талых вод), формирования новых тальвегов оврагов. Продукты разрушающей деятельности воды неизбежно будут поступать в водохранилище, увеличивая мутность воды. По достижении местной гидросетью нового базиса эрозии, мутность воды уменьшится.

Коэффициент водообмена для Нижнезырянского водохранилища рассчитывался по формуле, предложенной Дубровиным Л. И. (1958 г.):

$$Д = \frac{W_{гэс}}{V},$$

где Д – коэффициент водообмена, $W_{гэс}$ – сброс через гидроузел, V – объем водохранилища.

Характер изменения коэффициента водообмена Нижнезырянского водохранилища в течение года до предполагаемого снижения уровня вод показывает таблица 5.2. Расчет коэффициента произведен на основе данных, приведенных в таблице 2.1.

Из таблицы 5.2 следует, что максимальный коэффициент водообмена наблюдается в половодье: в июне при наивысшем уровне вод 115,0 м он составит 2,38. Минимальные значения коэффициента водообмена характерны для меженного периода: в марте при самом низком уровне 112,8 м он равен 0,27. Расчет прогнозных коэффициентов водообмена рассматриваемого водоема, то есть после предполагаемого снижения уровня воды, произведен для этих же периодов:

$Д_1$ – для половодья, характеризующегося наивысшими уровнями воды в году – 112,5 м (июнь);

$Д_2$ – для зимней межени, когда устанавливаются самые минимальные уровни воды в водоеме – 111,5 м (март).

Для расчета прогнозного коэффициента водообмена использованы данные таблицы 2.1 (объемы сброса через гидроузел) и расчетные данные, приведенные в табл. 3.10.

$$Д_1 = \frac{W_{гэс1}}{V_1} = \frac{24{,}3}{1{,}8} = 13{,}5$$

$$Д_2 = \frac{W_{гэс2}}{V_2} = \frac{0{,}8}{0{,}56} = 1{,}4$$

где $W_{гэс1}$ – сброс через гидроузел в период половодья, $W_{гэс2}$ – сброс через гидроузел в период межени, V_1 – объем водохранилища при проектируемом НПУ 112,5 м, V_2 – объем водохранилища при УМО 111,5 м.

Сопоставление полученных коэффициентов водообмена в характерные периоды года до предполагаемого снижения уровня вод и после показало, что данный показатель после снижения уровня возрастет. Следовательно, условия для перемешивания и

Таблица 5.2.
Коэффициент водообмена Нижнезырянского водохранилища при НПУ 115,0 (до снижения уровня вод) на 1990 г.

Месяц	Уровень вод на конец месяца, м	Сброс вод через гидроузел, млн $м^3$	Объем воды в водоеме на конец месяца, млн $м^3$	Коэффициент водообмена (Д)
апрель	114,0	0,8	6,3	0,12
май	115,0	14,2	10,2	1,39
июнь	115,0	24,3	10,2	2,38
июль	115,0	1,3	10,2	0,12
август	114,7	0,8	8,9	0,09
сентябрь	114,4	0,8	7,5	0,10
октябрь	114,3	0,8	7,4	0,10
ноябрь	114,2	0,8	7,0	0,11
декабрь	114,0	0,8	6,3	0,12
январь	113,7	0,8	5,3	0,15
февраль	113,3	0,8	4,2	0,19
март	112,8	0,8	2,9	0,27

транзита загрязняющих веществ, поступающих в водоем, несколько улучшатся.

Расходы воды во входном створе и при сбросе через плотину после завершения работ по снижению уровня воды в водохранилище не претерпят значительных изменений.

Прогноз изменения качества воды

Предполагаемое снижение уровня воды Нижнезырянского водохранилища будет сопровождаться вторичным загрязнением водных масс под влиянием атмосферных осадков, временных водотоков (ливневые и талые воды), притоков, ветрового волнения, стока родниковой воды и др.

Поступление в водохранилище загрязняющих веществ во многом будет связано с донными отложениями, освобождающимися от воды вследствие снижения уровня. При снижении уровня до отметки 112,5 м площадь осушенной части водохранилища составит 193 га накопившихся на дне водохранилища отложений. Исследование состава донных отложений Нижнезырянского водохранилища выявило наличие в них значительного количества загрязняющих веществ. Оголившиеся донные отложения представляют собой источник загрязнения водохранилища.

Уровень воды в Нижнезырянском водохранилище является местным базисом эрозии для приповерхностной гидросферы участка. Предполагаемое снижение уровня воды приведет к развитию эрозии как в обнажившихся донных отложениях, так и в руслах постоянных и временных водотоков. Данные отложения будут размываться за счет плоскостного смыва дождевыми и талыми водами, формирования русел постоянных и временных водотоков, в том числе на участках выхода подземных вод. Процесс вымывания загрязняющих веществ из оголившихся донных отложений начнется уже в ходе снижения уровня и усилится при снижении базиса эрозии. Особенно интенсивно вымывание будет протекать при атмосферных осадках и в период продолжительных дождей и интенсивного снеготаяния.

Размыв донных отложений и усиление эрозии существующих русел приведет к ухудшению качества вод водохранилища за счет увеличения количества взвешенных частиц и экстракции загрязняющих веществ из донных отложений. Вторичное загрязнение обусловлено рядом сложных процессов: перехода поровых вод донных отложений в воды водохранилища, ионного обмена, растворения, химических реакций и др. Произойдет изменение окислительно-восстановительных условий и форм нахождения элементов (железо, марганец и др.) (Венецианов, Лепихин, 2002), активизируются процессы разложения органических соединений. Вместе с процессами вторичного загрязнения будет происходить частичное осаждение загрязняющих компонентов за счет седиментации взвешенных частиц, процессов окисления и др. Для количественной оценки этих процессов необходим комплекс специальных полевых и лабораторных исследований.

Качество поверхностных вод после снижения уровня воды в Нижнезырянском водохранилище ухудшится вследствие дополнительного поступления загрязняющих веществ и взвешенных частиц. Соответственно, ухудшится качество р. Зырянка в нижнем бьефе.

Поступление загрязняющих веществ ожидается в основном с площадей, освобождающихся от воды в результате снижения уровня. В этом аспекте выделяются 3 участка: северная прибрежная зона западнее Семино; верховье водохранилища, включая приустьевую часть р. Быгель; юго-западная приплотинная часть. Наиболее сильный размыв донных отложений и сопутствующий ему вынос загрязняющих веществ ожидается в верховье водохранилища, что обусловлено эрозионной деятельностью р. Быгель и наличием многочисленных выходов подземных вод, в каналах стока которых также будут протекать эрозионные процессы.

Вымывание загрязняющих веществ, связанное с ветровым волнением, будет происходить и по всей прибрежной зоне, которая в водоеме с уровнем воды 112,5 м будет также покрыта донными отложениями.

Учитывая результаты, полученные при обследовании состава донных отложений, в первую очередь следует ожидать поступление в водохранилище тяжелых металлов (таких как Zn, Pb, Ni, Cd), органических веществ. В настоящее время в воде Нижнезырянского водохранилища уже отмечается превышение предельно допустимых норм по Zn, Ni, Cd. В связи с дополнительным поступлением тяжелых металлов, вымываемых из донных отложений, возможно увеличение степени загрязнения водных ресурсов водохранилища этими ингредиентами.

Загрязняющие веществ, поступившие в водохранилище с взвешенными веществами при размыве донных отложений, перераспределятся за счет течения, волнения по водоему. Большая часть их со временем будет аккумулирована на дне. Часть материала во взвешенном состоянии через отводящий канал попадет в нижний бьеф. При этом будет соблюдаться тенденция переноса загрязняющих компонентов к приплотинной части, которая при движении загрязнителей по водоему является барьером. Часть загрязняющих веществ, депонированных в донные отложения водохранилища, будет являться источником его вторичного загрязнения.

На водосборной площади Нижнезырянского водохранилища со стороны правого берега находится Косачевское болото, в которое до 40-х гг. прошлого столетия осуществлялся сброс городских сточных вод. В настоящее время в районе болота протекает ручей. Не исключено, что за счет эрозионных процессов в русле ручья начнется вымывание ранее накопленных загрязняющих веществ и поступление их в водохранилище. Размыв донных отложений приведет к ухудшению санитарно-гигиенических характеристик воды.

По данным санитарно-бактериологического исследования донных отложений зафиксировано превышение нормативного уровня по индексу БГКП (бактерии группы кишечной палочки) в 50% проб. Наибольшие превышения показали пробы, отобранные на правобережной части водохранилища, в районе ул. Качалова, и к востоку от нее, а также в юго-западной прибрежной части водоема. В одной пробе (район пионерлагеря «Дружба», на левом берегу водохранилища) обнаружены яйца гельминтов (лентец широкий) в количестве 100 экземпляров/кг, которые согласно СанПиН 2.1.7.1287-03 по степени эпидемической опасности относятся к категории опасных. При размыве отложений, содержащих бактерии и гельминты, опасные микроорганизмы перейдут в воды водохранилища.

