

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОЛОГОДСКИЙ НАУЧНО-КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР



М. М. ПОЛЯКОВ

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ**

Вологда
2002

Поляков М. М. Проблемы управления водопользованием / Под ред. заместителя директора ВНКЦ ЦЭМИ РАН по научной работе к.э.н. М.Ф. Сычева. – Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2002. – 236 с.

Книга посвящена вопросам формирования информационно-методической базы для применения комплексных подходов к решению водохозяйственных и природоохранных задач. Фактический материал, полученный в результате исследований на водосборе р. Сухоны и его части – бассейне оз. Кубенского, выполнявшихся различными организациями, рассмотрен с точки зрения информационного и концептуального обеспечения принятия управленческих решений в сфере водопользования.

Может быть полезной для географов, гидрологов и геоэкологов, специалистов природоохранных организаций, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Под редакцией
заместителя директора ВНКЦ ЦЭМИ РАН
по научной работе к.э.н. **М. Ф. Сычева**

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой гидрологии суши
географического факультета Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Н.И. Алексеевский

доктор географических наук, профессор кафедры водных путей и портов
Московской государственной академии водного транспорта

А.А. Беляков

ISBN 5-93299-034-1

© Поляков М.М., 2002
© Вологодский научно-координационный центр
ЦЭМИ РАН, 2002

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
1. Физико-географические условия водосбора озера Кубенского	9
1.1. Местоположение и рельеф	9
1.2. Геология и гидрогеология	12
1.3. Гидрографическая сеть	16
1.4. Климат	19
1.5. Гидрологический режим	33
1.6. Гидрохимия вод озера и его притоков	38
1.7. Донные отложения озера и процесс седиментации	63
1.8. Процесс эвтрофикации озера	68
2. Водохозяйственный комплекс и его воздействие на водные ресурсы озера	77
2.1. Состав водохозяйственного комплекса	77
2.2. Сельское хозяйство	79
2.3. Селитебные территории	88
2.4. Промышленное производство	92
2.5. Воздействие рекреации	96
2.6. Оценка влияния судоходства	99
2.7. Влияние маломерных судов	104
2.8. Рыболовство и воспроизводство рыбных ресурсов	105
3. Проблемы оценки антропогенного воздействия	112
3.1. Поступление загрязняющих веществ с атмосферными осадками	112
3.2. Вынос биогенных веществ с неосвоенных площадей	113

3.3. Качество воды и гидрологический режим	114
3.4. Качество воды во время обратного течения р. Сухоны	133
3.5. Особенности условий водозабора для г. Вологды	137
3.6. Ранжирование степени антропогенного воздействия	143
4. Основы системы управления водными ресурсами	159
4.1. Задачи управления водными ресурсами водосборов	159
4.2. Научная разработанность проблемы	163
4.3. Институциональные структуры управления водными ресурсами	171
4.4. Определение параметров регулирования уровня режима озера	177
4.5. Прогнозирование характеристик водных ресурсов	189
4.6. Развитие информационного обеспечения принятия решений	206
Заключение	222
Литература	223
Перечень таблиц	230
Перечень рисунков	234

ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях рыночных отношений особое значение приобретает совершенствование государственного регулирования процессов природопользования и охраны окружающей среды. Механизмами реализации этого влияния могут выступать экономическое стимулирование природоохранной деятельности, эффективная система платежей за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Для успешного развития этих рычагов необходима информационная поддержка с постоянной актуализацией данных о состоянии окружающей природной среды.

Важнейшие решения, определяющие настоящее и будущее социально-экономического развития и природопользования, в значительной мере обусловлены воздействием господствующих в обществе идей, которыми руководствуются политики и управленцы. Обоснованность и оптимальность решений во многом зависит как от уровня управленческой и общей культуры лиц, принимающих решения (ЛПР), так и от географической и экологической, в широком понимании этого слова, культуры активной части населения.