Водные массы Нижнезырянского водохранилища, как и других водоемов, обладают потенциалом самоочищения и естественного восстановления. Эрозия в обнажившихся донных отложениях и в руслах постоянных и временных водотоков со временем замедлится. По завершении выработки профиля равновесия постоянными, временными водотоками и процесса промывания донных отложений поверхностными водами, дополнительное поступление взвешенных и загрязняющих веществ в водохранилище замедлится. В этот период прогнозируется улучшение качества вод, которые были подвергнуты вторичному загрязнению. Наиболее активная фаза загрязнения будет происходить во время первого гидрологического года. В дальнейшем качество воды приблизится к исходному.

5.2.3. Подземные воды и геологические процессы

Подземные воды

Долиной р. Зырянка дренируются подземные воды терригенно-карбонатной толщи. Разгрузка подземных вод происходит как в виде родников по берегам водохранилища, так и субаквально. В прибрежной зоне водохранилища подземные воды и воды водохранилища характеризуются наличием гидродинамической связи. Уровень подземных вод на прибрежных участках и места их разгрузки во многом контролируются уровнем воды в Нижнезырянском водохранилище (базис дренирования). Снижение уровня воды в водохранилище повлечет за собой снижение уровня подземных вод. Следует отметить значительную сложность гидрогеологических условий в придолинных участках. Изначально сложные природные условия участка в настоящее время усугублены техногенными факторами: созданием водохранилища в 50-е гг. прошлого столетия; наличием перетоков по скважинам, пробуренным в долине р. Зырянка и вскрывшим природные минерализованные воды или покровную соль; оседанием поверхности, сопровождающим разработку ВКМКС; аварийной ситуацией на БПКРУ-1, наложившей отпечаток на гидрогеологические и гидродинамические условия прилегающих территорий.

В настоящее время гидрогеологические исследования в районе водохранилища не ведутся. Нет данных о состоянии стволов скважин на побережье (а часто и об их местоположении). В таких условиях прогноз изменения гидрогеологических и гидродинамических характеристик в связи со снижением уровня водохранилища затруднен. Однако можно предполагать, что вследствие снижения базиса дренирования на 2 м произойдет уменьшение дебитов и даже пересыхание некоторых родников. Подобное явление имело место при снижении уровня водохранилища в июле-августе 2007 г. в районе Семино (рис. 5.5) и д. Суханово. В связи с понижением базиса дренирования прогнозируется усиление роли субаквальной разгрузки подземных вод, которая будет происходить через накопленные донные отложения. Это может обусловить вынос загрязняющих веществ из донных отложений, таких как Zn, Pb, Ni, Cd, Co и др.

Рисунок 5.5.
Родник у пос. Семино. 17 и 30 августа 2007 г.

Процесс вымывания загрязняющих веществ из донных отложений будет происходить около мест интенсивной разгрузки подземных вод долины Нижнезырянского водохранилища (рис. 5.6).

Снижение базиса дренирования на 2 м может привести к усилению перетоков минерализованных вод по стволами скважин, пробуренных в долине р. Зырянка. Анализ картографического, гидрогеологического, гидрогеохимического материалов показывает, что перетоки имеются и оказывают свое отрицательное влияние на состав подземных вод терригенно-карбонатной толщи. В результате в пресных подземных водах увеличивается минерализация, содержание ионов Na^+, Cl^- и тяжелых металлов. Особенно это касается участков зоны выклинивания отложений ТКТ, где их мощность измеряется 10–20 м. Например, скв.99, правый берег водохранилища, где были вскрыты пресные сульфатно-кальциевые воды, а мощность ТКТ составляет всего 20 м.

Таким образом, ожидается, что негативные изменения, касающиеся подземных вод, выразятся в пересыхании некоторых род-

Рисунок 5.6.
Размыв осушенных донных отложений родниковыми водами.

ников, усилении субаквальной разгрузки через донные отложения и увеличении засоления пресных вод ТКТ за счет усиления перетоков по старым скважинам.

Геологические процессы

В настоящее время в пределах рассматриваемой территории развиты соляной карст и суффозия. Снижение уровня вод Нижнезырянского водохранилища может косвенно оказать влияние на соляной карст за счет усиления перетока по стволам негерметичных скважин, способствующего интенсивному выщелачиванию солей. Этот вопрос требует специального рассмотрения с учетом изменения гидрогеологической обстановки после затопления рудника.

Суффозионные процессы, по мнению большинства исследователей, явились причиной провалов в пос. Новая Зырянка. Эти процессы определяются геологическими, гидрогеологическими условиями и техногенными факторами. Снижение базиса дренирования будет сопровождаться изменениями гидродинамических параметров подземных вод, циркулирующих в районе водохранилища. При снижении уровня, особенно на первых этапах, произойдет увеличение напорного градиента подземных вод, что может активизировать суффозионные процессы. В первую очередь это может коснуться южного берега водохранилища, где эти процессы периодически проявляются.

В прибрежной части, в основном на освобождающихся от воды донных отложениях, ожидается интенсивное развитие экзогенных инженерно-геологических процессов: переработка береговой линии и эрозионные процессы.

Снижение уровня воды в водохранилище и перемещение уреза неизбежно приведут к формированию новой береговой линии. Переработке подвергнутся, в первую очередь, освободившиеся от воды донные отложения. Основными динамическими факторами воздействия будут волны (рис. 5.7) и поверхностный сток (рис. 5.8). Влияние процесса переработки берега заметно проявится на узком участке около нового уреза воды (прибрежная зона и береговая зона водоема). По-видимому, процесс трансформации береговой линии в связи со снижением уровня вод пройдет довольно быстро, что обусловлено высокой размываемостью грунтов. После снижения уровня водоем приобретет новые очертания, менее благоприятствующие разгону волн.

Переработка береговой линии будет сопровождаться двумя разнонаправленными процессами – разрушения и аккумуляции. Ожидается, что переработка берегов начнется уже в процессе снижения уровня и наиболее интенсивно будет протекать в первое время. По мере выработки нового профиля равновесия процессы формирования береговой линии будут затухать.

Снижение базиса эрозии активизирует эрозионные процессы, которые выразятся во врезании постоянных и временных водотоков в легко размываемые поверхностные отложения. Выработка новых продольных профилей рек и ручьев наиболее интенсивно будет проходить на площадях, освободившихся от воды. Поскольку эти площади покрыты донными отложениями, то эрозии подвергнутся в первую очередь они.

Эрозионный размыв берегов и русел постоянных и временных водотоков вне осушающейся зоны будет выражен значительно слабее. Как следствие эрозионной деятельности временных водотоков в связи с их приспособлением к новому базису эрозии, ожидается рост (углубление) существующих оврагов.

Рисунок 5.7.
Размыв осушенных донных отложений за счет воздействия волн.

Переработка берегов и эрозионные процессы будут сопровождаться образованием продуктов разрушения, их перемещением и аккумуляцией, как правило, в чаше водоема и в прибрежной зоне.

5.2.4. Биотические компоненты

Водная растительность

При снижении уровня Нижнезырянского водохранилища изменения видового состава высшей водной растительности не произойдет. Однако, по прогнозу, выполненному М. А. Баклановым, изменится соотношение отдельных видов в фитоценозе, при сохранении доминантов – рдестов, роголистника погруженного и элодеи канадской. Учитывая, что при снижении уровня водохранилища до 112,5 м над уровнем моря площадь мелководий глубиной до 2 м составит 93% от площади водохранилища, существенно возрастет зарастание дна. При этом основной рост мелководий произойдет за счет участков с глубинами до 1 м – их площадь по сравнению с современным состоянием увеличится более чем в 2,5 раза.

Рисунок 5.8.
Размыв осушенных донных отложений дождевыми водами.

Значительному увеличению фитомассы при снижении уровня воды в водохранилище будет способствовать и смыв в водоем биогенных веществ с осушенных участков, а также наличие больших запасов иловых отложений в центральной части водохранилища. Существенно возрастет продуктивность фитоценоза, что приведет к ежегодному росту запасов органического вещества в водоеме. Разложение отмирающей растительности в осенне-зимний период будет вызывать дефицит кислорода в воде.

Кроме высшей водной растительности при спуске водохранилища произойдет рост численности биомассы нитчатых и одноклеточных водорослей. В летний период при значительном прогреве вод будет наблюдаться эффект «цветения» воды за счет сине-зеленых водорослей.

Осушенные участки прибрежья будут зарастать водно-наземными и прибрежными растениями – рогозом, камышом, стрелолистом, различными видами осок, а также некоторыми наземными представителями местной флоры. В местах выхода грунтовых вод сформируются заболоченные участки, особенно в правобережной части водохранилища.

При отсутствии рекультивационных мероприятий произойдет постепенное зарастание высшей водной растительностью всей площади мелководий водохранилища, а на участках с глубинами до 1 м начнут развиваться процессы заболачивания.