Современный уровень управления требует учитывать особенности и экологическую устойчивость природной среды территорий, рассчитывать экономические, экологические и социальные последствия различных видов природопользования, в том числе и водопользования, которое, по определению, представляет собой совокупность всех форм и видов использования водных ресурсов в общей системе природопользования. Теоретически допускается водопользование без изменения качества воды, но чаще всего качественные характеристики ухудшаются, что может повлиять на видовой состав растительного и животного мира.

Уже стало общим местом утверждение, что особенностью управления водными ресурсами является объективная необходимость применения бассейнового подхода, подсказываемого самой природой. Бассейн обладает, за редким исключением, четко выделяемыми на местности и на карте границами и представляет собой естественную географическую основу решения проблем в сфере природопользова-

ния и, в частности, водопользования. На основе бассейновой концепции наиболее логично решаются проблемы оптимизации, контроля и управления природопользованием.

Водохозяйственные комплексы бассейнов образовывались, как правило, стихийно. Каждое ведомство-водопользователь старалось соблюдать свои интересы, мало внимания обращая на нужды других участников комплекса. Что допустимо при избытке водных ресурсов и экстенсивном развитии, то становится в настоящее время, при расширении сферы рыночных отношений, появлении различных видов собственности, причиной конфликтов. Избежать обострения разногласий можно на пути долгосрочного планирования развития водохозяйственных комплексов бассейнов на основе известной цепочки: цель – средство – результат. Для претворения в жизнь этой структуры деятельности необходимо пройти известный путь: анализ ситуации – определение цели в виде желаемого состояния (целеполагание) – выработка стратегии с определением средств, обеспечивающих продвижение вперед, – программы, на уровне которой управленческая деятельность переходит в практические действия, – мониторинг с прогнозированием и обратной связью. Это обуславливает необходимость создания прогнозных методик, т. е. моделей процессов, происходящих в системе, на бассейне, в его экосистемах. Все эти этапы требуют определенного информационного обеспечения принятия решений по целому спектру связанных с водопотреблением задач.

Несмотря на то, что зачастую водосборы Европейской части России хорошо изучены, необходимая информация в настоящее время бывает труднодоступной, поскольку хранится в разных местах, имеет ведомственную направленность, а точки замеров различных параметров рассредоточены во времени и пространстве.

В условиях рыночных отношений информация стала товаром, причем дорогим, что значительно затрудняет ее сбор и использование. Товаром выступает не только первичная информация, но и ее синтетические производные, полученные на основе грамотного эколого-географического анализа. В настоящее время гигантские объемы экологической, географической и иной полезной информации хранятся в несистематизированном виде в различных ведомствах, управлениях, на предприятиях и не доступны не только для комплексного анализа, но и для принятия конкретных инженерных решений. В этой связи представляется интересным исследовать состояние изученности, возможности систематизации имеющейся информации и предпосылки создания системы выработки и поддержки управленческих решений

в сфере водопользования. Решения должны преследовать соблюдение интересов общества и отдельных водопользователей, которые часто не совпадают.

Роль водосбора р. Сухоны и его верхней составляющей – бассейна оз. Кубенского – определяется их географическим положением в районе главного водораздела северо-запада Европейской части России. Территория бассейна р. Сухоны занимает более 50% площади Вологодской области. Озеро Кубенское – одно из крупных водоемов Европы и отличается целым рядом особенностей.

Целью исследования является изучение, анализ и обобщение концептуальных и информационных предпосылок для создания эффективной системы поддержки принятия управленческих решений в сфере водопользования.

Объект исследования – водосбор р. Сухоны. Более подробно рассмотрен бассейн оз. Кубенского и само озеро.

В методическом отношении внимание было обращено на уже имеющиеся возможности прогнозирования параметров, отражающих состояние экосистемы водосборов и водоемов.

Структура книги в некоторой степени отражает логику исследования. Первая глава посвящена описанию физико-географических условий водосбора озера Кубенского как верхней составляющей бассейна р. Сухоны. В ней систематизирована базовая информация о водосборе и озере на основе многочисленных публикаций и материалов наблюдений и изысканий, проводившихся различными ведомствами и организация ми, в том числе и с участием автора.