Гидробионты

При снижении уровня Нижнезырянского водохранилища до отметки 112,5 м его площадь уменьшится примерно в 2 раза. При этом доминирующим типом грунта станут ил и сильно заиленный песок. Как показало исследование современного состояния водохранилища в гидробиологическом плане, для илистого грунта характерен бедный видовой состав зообентоса и низкие показатели биомассы. Исчезновение песчаных мелководий со слабым заилением, по мнению М. А. Бакланова, приведет к снижению численности большинства групп донных беспозвоночных, а особенно представителей отрядов Ephemeroptera, Trichoptera, Lepidoptera, Heteroptera. Отдельные виды, наиболее требовательные к определенным условиям обитания, могут исчезнуть из водоема полностью. Возрастет численность олигохет, в частности *Tubifex tubifex*, характерного для пелофильного зообентоса. Значительно сократится кормовая база рыб.

Эти процессы существенно усилятся ростом загрязнения водохранилища, дефицитом кислорода в воде в подледный период и летом в период максимальных температур.

Все индексы, характеризующие экологическое состояние водоема по зообентосу, будут демонстрировать ухудшение состояния водохранилища из-за сокращения видового разнообразия гидробионтов, роста численности и биомассы олигохет и, наоборот, снижения этих показателей хирономид.

Ихтиофауна

В ихтиофауне Нижнезырянского водохранилища при планируемом снижении уровня воды произойдут существенные преобразования. Исследования, проведенные М. А. Баклановым, показали, что из-за повышения загрязнения вод и появления периодов с резким дефицитом кислорода произойдет полное выпадение чувствительных видов рыб. В первую очередь это касается представителей семейства окуневых: судак и ерш исчезнут из водоема полностью, а окунь заметно сократит свою численность. Угнетающее действие этих факторов приведет к снижению численности популяций и всех других видов рыб.

Наиболее резкое сокращение рыбного населения произойдет в первые два года. В результате значительного уменьшения площади и объема водохранилища рыбы окажутся в условиях скученности, что само по себе будет являться для них стрессовым фактором. Возникнет напряженность в пищевых взаимоотношениях, так как кормовая база подвергнется быстрому выеданию. Недостаток пищевых ресурсов усилится в связи с сокращением численности и продуктивности гидробионтов. В этих условиях большинство рыб будут иметь разную степень истощения, что приведет к возникновению и распространению в рыбном сообществе массовых заболеваний (эпизоотий) и, в конечном итоге, к гибели рыб. Массовая гибель рыб будет возникать в критические периоды: подледный и во время летнего цветения воды, что, в свою очередь, приведет к усугублению негативных явлений.

Практически полное исчезновение участков с глубинами более 2 м негативно скажется на популяции леща, а сплошное зарастание мелководий высшей водной растительностью постепенно может привести к исчезновению уклейки, так как она приурочена к свободной толще вод. Сильное заиление грунта неблагоприятно для пескаря, типичного придонного жителя. Если взрослые особи этого вида способны существовать в таких условиях, то развитие икры и молоди невозможно без наличия песчаных участков со слабым заилением. Скорее всего, в течение нескольких лет после снижения уровня водохранилища произойдет исчезновение из ихтиофауны пескаря.

Связанная с заилением повышенная мутность вод окажет негативное воздействие на развитие икры всех обитающих в водохранилище рыб. Осаждение взвешенных веществ на икринки ухудшит их газообмен с окружающей средой, будет способствовать развитию гнилостных грибков и, соответственно, резко снизит воспроизводство рыб.

Доминирующим видом в ихтиоценозе станет токсикорезистентная плотва. Окунь и лещ из разряда многочисленных рыб водоема перейдут в обычные, а со временем численность леща может сократиться еще больше. Состояние популяции щуки, скорее всего, не изменится, так как этот вид устойчив к загрязнению водоемов органическими веществами, а численность будет определяться кормовой базой. Со временем возможен рост популяции золотого карася из-за снижения конкуренции со стороны других рыб и устойчивости к заморным явлениям.

Таким образом, в результате снижения уровня водохранилища произойдет сокращение видового состава фауны рыб (до 8–10 видов), и резко сократится рыбопродуктивность водоема, причем за счет ценных в промысловом плане видов (судак, лещ, окунь).

5.3. Оценка экологических последствий в соответствии с нормативными критериями

Официальным документом, позволяющим комплексно оценить экологическую ситуацию, являются «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. ГНТУ МООСПР РФ 30.11.1992». На основании выполненного прогноза, авторами, совместно с Е. А. Ворончихиной, И. В. Китаевой, М. А. Баклановым, эти критерии были применены для анализа ситуации, которая может сложиться после снижения уровня водохранилища.

5.3.1. Атмосферный воздух

Важнейшим фактором снижения качественных показателей состояния воздуха является пыление грунтов, предпосылкой чему служит наличие значительной, до 24%, доли илистых фракций, то есть потенциальной пыли. Согласно нормативным документам (Критерии…, 1992), пыль относится к загрязнителям IV класса, для которых уровень экологической опасности установлен с учетом превышений максимальных разовых концентраций в 12,5–20 раз или 8–12-кратных среднесуточных превышений на протяжении более 30 дней подряд. С учетом данных критериев проведена оценка экологической опасности пыления.

Наиболее опасным с точки зрения повышения потенциала пыления является поздневесенний период (апрель-май), характеризующийся наименьшим количеством осадков (по средним многолетним данным), максимальной продолжительностью бездождевого периода, значительными скоростями ветра (4,0 м/сек и более). Наложение этих факторов на вегетационные сроки (отсутствие вегетации вследствие низких температур – наличие значительных участков с оголенной поверхностью) предопределяет формирование выраженного годового пика дефляционных процессов. Согласно климатическим данным, средняя дата схода снежного покрова, то есть обнажения поверхности – 27 апреля, средняя дата начала вегетации – 6 мая; разгар вегетации, предотвращающий пыление, наступает 16 мая. Таким образом, период возможной пылевой активности имеет продолжительность 21 сутки. Преобладающие на протяжении этого времени ветры имеют южные румбы, то есть ветровые потоки направлены на городскую территорию.

Направленность пылевых потоков, в связи с преобладающими ветрами, на городскую территорию предопределяет дополнительную загрязняющую нагрузку урбоэкосистемы и представляют угрозу для прилегающей к акватории водохранилища населенной зоны. Так как период прогнозируемого пыления непродолжителен (менее 30 суток), опасность не достигнет критического уровня (Критерии оценки…, 1992), однако крайне негативно отразится на состоянии окружающей среды и здоровья людей.

Помимо пылевых частиц осушаемые грунты могут являться источниками токсичных газов. Известен опыт осушения Зеркального пруда в Саратовской области (август 2006 г.), обернувшийся экологической катастрофой, вследствие интенсивного выделения осушенными отложениями в атмосферу токсикантов – фенолов, сероводорода и др. (Угроза…, 2007). Косвенным подтверждением возможности развития аналогичных процессов на рассматриваемом объекте является распространение в границах обнажающейся полосы донных отложений анаэробных илов черного цвета с характерным запахом. Ареал их распространения совпадает в территориальных границах с участком погребенных торфов, значительная мощность которых предполагает развитие физико-химических процессов болотного газообразования. В связи с отсутствием данных о газообразовании, оценить обусловленную этим экологическую опасность на данном этапе не представляется возможным.

5.3.2. Поверхностные и подземные воды

Поверхностные воды

Оценка уровня загрязнения водных ресурсов Нижнезырянского водохранилища и прогноз его изменения при снижении уровня водохранилища проведены на основе предложенных в документе (Критерии оценки…, 1992) основных (химические вещества, превышающие ПДК, с учетом их класса опасности) и дополнительных (биогенные вещества, минерализация, реакция среды pH) показателей, с учетом локальных особенностей водоема. Таблица 5.3 отражает экологическое состояние рассматриваемого водного объекта, где основными градациями, в соответствии с указанным документом, являются экологическое бедствие, чрезвычайная экологическая ситуация и относительно удовлетворительная ситуация. В левой части таблицы перечислены показатели и их параметры для выявления сформировавшихся зон экологического неблагополучия, в правой части – анализ этих критериев применительно к Нижнезырянскому водохранилищу. Химический состав воды формируется под влиянием ряда природных и техногенных факторов и имеет существенные различия.

Исходя из анализа основных показателей экологического неблагополучия, следует выделить ситуацию по загрязнению вод Нижнезырянского водохранилища никелем. В двух точках (1, 2), что составляет 13% от числа проб, концентрации данного компонента превышают ПДК более чем в 10 раз. Столь высокие концентрации никеля, отнесенного ко 2 классу опасности, соответствуют градации «зона экологического бедствия». В двух точках (3, 31) содержание никеля соответствует градации «зона чрезвычайной ситуации». Точек опробования, в которых концентрации Ni удовлетворяют требованиям допустимых норм, не выявлено.

Анализ содержания в воде остальных загрязняющих компонентов, определенных документом (Критерии оценки…, 1992) как «основные показатели», показал отсутствие их в количествах, соответствующих градациям «зона экологического бедствия» и «зона чрезвычайной ситуации». При этом отмечается ряд превышений ПДК. Следует отметить такие ингредиенты как хлор и магний, содержание которых в 100% отобранных проб превышает допустимые нормы, что свидетельствует о загрязнении, хотя и невысокой степени, но всего водоема.

По дополнительным показателям, в соответствии с параметрами, указанными в документе (Критерии оценки…, 1992), «зона экологического бедствия» намечается по минерализации в точках 5, 31 и «зона чрезвычайной экологической ситуации» в точках 1, 2, 3, 7, 8, 4, 6. Результаты опробования Нижезырянского водохранилища и сопоставление их с градациями (Критерии оценки…, 1992) говорят о засолении вод рассматриваемого объекта, причем высокой степени.

В таблице 5.4 приведен прогноз изменения уровня загрязнения водных ресурсов водохранилища после снижения уровня воды. Прогноз учитывает уровень загрязнения вод в настоящее время (до снижения уровня) в соответствии с «Критериями оценки…» (Критерии оценки…, 1992), состав донных отложений и пространственное распространение загрязняющих веществ в них, возможность дополнительного поступления загрязнителей в водоем. После снижения уровня следует ожидать переход из градации более благоприятного экологического состояния в менее благоприятную: из основных показателей – по никелю, из дополнительных – по минерализации. Градации «зона экологического бедствия» и «зона чрезвычайной ситуации» по никелю и минерализации, фиксирующиеся в настоящее время, сохранятся и после снижения уровня, но при этом прогнозируется общее увеличение загрязнения вод данным тяжелым металлом и усиление их засоления.

Таблица 5.3.
Степень химического загрязнения вод Нижнезырянского водохранилища в соответствии с критериями, предложенными в документе (Критерии оценки…, 1992).

Критерии по (Критерии оценки…, 1992)				Нижнезырянское водохранилище				
Показатели	Параметры: Экологическое бедствие	Параметры: Чрезвычайная ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация	Точки отбора проб (В), их номера, компоненты, превышающие ПДК (в долях ПДК)	Количество проб с превышением ПДК к общему количеству опробованных точек (%)	Зоны экологического бедствия	Зоны чрезвычайной ситуации	Относительно удовлетворительная ситуация
Основные показатели:								
Химические в-ва, ПДК 1–2 класс опасности	более 10	5–10	1	В1: Ni-13; В2: Ni-19; В3: Ni-6; В4: Ni-2,1; В5: Co-1,0; Ni-4,2; В6: Ni-1,9; В7: Ni-3,5; В8: Ni-2,6; В31: Co-1,0; Ni-5	100% (по Ni) 22% (по Co)	В1, В2, (по Ni)	В3, В31 (по Ni)	нет
3–4 класс опасности	более 100	50–100	10	В1: Cl-1,4; Mg-2,3; В2: Cl-1,2; Mg-2,2; Zn-2,1; В3: Cl-1,3; Mg-2,9; В4: Cl-1,2; Mg-2,2; В5: Cl-1,6; Mg-3,1; В6: Cl-1,7; Mg-1,8; В7: Cl-1,3; Mg-2,3; В8: Cl-1,3; Mg-2,4; В31: Cl-2,6; Mg-2,2; НП-3,6	100% (по Cl) 100% (по Mg) 11% (по Zn) 11% (по НП)	нет	нет	все точки
Дополнительные показатели:								
1. Реакция среды, pH	5,0–5,6	5,7–6,5	более 7	нет	–	нет	нет	все
2. Биогенные вещества нитриты (NO_2), ПДК	более 10	более 5	менее 1	нет	–	нет	нет	все
нитраты (NO_3), ПДК	более 20	более 10	менее 1	нет	–	нет	нет	все
соли аммония, ПДК	более 10	более 5	менее 1	нет	–	нет	нет	все
фосфаты, мг/л	более 0,6	0,3–0,6	менее 0,05	ПДК отсутствует	–	нет	нет	все, кроме В31
3. Минерализация, мг/л (превышение регионального уровня)	3–5	2–3	региональный уровень (0,5 г/л)	В1: 2,6; В2: 2,4; В3: 2,4; В5: 3,2; В7: 2,6; В8: 2,6; В4: 2,2; В6: 2,2; В31: 3,4	100%	В5, В31	В1, В2, В3, В7, В8, В4, В6	нет

Таблица 5.4.
Прогноз степени химического загрязнения вод Нижнезырянского водохранилища после снижения уровня воды, с учетом существующего в настоящее время загрязнения.

Показатели	Современное состояние в соответствии с (Критерии оценки…, 1992) (номера точек отбора)	Прогнозная характеристика	
		дополнительное поступление ингредиента	ожидаемая степень загрязнения в соответствии с (Критерии оценки…, 1992)
Основные показатели:			
Никель	зона экологического бедствия (В1, В2)	из донных отложений	зона экологического бедствия
	зона чрезвычайной ситуации (В3, В31)	из донных отложений	зона чрезвычайной ситуации
	отсутствие экологического неблагополучия (В5, В7)	из донных отложений	зона чрезвычайной ситуации
Дополнительные показатели:			
Минерализация	зона экологического бедствия (В5, В31)	из донных отложений, с подземными водами	зона экологического бедствия (с ухудшением ситуации)
	зона чрезвычайной ситуации (В1,В2, В3, В7, В8, В4, В6)	из донных отложений, с подземными водами	зона экологического бедствия

Подземные воды

Оценка степени загрязнения подземных вод рассматриваемой территории проведена на основе критериев, предложенных в документе (Критерии оценки…, 1992), с учетом особенностей формирования состава подземных вод. Предложенные в документе варианты выявления зон экологического неблагополучия позволяют оценить «степень загрязнения подземных вод участков хозяйственных объектов» (вариант 1) или «опасность загрязнения химическими веществами источников питьевого водоснабжения» (вариант 2). Подземные воды, интенсивно разгружающиеся в долине р. Зырянка (Нижнезырянское водохранилище), не относятся ни к той, ни к другой категории. Однако для оценки экологической ситуации авторы сочли возможным использовать эти критерии как дающие представление о состоянии окружающей среды.

Анализ обоих вариантов показал, что они определенным образом дополняют друг друга. Так, вариант 1 не учитывает ХПК (химическое потребление кислорода), которое весьма важно для подземных вод долины р. Зырянка (Нижнезырянское водохранилище), так как они испытывают определенное воздействие от жилых массивов и предприятий г. Березники. ХПК проанализировано в варианте 2. Напротив, вариант 2 не включает в анализируемые показатели минерализацию. Учитывая близкое залегание при-

Таблица 5.5.
Степень загрязнения подземных вод, разгружающихся в долине р. Зырянка (Нижнезырянское водохранилище), в соответствии с критериями, предложенными в документе для участков хозяйственных объектов (Критерии оценки…, 1992).

Критерии по (Критерии оценки…, 1992)				Нижнезырянское водохранилище				
Показатели	Параметры			Точки отбора проб (В), их номера, компоненты, превышающие ПДК (в долях ПДК)	Количество проб с превышением ПДК к общему количеству опробованных точек (%)	Зоны экологического бедствия	Зоны чрезвычайной ситуации	Относительно удовлетворительная ситуация
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация					
Загрязняющие вещества, ПДК								
нитраты	более 100	10–100	3–5	нет	–	нет	нет	все
нефтепродукты	более 100	10–100	3–5	В28: 5; В14: 1,3; В33: 4,6; В34: 4,3; В26: 1,2; В35:15	40%	нет	В35	все, кроме В35, В28
кобальт	более 100	10–100	3–5	В11: 2; В28: 4; В20: 3; В30: 2; В15:2	33%	нет	нет	все
кадмий	более 100	10–100	3–5	В28: 40; В20: 3; В30: 20; В33: 20; В26:3	33%	нет	В28, В30, В33	все, кроме В28, В30, В33
свинец	более 100	10–100	3–5	нет	–	нет	нет	все
никель	более 100	10–100	3–5	В11: 23; В28: 29; В20: 12; В30: 22; В21: 4; В24: 3; В14: 16; В13: 28; В19: 1; В16:6; В33: 5; В26: 11; В15: 22; В35: 5	93%	нет	В11; В28; В20; В30; В14; В13; В26, В15	В21, В24; В19
цинк	более 100	10–100	3–5	В11: 1,2; В20: 3,2; В14: 1,7; В13: 2,3; В15: 2,1	33%	нет	нет	все
Минерализация, г/л	более 100	10–100	менее 3	В11: 11,5; В28: 4,4; В20: 9,4; В30: 2,9; В21: 1,3; В13:1,5; В16: 5,8; В33: 1,4; В26: 1,4; В15: 1,9; В35: 1,5	73%	нет	В11	В30; В21; В24; В14; В13; В19; В33; В34; В26; В15; В35

родных минерализованных вод, этот показатель для рассматриваемого участка является весьма актуальным. В варианте 1 рассмотрена роль минерализации в общей оценке экологического неблагополучия.