Во второй главе дано описание водохозяйственного комплекса, стихийно сформировавшегося на водосборе и озере, с точки зрения влияния его участников на экологическое состояние водотоков и водоемов.

Основные особенности современного состояния озера Кубенского рассмотрены в третьей главе, где приведены фактические данные наблюдений и исследований и рассмотрены некоторые методические подходы к оценке антропогенного влияния на гидрологические экосистемы бассейна и озера.

Четвертая глава посвящена рассмотрению круга задач управления водными ресурсами водосбора р. Сухоны и подробнее – оз. Кубенского, а также концептуальным и информационным аспектам создания системы управления водными ресурсами, в т. ч. их качеством, с учетом уже имеющихся в этом направлении разработок.

В работе использованы незаменимые, наиболее ценные данные многолетних наблюдений Гидрометслужбы, итоги исследований Института озераедения Российской академии наук, Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, Института «Вологдагипроводхоз» (ныне «Вологдаинжпроект»), экологической службы Вологодской области и г. Вологды, службы Санэпиднадзора, публикации ученых Вологодского государственного педагогического университета, Вологодского государственного технического университета.

Без специальных ссылок в тексте использована часть материалов, полученных в процессе исследовательских работ совместно с А.В. Белым, В.А. Плавинским, В.В. Моисеевым, Ю.С. Водоватовым, А.М. Завгородним, В.С. Поливановым, Т.А. Воробьевой. Автор подтверждает творческий вклад своих соавторов и приносит им благодарность за сотрудничество.

Основные концептуальные положения были сформулированы под научным руководством автора во время его работы в Институте «Вологдагипроводхоз» и Вологодском НКЦ ЦЭМИ РАН по тематике, связанной с изучением экологического состояния и антропогенной нагрузки на водосбор оз. Кубенского, выполненной по заказу комитета по экологии и охране окружающей среды Вологодской области. В этой связи автор выражает благодарность Ю.М. Базанову, возглавлявшему комитет в период его становления и развития, и Э.Л. Онищенко, руководившему управлением координации НИР и мониторинга администрации области, специалистам-гидрологам этого управления Л.И. Симченко и Л.А. Белой.

Автор благодарен рецензентам за высказанные замечания и предложения, профессору Н.И. Алексеевскому – признательность за предоставленные ранее не публиковавшиеся материалы по тематике книги.

Большое спасибо за моральную и информационную поддержку специалистам возглавляемого А.М. Завгородним отдела экологии и гидрологии Института «Вологдаинжпроект», всегда проявлявшим благожелательный интерес к данной работе и делившимся своими соображениями по затрагиваемым в ней проблемам.

Автор будет признателен читателям за критические замечания и предложения, которые могут быть направлены в адрес издателя.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОСБОРА ОЗЕРА КУБЕНСКОГО

1.1. Местоположение и рельеф

Водосбор озера Кубенского, представляющий собой верхнюю часть бассейна р. Сухоны, занимает центральную часть Вологодской области и имеет сложную асимметричную форму. По широте он простирается почти на 200 км. Примерно такова же и его меридиональная протяженность.

Бассейн расположен в основном в пределах Вологодской возвышенности и характеризуется полого-волнистым рельефом. В его северной части, в верховьях главного притока озера – р. Кубена, там, где расположена Коношско-Няндомская возвышенность, рельеф более пересеченный, холмистый и увалистый. Непосредственно к озеру с северо-востока прилегают плоские озерно-ледниковые и озерные равнины. Восточнее озера расположена Прикубенская равнина, отличающаяся чередованием плоских территорий с моренными грядами. Северо-западная часть водосбора относительно мала по площади и занята в значительной мере Вологодской возвышенностью с отметками около 150–250 м, по которой проходит водораздел Белого и Каспийского морей. На юго-востоке водосбор озера отделяется от бассейнов других притоков реки Сухоны Оларевской грядой.