Результаты проведенного анализа по оценке загрязнения подземных вод участков хозяйственных объектов (вариант 1) приведены в таблице 5.5. Таблица показывает, что в пределах рассматриваемой территории присутствие загрязняющих веществ в количествах, соответствующих градации «зона экологического бедствия», не выявлено. Признаки «зон чрезвычайной экологической ситуации» отмечены по нефтепродуктам, кадмию, никелю, минерализации. Причем, превышения ПДК по нефтепродуктам (в 15 раз) и минерализации (в 11,5 раза) близки к нижнему пределу выделения критерия «зона чрезвычайной ситуации» (10–100 ПДК) и отмечены в одной точке (по нефтепродуктам – 35, по минерализации – 11), что составляет 6% от общего числа проб. Ситуация с содержанием в подземных водах кадмия и никеля выглядит несколько сложнее. Концентрации кадмия, попадающие в градацию «зона чрезвычайной экологической ситуации», зафиксированы в 3 точках наблюдения (28, 30, 33), что от общего количества проб равняется 20%. Превышение предельно допустимых норм в этих точках значительное – в 20–40 раз. Содержание никеля, отвечающее градации «зона чрезвычайной экологической ситуации», отмечено в 8 пробах родниковых вод (11, 28, 20, 30, 14, 13, 26, 15), что составляет 53% от общего числа выполненных анализов. Допустимые нормы в этих точках превышены в 11–29 раз.

Таким образом, в родниковых водах, разгружающихся в долине р. Зырянка, фиксируется загрязнение кадмием, никелем, нефтепродуктами и отмечается засоление вод невысокой степени. Для подтверждения полученных результатов необходимо проведение систематических наблюдений за составом родниковых вод и работ по определению площадей засоления.

Анализ критериев, предложенных в документе (Критерии оценки…, 1992) для оценки степени опасности загрязнения химическими веществами источников водоснабжения, представлен в таблице 5.6. В соответствии с таблицей, в пределах рассматриваемой территории, признаки «зоны экологического бедствия» фиксируются по одному основному показателю (кадмий) и по двум дополнительным (никель, нефтепродукты). Превышения ПДК по кадмию, соответствующие градации «зона экологического бедствия», отмечены в трех точках наблюдения (28, 30, 33), что составляет 20% от общего числа проб. Концентрации кадмия в этих точках довольно значительны – в 20–40 раз выше ПДК. Градация «зона экологического бедствия» по никелю (дополнительный показатель) применима к 6 точкам (11, 28, 30, 14, 13, 15), что равняется 40% из числа опробованных родников, превышение в которых составляет 16–29 ПДК. Содержание нефтепродуктов в подземных водах по сравнению с тяжелыми металлами не столь существенно.

Градации «зона экологического бедствия» отвечает одна точка опробования (35), где количество нефтепродуктов составляет 15 ПДК, что является нижним пределом критерия выделения градации «зона экологического бедствия» (более 15 ПДК).

Снижение уровня водохранилища усилит перетоки минерализованных подземных вод, что приведет к ухудшению экологической ситуации, касающейся подземных вод, и, соответственно, скажется на качестве вод водохранилища.

Таким образом, воды Нижнезырянского водохранилища имеют признаки «зон экологического бедствия» и «зон чрезвычайной экологической ситуации» по содержанию основного показателя – никеля и дополнительного – минерализации. Снижение уровня вод приведет к ухудшению ситуации. Подземные воды, участвующие в формировании химического состава вод водохранилища, также имеют признаки «зон экологического бедствия» по основному показателю – кадмию и дополнительным – никелю и нефтепродуктам. «Зоны чрезвычайной экологической ситуации» намечаются в областях распространения подземных вод по никелю, кадмию, нефтепродуктам и минерализации. Прогнозируется ухудшение состава подземных вод за счет усиления перетоков по старым скважинам.

5.3.3. Биотические компоненты

Почвенный покров в границах водоохранно-защитной зоны водоема представлен дерново-средне- и слабоподзолистыми почвами легкого, преимущественно супесчаного состава. Почвенный покров незначительно дифференцирован главным образом по механическому составу: в понижениях рельефа

Таблица 5.6.
Степень опасности загрязнения подземных вод химическими веществами в соответствии с критериями, предложенными в документе для источников питьевого водоснабжения (Критерии оценки…, 1992).

Критерии по (Критерии оценки…, 1992)				Нижнезырянское водохранилище				
Показатели	Параметры		Относительно удовлетворительная ситуация	Точки отбора проб (В), их номера, компоненты, превышающие ПДК (в долях ПДК)	Количество проб с превышением ПДК к общему количеству опробованных точек (%)	Зоны экологического бедствия	Зоны чрезвычайной ситуации	Относительно удовлетворительная ситуация
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная ситуация						
Основные показатели: Токсичные вещества, 2 класс опасности (ПДК)								
нитриты	более 10	5–10	в пределах ПДК	нет	–	нет	нет	все
кадмий	более 10	5–10	в пределах ПДК	В28: 40, В20: 3; В30: 20; В33: 20; В26: 3	33%	В28, В30, В33	нет	В11; В21; В24; В14; В13; В19; В16; В34; В15; В35
свинец	более 10	5–10	в пределах ПДК	нет	–	нет	нет	все
Дополнительные показатели: Токсичные вещества, 3 и 4 класс опасности (ПДК)								
аммоний	более 15	10–15	в пределах ПДК	В20: 4,3	6%	нет	нет	все, кроме В20
никель	более 15	10–15	в пределах ПДК	В11: 23; В28: 29; В20: 12; В30: 22; В21: 4; В24: 3; В14: 16; В13: 28; В19: 1; В16: 6; В33: 5; В26: 11; В15: 22; В35: 5	93%	В11, В28, В30, В14, В13, В15	В20, В26	В34
нитраты	более 15	10–15	в пределах ПДК	нет	–	нет	нет	все
цинк	более 15	10–15	в пределах ПДК	В11: 1,2; В20: 3,2; В14: 1,7; В13: 2,3; В15: 2,1	33%	нет	нет	В28; В30; В12; В24; В19; В16; В33; 34; В26; В35
нефтепродукты	более 15	10–15	в пределах ПДК	В28: 5; В14: 1,3; В33: 4,6; В34: 4,3; В26: 1,2; В35: 15	40%	В35	нет	В11; В20; В30; В21; В24; В13; В19; В16; В15
Физико-химические свойства								
pH	менее 4	4–5,2	в пределах ПДК	нет	–	нет	нет	все
ХПК, $мгO_2/л$	более 80	60–80	в пределах ПДК	В11: 6,9; В28: 12,3; В20: 9,7; В30: 3,5; В24: 2,6; В14: 2,5; В13: 4,7; В19: 5,6; В16: 5,6; В33: 3,6; В34: 12,3; В26: 2,4; В15: 2,9; В35: 6,2	93%	нет	нет	В21

наблюдается некоторое утяжеление субстрата (до легких суглинков), на возвышенных участках, напротив, распространены более легкие супесчаные и песчаные почвы. На фоне дерново-подзолистых почв незначительно, по поймам малых водотоков, распространены интразональные аллювиальные дерновые почвы. Наиболее крупный нерасчлененный ареал аллювиальных дерновых почв приурочен к долинам рек Быгель и Зырянка в верхней части водохранилища.

Основными особенностями почвенного покрова территории размещения водохранилища являются: малая мощность гумусного слоя – 10–12 см, запас гумуса не более 3,5 т/га, слабокислая, близкая к нейтральной реакция почвенных растворов, низкая обеспеченность важнейшими элементами почвенного плодородия – содержание K_2O в пределах 4,8–6,1 мг/100 г, P_2O_5 – менее 4,8, то есть, менее одной трети зональной нормы. В экологическом отношении это предполагает повышенную эрозионную уязвимость почвенного покрова, его низкую адсорбционную емкость по отношению к загрязнителям, повышенную биогеохимическую активность и, таким образом, высокую буферность, предопределяющую устойчивость почв к загрязнению. В качестве критериев экологической оценки состояния почв использованы показатели, представленные в таблице 5.7, по которым выполнена оценка фактического

Таблица 5.7.
Критерии экологического состояния почв (Критерии…, 1992).

Критерии	Допустимый уровень	Фактическое состояние в границах рассматриваемой территории
Площадь земель, выведенных из сельхозоборота, в %	5	Земли сельхозпользования отсутствуют
Уничтожение гумусового горизонта, мощность в м	До 0,1	Нагрузка не связана с нарушением почвенного слоя
Перекрытие почвы абиотическими наносами, мощность в м	До 0,2 м	Не происходит
Увеличение плотности почвы, кратность (раз)	1,4	Отсутствует
Увеличение содержания легкорастворимых солей, г/100 г	0,1	Отсутствует
Превышение ПДК веществ 1 класса опасности, кратность (раз)	До 1	Отсутствует
Фитотоксичность, кратность в сравнении с контролем (раз)	До 1,4	В 30 % проб – до 1,16

влияния на почвенный покров территории водоохранно-защитной зоны водохранилища.

Из проиллюстрированных таблицей оценочных показателей видно, что нагрузка на почвенный покров по рекомендованным критериям отсутствует, она не может сформироваться под влиянием водохранилища. В настоящее время реальную угрозу состоянию почвенного покрова рассматриваемой территории представляют два процесса, обусловленные антропогенной деятельностью:

- стихийно возникающие свалки бытового и строительного мусора, зафиксированные в период обследования, с различной степенью плотности на всем протяжении водоохраной зоны;
- интенсификация водно-эрозионной деятельности, связанная со снижением местного базиса эрозии под влиянием понижения уровня вод в водохранилище.

Прогнозируемое воздействие на почвенный покров, в связи с перечисленными особенностями почвенного субстрата, не предполагает формирования экологически опасных очагов почвенного загрязнения. Верхние почвенные горизонты характеризуются низкой адсорбционной емкостью, поэтому компоненты атмохимического воздействия, в том числе выявленные в составе пыления тяжелые металлы 1 класса экологической опасности, будут просачиваться с почвенной влагой до иллювиального горизонта и жестко связываться в нем в нерастворимые, экологически безопасные формы. Эти негативные процессы следует учитывать при проектировании новой водохозяйственной зоны водохранилища.

В соответствии с критериями оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия (Критерии …, 1992), проанализированы данные о современном состоянии растительного и животного мира экосистемы Нижнезырянского водохранилища и результаты прогноза их изменений вследствие снижения уровня воды. По всем исследованным параметрам экологическое состояние водохранилища соответствует относительно удовлетворительному, без признаков экологического бедствия или кризиса.

При планируемом снижении уровня водохранилища и отсутствии эффективных рекультивационных мероприятий по ряду показателей в водоеме возможно возникновение зоны чрезвычайной экологической ситуации. В условиях повышения органического загрязнения вод в фитопланктоне возможно массовое развитие сине-зеленых и нитчатых водорослей, с образованием пленки на поверхности и сплошного ковра на дне мелководий. Среднелетняя биомасса фитопланктона может начать превышать 50 мг/л (сейчас по экспертной оценке – менее 10 мг/л), а биомасса нитчатых водорослей в прибрежье превысит 1,5–2 кг/м^2.

Прогнозируемое сокращение численности и разнообразия донных животных (зообентоса) и доминирование среди них олигохет (тубифицид) также соответствует чрезвычайной экологической ситуации. Олигохетный индекс Гутнайта-Уитлея, скорее всего, уже в первое лето после снижения уровня водохранилища превысит 50–70%.

Заключение

Выполненные комплексные работы по исследованию влияния Нижнезырянского водохранилища на экосистемы и безопасность территории наглядно показали, что малые водохранилища требуют крайне серьезного отношения на всех стадиях: при строительстве, эксплуатации, ликвидации. Особое внимание следует уделять проблемам, возникающим при ликвидации таких объектов, необходимость которой может быть вызвана самыми разными, порой непредсказуемыми, причинами.

При организации и проведении исследований по прогнозу снижения уровня водохранилища авторы столкнулись с методическими трудностями, поскольку единая нормативная база для таких исследований отсутствует. Ряд методических подходов приходилось опробовать уже в ходе проведения работ.

Авторы надеются, что данная монография внесет определенный вклад в изучение, включая методические аспекты, таких сложных объектов, какими являются малые водохранилища.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории геологии техногенных процессов Естественнонаучного института, Центра географических информационных систем и технологий и других подразделений Пермского государственного национального исследовательского университета: Т. А. Агеевой, Е. А. Ворончихиной, А. Д. Деменеву, А. В. Денисову, И. А. Дылдину, А. Ю. Запорову, В. И. Каменщиковой, А. Б. Китаеву, И. В. Китаевой, Л. В. Кувшинской, К. Н. Лимоновой, Ю. Н. Миночкиной, О. Ю. Мещеряковой, М. А. Мусихиной, И. В. Поздееву, Е. Б. Соболевой, Е. А. Хайрулиной, Д. А. Цвигун, Ю. Н. Шавниной, А. Н. Шихову за участие в проведении полевых, лабораторных и камеральных работ, а также подготовке данной монографии.

Список использованных источников

1. *Авакян А. Б.* Водохранилища в современном мире // Россия и современный мир. 1998. Вып. 4 (21).
2. *Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А.* Водохранилища. М.: Мысль, 1987.
3. Акт обследования гидротехнических сооружений площадки ТЭЦ-10 от 12.07.2007 г.
4. *Алексевнина М. С., Гореликова Н. М.* Зообентос // Биология Воткинского водохранилища. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988. С. 65–97.
5. *Алтунин В. С.* Экологический мониторинг водных ресурсов // Гидротехническое строительство. 1997. № 3. С. 1–7.
6. *Арефьев Н. В., Баденко В. Л., Осипов Г. К.* Бассейново-ландшафтный подход к организации экологического мониторинга гидроэнергокомплексов на основе геоинформационных технологий // Гидротехническое строительство. 1998. № 11. С. 25–28.
7. *Балушкина Е. В.* Изменение структуры сообществ донных животных при антропогенном воздействии на водные экосистемы (на примере малых рек Ленинградской области) // Евразиатский энтомол. журн. 2004. Т. 3. № 4. С. 276–282.
8. *Балушкина Е. В.* Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 106–118.
9. *Баньковская В. М., Константинова С. А.* Гидрогеологические аспекты образования провалов земной поверхности на шахтном поле Первого Березниковского калийного рудника // Вестник «МАНЕБ». 2000. № 6 (30).
10. *Бачурин Б. А., Бабошко А. Ю.* О характере трансформации состава техногенно-минеральных образований горного производства в условиях гипергенеза // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 7. С. 336–342.
11. *Белкин В. В.* Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2010. 49 с.
12. *Бельтюков Г. В.* Основные источники загрязнения подземных и поверхностных вод на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Экология. Пермь, 1996. Вып.4. С. 128–140.
13. *Беручашвили Н. Л.* Факторы развития аквальных геосистем // Геофизика ландшафта. М., 1990.
14. *Болотов А. А.* К вопросу о происхождении провалов почвы в районе пос. Новая Зырянка (южная окраина г. Березники Пермской области) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сборник научных статей. Пермь, 2000.
15. *Буторин Н. В.* Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах волжского каскада. Л.: Наука, 1969. 322 с.
16. *Василевский А. Г., Добрынин С. Н., Зотов В. М., Тихонова Т. С.* Информационно-аналитическая система данных обследования гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 1998. № 5. С. 1–3.
17. *Венецианов Е. В., Лепихин А. П.* Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Под науч. ред. А. М. Черняева; ФГУП КамНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 236 с.
18. Ветеринарно-санитарные правила для рыбоводных хозяйств. Утверждены Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 18 мая 1967 г. (с изменениями от 31 мая 1971 г.).
19. Вода России. Водно-ресурсный потенциал / Под науч. ред. А. М. Черняева. Екатеринбург: АКВА–ПРЕСС, 2000. 420 с.

20. Вода России. Водохранилища / Под науч. ред. А. М. Черняева. Екатеринбург: АКВА–ПРЕСС, 2001. 700 с.
21. Вода России. Социально-экологические водные проблемы / Под науч. ред. А. М. Черняева. Екатеринбург: АКВА–ПРЕСС, 2000. 364 с.
22. Водные ресурсы и водное хозяйство Урала. Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1977. 272 с.
23. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Отв. ред. Г. В. Воропаев, А. Б. Авакян. М.: Наука, 1986. 367 с.
24. *Воронов Г. А., Трофимова Л. М., Баландин С. В.* Сложные пихтово-еловые леса Уральского Прикамья. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2005. 178 с.
25. Геологическое доизучение масштаба 1:50000 Верхнекамской площади (ГДП – 50). Отчет о НИР/Геокарта. Рук. Харитонов Т. В., Оборин В. В. Пермь, 1992.
26. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200000, лист О–40–III. Отчет Сылвенской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки за период 1973–1975 гг. Рук. Мелехов А. Г., Иконников Е. А., Мошковский В. И. Пермь, 1975.
27. Гидрогеология СССР. Том XIV: Урал / Главный редактор А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1972.
28. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.
29. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации ПДК химических веществ в почве, утвержден гл. гос. сан. вр. РФ 23.01.2006 г.
30. *Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович Н. Г.* Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/publicat.html
31. ГОСТ 19179–73 Гидрология суши. Термины и определения. М.: Госстандарт СССР, 1988. 36 с.
32. ГОСТ 17.1.5.02-80 Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. М., 1981.
33. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». М.: ИПК Изд-во стандартов, 1984.
34. ГОСТ 17.1.5.02.80 Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов, М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980.
35. ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003.
36. ГОСТ 17.5.1.03-86 Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. М., 1988.
37. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора.
38. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
39. *Давидович Г. И.* Гидротехнические сооружения Пермского края // Промышленная безопасность. 2009. № 1.
40. *Данилова М. М.* Геоботанические районы Пермской области // Доклад 4-го Всеуральского совещания по физико-географическому и экономико-географическому районированию Урала. Пермь, 1958. Вып.1.
41. *Двинских С. А., Максимович Н. Г., Носков В. М., Тихонов В. П.* Влияние развития промышленности на природные условия водохранилищ // Физико- географи-