На северо-западе водораздельная линия выражена слабо, поскольку рельеф здесь определяется Пришекснинской низиной и пологой впадиной озера Воже. Из-за различия возможных вариантов проведения водораздельной линии и масштабов использованных карт величина площади водозабора озера, по данным различных источников, колеблется от 14400 км² [67] до 14700 км² [94] и даже до 15480 км² [119].

Котловина озера вытянута с северо-запада на юго-восток. Наиболее отчетливо впадина оконтурена горизонталью 120 м и имеет протяженность около 100 км и ширину около 20 км [67]. Склоны котловины, как и водосбора, асимметричны: пологие с восточной стороны и крутые с юго-западной. На них развиты береговые валы и террасы. Нижняя терраса почти до отметки 114 м затапливается весенним половодьем, заболочена. На ее северо-восточной части расположен ряд озер, в т.ч. Токшинские озера, дельта р. Кубена. Более высокие террасы переходят в окружающие озеро равнины.

Берега озера плоские, низкие, что определяет резкое изменение его морфометрических характеристик даже при небольших колебаниях уровня. Имеется несколько редакций зависимости площади W от уровня H , заметно отличающихся друг от друга.

В табл. 1.1. приведены ординаты кривых зависимости объема озера от отметки уровня воды, полученные в разное время на основе различного материала институтами «Гипроводтранс», «Союзводоканалпроект», «Гидропроект» (Ленинградское отделение), используемые Вологодским районом водных путей, построенные при участии автора по данным лоцманской карты [47] с учетом морфометрических особенностей юго-восточной части озерной котловины и наличия уклона водной поверхности во время меженных уровней.

Таблица 1.1

Ординаты кривых зависимости объема озера Кубенского от уровня

Отметка водной поверхности, м БС	Гипровод-транс	Союзводо-каналпроект	Гидропроект (Ленинградское отделение)	Вологодский район водных путей (Гипроречтранс)	Вологда-гипроводхоз
105,2			0,0		
105,42			8,4		
105,50			10,0		3,34
106,0			40,0		9,72
106,31		12,0	58,3		19,4
106,5		50,1	99,0		30,3
106,55		56,8	125,7	88,0	44,3
107,0	88,0	106,4	188,0	147,0	77,1
107,5	172,5	176,5	309,0	231,0	183,8
108,0	257,0	287,3	462,0	356,0	317,9
108,5	398,0	402,5	643,0	494,0	466,1
109,0	539,0	580,6	824,0	680,0	654,1
109,5	744,5	747,8	1025,0	886,0	874,6
110,0	950,0	1010,0	1226,0	1144,0	1266,0
110,5	1227,0	1288,0	1268,0	1421,0	
111,0	1504,0	1578,0	1718,0	1741,0	
112,0	2183,0	2256,0	2360,0	2424,0	
113,0		2833,0	3151,0	3188,0	
113,01		2962,0	3160,0	3197,0	
113,02		2970,0	3170,0	3205,0	
113,06		3003,0	3198,0		
114,0			4092,0		
115,0			5183,0		

Некоторые значения объемов по разным кривым отличаются в два раза и более, что хорошо видно на рис. 1.1. Особенно заметны эти различия в нижней части кривой, отвечающей меженным уровням озера.

Возможно, что они обусловлены и неучетом такой особенности озерной котловины, как наличие наклона ее дна в юго-восточную сторону. Это приводит к формированию уклона поверхности водного тела

озера к истоку р. Сухоны. Разница отметок уровня между д. Коробово и истоком (д. Прилуки) особенно велика во время зимней межени. Уклон водной поверхности юго-восточной части озера в это время соизмерим с уклонами Верхней Сухоны, что сказывается на величинах объема озера. Ниже (п. 3.5) рассмотрено влияние этого явления на условия эксплуатации водозабора для г. Вологды, расположенного в юго-восточной части озера.