ческие основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала : Межвуз. сб. науч. тр. /Перм. гос. ун-т. Пермь, 1985. С. 79–86. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0054.html
42. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Березниковской ТЭЦ-4. Утверждена руководителем Департамента государственного энергетического надзора и энергоснабжения (ГОСЭНЕРГОНАДЗОР) Минтопэнерго России 8 октября 2001 г.
43. *Добровольский Г. В. и др.* Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины. М., 1997.
44. *Дроздов К. А.* Пруды и водохранилища ЦЧО как антропогенные ландшафтные комплексы (урочища и группы урочищ) // Вопросы физической географии, геоморфологии, гидрологии и экономической географии. Воронеж, 1974. С. 36–46.
45. *Дьяконов К. Н., Дончева А. В.* Методология ОВОС // Экологическое проектирование и экспертиза. М., 2002.
46. *Еремченко О. З.* Эволюция почв в зоне подтопления Камского водохранилища // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 2002.
47. *Жадин В. И.* Методы гидробиологического исследования. М.: Высшая школа, 1960. 191 с.
48. *Зиновьев Е. А., Бакланов М. А.* Ихтиофауна бассейна Верхней и Средней Камы // Вестник Удмуртского университета. Биология. Ижевск, 2000. № 5. С. 41–46.
49. *Зиновьев Е. А., Бакланов М. А.* Влияние прудов на ихтиофауну малых рек // Природное наследие и географическое краеведение Прикамья: II межрег. науч.-практ. конф. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2000. С. 124–125.
50. *Зиновьев Е. А., Бакланов М. А., Костицына Н. В.* Ихтиологический кадастр и мониторинг водоемов Краснокамского района. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2006. 148 с.
51. *Зиновьев Е. А., Мандрица С. А.* Методы исследования пресноводных рыб: Учебное пособие. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2003. 113 с.
52. *Зиновьев Е. А., Мандрица С. А., Бакланов М. А.* Закономерности структуры, динамики продуцирования и устойчивости разнотипных речных и водохранилищных ихтиокомплексов Пермской области // Региональный конкурс РФФИ-Урал. Результаты научных исследований, полученные за 2002 г. Аннотационные отчеты. Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2003. С. 195–200.
53. *Золотов Л. А., Иващенко И. Н., Радкевич Д. Б.* Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 1997. № 2. С. 40–43.
54. *Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., 1991.
55. *Карасев И. Ф.* Эколого-гидрологические характеристики водного режима рек // Гидротехническое строительство. 1997. № 5. С. 40–45.
56. *Китаев С. П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
57. *Комлев А. М., Черных Е. А.* Реки Пермской области: режим, ресурсы, прогнозы, проблемы. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1984. 214 с.
58. Комплексная геомеханическая оценка причин события в пос. Н. Зырянка и его окрестностях. Отчет о НИР/ОАО «Галургия». Рук. Макаров В. Е. Пермь – Березники, 1999.
59. Комплексная оценка состояния р. Быгель. Заключительный отчет о НИР/КамНИИВХ. Рук. Лепихин А. П., Максимович Н. Г. Пермь, 2006.

60. *Кондратьева М. А.* Антропогенная трансформация геосистем и анализ экологической ситуации Березниковско-Соликамского промышленного комплекса. Дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. Пермь, 1998.
61. *Копнин В. И., Константинова С. А.* Геологическая ситуация в юго-восточной части Первого Березниковского калийного рудника: соотношение тектонических, экзогенных и техногенных процессов. ПТУ, АО «Галургия». Пермь, 2000.
62. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. ГНТУ МООСПР РФ 30.11.1992. М., 1992.
63. *Крылов Ф.* Прощай, плотина! «Берегиня», 2004 г. № 3.
64. *Кудряшов А. И.* Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
65. *Кузнецова Л. А., Молодцова И. Н.* Химический состав и донные отложения березниковских прудов // Комплексные исследования гидрологии и водной экологии Камских водохранилищ и рек их водосборов: межвуз. сборн. науч. трудов. Пермь, 1987.
66. *Кузьмич В. Н., Соколова С. А., Крайнюкова А. Н.* Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА-природа, 2002. 118с.
67. *Лукин А. В., Кузнецов В. А., Смирнов Г. М.* Рыбы Среднего Поволжья и методы их изучения. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1981. 102 с.
68. Максимович Н. Г. Безопасность плотин на растворимых породах (на примере Камской ГЭС). Избранные труды / Пермь: ООО «Гармония», 2006. 212 с.
69. *Максимович Н. Г., Ворончихина Е. А., Дылдин И. Ю., Каменщикова В. И., Сунцов А. В.* Геоэкологическое обоснование рациональной организации территории в границах осушаемого участка Нижнезырянского водохранилища // Географический вестник / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. №2 (8). С. 230–238. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2008/0345.pdf
70. *Максимович Н. Г., Ворончихина Е. А., Китаева И. В., Шавнина Ю. Н.* Эколого-геохимические проблемы утилизации донных отложений Нижнезырянского водохранилища // Геохимия биосферы: сб. материалов и тез. IV Междунар. совещания. Новороссийск, 2008. С. 143–145. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2008/0341.pdf
71. *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. 2011. № 1. С. 32–38. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2011/0376.pdf
72. *Максимович Н. Г., Ворончихина Е. А., Хайрулина Е. А., Жекин А. В.* Техногенные биогеохимические процессы в Пермском крае // Геориск. 2010. № 2. С. 38-45. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2010/0366.pdf
73. *Максимович Н. Г., Первова М. С.* Влияние перетоков минерализованных вод Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на приповерхностную гидросферу // Инженерные изыскания. 2012. № 1. С. 22–28. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2012/387.pdf
74. *Малаханов В. В.* Классификация состояний и критерии эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2000. № 11. С. 8–14.
75. *Малаханов В. В.* О концепции безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2003. № 9. С. 34–40.
76. *Матарзин Ю. М.* Гидрология водохранилищ. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2003.

77. Материалы гидрологических работ для III раздела «Программы по составлению экологического паспорта Березниковского промрайона...» с пояснительной запиской. Рук. Крашников А. Ф. М.: МосЦТИСИЗ, 1992.
78. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
79. *Мильков Ф. Н.* Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224 с.
80. *Михайлов А. В., Китаев А. Б.* Основы гидротехники. Водосбросные сооружения / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2010. 55 с.
81. *Михайлов А. В., Китаев А. Б.* Основы гидротехники. Гидротехнические затворы, перегораживающие сооружения и шлюзы-регуляторы / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2011. 22 с.
82. МУК 4.2.1884-04 Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005.
83. *Мякина Н. Б., Аринушкина Е. В.* Группировка почв по степени засоленности // Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М., 1979.
84. *Назаров Н. Н.* Аквальные геосистемы наземных ландшафтов: история вопроса, теория, классификации // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 2002.
85. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 9. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
86. *Никольский Г. В.* О биологической специфике фаунистических комплексов и значение их для зоогеографии // Очерки по общим вопросам ихтиологии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 65–76.
87. *Никольский Г. В.* Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищевая промышленность, 1980. 184 с.
88. О безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон № 117 ФЗ от 21.07.97.
89. О результатах геологических исследований района пос. Нов. Зырянка, проведенных в июле-августе 1999 г. Отчет о НИР/Геокарта. Рук. Харитонов Т. В. Пермь, 1999.
90. Обобщение информации о геологическом строении участка развития провальных образований в районе пос. Нов. Зырянка. Отчет о НИР/ГИ УрО РАН. Рук. Кудряшов А. И. Пермь, 1999.
91. Общие технические требования и технологические схемы рекультивации ложа и береговой полосы ликвидируемого водохранилища // Реферат отчета о НИР: РосНИИВХ. Екатеринбург, 2004.
92. *Овеснов С. А.* Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестник ПГУ. Вып. 2: Биология. Пермь, 2000.
93. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Справочник специалиста. Ч. III. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
94. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / Под ред. Л. А. Кутиковой и Я. И. Старобогатова. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 510 с.
95. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1: Низшие беспозвоночные / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: ЗИН РАН, 1994. 399 с.
96. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3: Паукообразные. Низшие насекомые / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: ЗИН РАН, 1997. 439 с.

97. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4: Высшие насекомые. Двукрылые / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: ЗИН РАН, 1999. 998 с.
98. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5: Высшие насекомые / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: ЗИН РАН, 2001. 836 с.
99. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6: Моллюски, полихеты, немертины / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2004. 528 с.
100. Основные правила использования водных ресурсов Верхне-Зырянского и Нижне-Зырянского водохранилищ на р. Зырянке. Утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР 26.04.89 № 119. 1989 г.
101. Отчет о комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50000 Верхнекамской площади на территории действующих горнодобывающих предприятий и детально разведанных участков. Рук. Балдин В. А. и др. Сылвенская ГГП. Сылва, 1996.
102. Оценка возможного влияния предприятий калийной промышленности ОАО «Уралкалий» на поверхностные водные объекты и разработка мероприятий по минимизации этого воздействия. Этап р. Зырянка. Отчет о НИР/ГИ УрО РАН. Отв. исп. Лепихин А. П. Пермь, 2007.
103. *Парабучев И. А.* Методические указания по проведению геомониторинга на водохранилищах. М.: Гидропроект, 2000.
104. Письмо Министерства природных ресурсов РФ от 25 октября 2000 года № НМ-61/5611. «О правилах эксплуатации водохранилищ Российской Федерации».
105. Положение о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах. № 411 от 24.09.2003.
106. *Попов А. Н., Даишев Ш. Т., Гневашев М. Г.* Общие требования и технологические схемы рекультивации ложа и береговой полосы ликвидируемых водохранилищ. Екатеринбург, 2006.
107. *Попов А. Н., Гневашев М. Г., Сапрыкина А. Ю.* // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2004. Т. 6. № 3. С. 233.
108. Постановление Правительства РФ от 20 июня 1997 года № 762. «О порядке эксплуатации водохранилищ».
109. Постановление Правительства РФ от 06.11.98 № 1303. «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений».
110. Постановление Правительства РФ от 23 ноября 1996 года №1404 «Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах».
111. *Правдин И. Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 300 с.
112. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03. Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г. Г. Онищенко 27.04.2003.
113. *Прыткова М. Я.* Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР. Осадконакопление. Л.: Наука, 1979. 172 с.
114. *Радов А. С., Пустовой И. В., Корольков А. В.* Практикум по агрохимии. М.: Агропромиздат, 1985.

115. *Распопов И. М.* Фитомасса и продукция макрофитов Онежского озера // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л. 1973. С. 123–142.
116. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11: Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
117. *Савкин В. М.* Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирский экологический журнал, 2000. № 2. С. 109–121.
118. *Салтанкин В. П., Мельниченко И. Г., Бойченко В. К., Дмитриева И. Л.* Экологическое обоснование рекреационного использования Подольского водохранилища // Гидротехническое строительство. 1997. № 6. С. 34–41.
119. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы, с изм. от 25.04.2007. М., 2007.
120. СанПиН № 2640-82 Положение о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения.
121. СанПиН № 4630–88 от 4 июля 1988 г. Санитарные нормы и правила охраны поверхностных вод от загрязнения.
122. СанПиН от 01.07.1985 № 3907-85 Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ.
123. *Семенов И. В., Дмитриева И. Л., Каякин В. В., Мулина А. В.* Мониторинг в системе обеспечения экологической безопасности гидроэнергетических объектов // Гидротехническое строительство. 1998. № 6. С. 33–40.
124. СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 24 с.
125. *Соловьева Н. С., Зиновьев Е. А.* Изменение ихтиофауны Средней Камы после зарегулирования стока // Учен. зап. Перм. ун-та. 1971. Ч. 2. № 261. С. 3–30.
126. Сопряженная инвентаризация природных ресурсов на базе обработки системно-аэрокосмической и подземно-наземной информации в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей (на территории деятельности ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит») в масштабе 1:50000. Отчет о НИР/Агрохимбезопасность. Отв. исп. Петрик А. И. Москва, 1998.
127. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М., 1997.
128. Справочник водохранилищ СССР: в 2 ч. (книги I и II «Водохранилища РСФСР»). М.: Союзводпроект, 1988.
129. Статистические данные о наличии лесных ресурсов по муниципальным образованиям Пермской области за 2000–2004 гг. Пермь, 2005.
130. *Таусон А. О.* Водные ресурсы Молотовской области. Молотов, 1947. 321 с.
131. Техническое водоснабжение ТЭЦ-БКК. Дамбы обвалования в районе Косачевского болота. Ленинградское отделение треста «Теплоэлектропроект». Л., 1958.
132. *Томилина И. И.* Оценка токсичности донных отложений Рыбинского водохранилища. М., 2006
133. Угроза экологического бедствия в Саратовской области. URL: http://www.1tv.ru/news/social/91212
134. *Федоров М. П., Заир-Бек И. А.* Экологический подход к проектированию гидроэнергетических объектов // Гидротехническое строительство. 1998. № 11. С. 33–36.
135. *Холодова Л. П.* Промышленная архитектура Урала XIX – начала XX вв.: электронный справочник. 2001. URL: http://aldebaran.usaaa.ru/Industrial_Urals/
136. *Чеботарев А. И.* Гидрологический словарь. 3-е изд. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 308 с.

137. *Шавнина Ю. Н., Максимович Н. Г., Пьянков С. В.* Моделирование сработки водохранилища и расчет мощности донных отложений // Вопросы современной науки и практики / Ун-т им. В. И. Вернадского, 2007. Сер. Гуманитарные науки: Т. 1. №4 (10). С. 87–93. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2007/0334.pdf
138. *Шавнина Ю. Н., Пьянков С. В., Михайлов А. В., Немтин Г. Н., Соболева Е. Б.* Анализ системы водоподпорных гидротехнических сооружений с использованием геоинформационных технологий //Пермь. Пермское кн. изд-во. 2011. 208 с.
139. *Шарыгин М. Д., Резвых В. В.* География Пермского края. Ч. 2. Социально-экономическая география / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. 207 с.
140. *Шеннон К.* Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. С. 243–332.
141. *Шкляев В. А, Шкляева Л. С.* Климатические ресурсы Уральского Прикамья // Географический вестник. ГОУ ВПО «Пермский государственный университет», 2006. № 2 (4).
142. *Balushkina E. V., Finogenova N. P.* Changes in the benthic community structure and assessment of the water quality and the state of the ecosystems of Neva Bay and the eastern Gulf of Finland in 1994-2001 // Proc. Estonian Acad. Biol. Ecol., 2003. Vol. 52, № 4. P. 365–377.
143. Case Studies In River Restoration Through Dam Removal. Argo Dam and Mill Pond Dam. Huron River Watershed, Michigan. Elizabeth H. W. Riggs, June 2003. 14 p. URL: http://www.hrwc.org
144. Dam Removal Research. Status and Prospects. William L. Graf, editor // Proceedings of The Heinz Center's Dam Removal Research Workshop, October 23–24, 2002. 151 p. URL: http://www.heinzctr.org
145. Dam Removal. Science and Decision Making. 221 p. URL: http://www.wisconsinrivers.org
146. Dam Removal: A Tool For Restoring Riverine Ecosystems. Edward M. Quinn. URL: http://horticulture.cfans.umn.edu
147. *David D. Hart, Thomas E. Johnson, Karen L. Bushaw-Newton, Richard J. Horwitz, James E. Pizzuto*. Ecological Effects of Dam Removal: An Integrative Case Study and Risk Assessment Framework for Prediction // Dam Removal Research. Status and Prospects. Proceedings of The Heinz Center's Dam Removal Research Workshop, October 23–24, 2002. P. 67–80. URL: http://www.heinzctr.org
148. *Goodnight C. J., Whitley L. S.* Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. Waste Conv., 1961. Vol. 106. P. 139–142.
149. *Sara L. Rathburn, Ellen E. Wohl.* Sedimentation Hazards Downstream from Reservoirs // Dam Removal Research. Status and Prospects. Proceedings of The Heinz Center's Dam Removal Research Workshop, October 23–24, 2002. P. 105–118. URL: http://www.heinzctr.org
150. The Ecology of Dam Removal. A Summary of Benefits and Impacts. URL: http://www.americanrivers.org
151. *Woodowiss F.S.* The biological system of stream classification used by the Trent Board // Chem. a. Ind. 1964. № 11. P. 443–447.

Содержание

Научное издание

Николай Георгиевич Максимович
Сергей Васильевич Пьянков

МАЛЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Монография
В авторской редакции

Печатается по решению
ученого совета Естественнонаучного института
Пермского государственного национального
исследовательского университета

Дизайн, предпечатная подготовка – ООО «Раритет-Пермь».
Фото – Н. Г. Максимовича, С. В. Пьянкова, Г. Н. Немтина, Е. А. Ворончихиной, А. В. Денисова.

Максимович Н. Г.
М18 Малые водохранилища: экология и безопасность: монография / Н. Г. Максимович, С. В. Пьянков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 256 с., ил.

Н. Г. Максимович, e-mail: nmax@psu.ru
С. В. Пьянков, e-mail: psv@psu.ru

Рецензенты: д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки, зав. кафедрой гидрофизики и гидропрогнозов В. В. Коваленко (Российский гос. гидрометеорологический ун-т); канд. геогр. наук, ведущий науч. сотр. А. В. Кошкарев (Ин-т географии Рос. акад. наук); лаборатория охраны геологической среды Моск. гос. ун-та им. М. В. Ломоносова.

Подписано в печать 13.08.2012 г.
Формат 84×60 $^{1}/_{16}$. Бумага ВХИ.
Гарнитура Century Gothic. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14, 88. Тираж 500 экз.
Заказ № ______.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета
в ОАО «ИПП «Уральский рабочий».
620990, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 13.
htpp://www.uralprint.ru email: sales@uralprint.ru