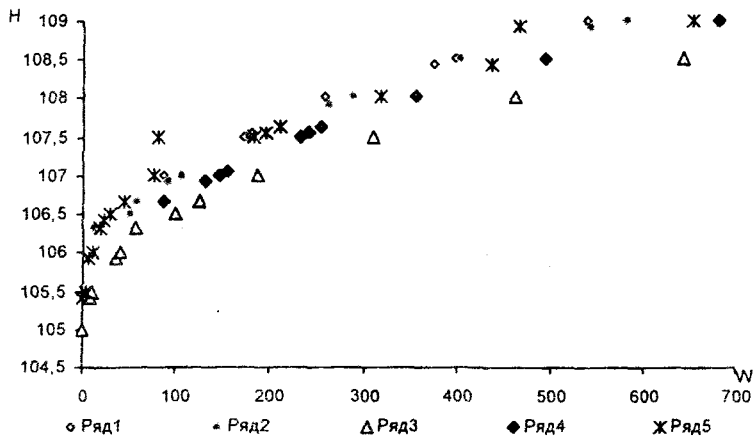


Рис. 1.1. Нижняя часть кривых зависимости объема озера (млн м³) от отметки уровня (м БС)

Наибольшие глубины приурочены к центральной его части. Если по исследованиям 1911 г. отмечались отдельные ямы глубиной до 10–13 м, то в лоцманской карте 1987 года издания ни на фарватере, ни в других частях озера не отмечено при НПУ = 109,42 м глубин более 4,5 м.

Не отмечены глубины более этой величины (даже в мае) и во время экспедиционных исследований Института озераведения в 1972–1974 гг.

Морфометрические особенности озерной котловины, возможно, объясняют и некоторые различия в оценке среднемноголетней площади озера по данным разных публикаций. Наиболее обоснованными представляются величина площади озера 400 км² и объем 1,02 км³ при среднемноголетнем уровне с отметкой 109,4 м, приведенные в работе Института озераведения [67]. Эта оценка хорошо коррелируется с величиной 407 км², приведенной в монографии [94], при средней глубине 2,5 м.

1.2. Геология и гидрогеология ¹

В геологическом отношении бассейн озера Кубенского расположен в северной части Восточно-Европейской платформы, на северо-западном крыле Московской синеклизы [27]. Котловина озера имеет эрозионно-тектоническое происхождение. При моноклинальном залегании пород осадочного чехла с общим падением к юго-востоку, в бортах котловины озера Кубенского прослеживаются дизъюнктивные тектонические нарушения.

Мощность осадочного чехла составляет около 2 км, несколько увеличивается к юго-востоку. Осадочные породы, залегающие под четвертичными образованиями, относятся к татарскому ярусу верхней Перми (уржумский горизонт, сухонская свита и северодвинский горизонт). Отложения сухонской свиты представлены карбонатно-терригенными породами. При общем слабом падении на юго-восток, отмечается незначительный уклон пластов к котловине озера. В северо-западной части бассейна это пески, песчаники, иногда загипсованные с прослоями доломитов, мергелей, известняков.

Отложения северодвинского горизонта также представлены карбонатно-терригенными образованиями, залегающими на отложениях сухонской свиты и перекрываемыми четвертичными породами. В центральной и юго-восточной частях – глины пестроокрашенные, мергели, алевролиты, песчаники с прослоями известняков и доломитов.

Дочетвертичные породы перекрыты четвертичными отложениями общей мощностью до нескольких десятков метров, мощность четвертичного покрова возрастает в озерной котловине в юго-восточном направлении, за пределами котловины – от возвышенностей к низинам. Сложный комплекс четвертичных отложений представлен преимущественно ледниковыми, озерно-ледниковыми, озерными, болотными образованиями; на водоразделах широко распространены полигенетические покровные отложения, в речных долинах – аллювий. Литологический состав четвертичных отложений – глинистые породы, часто с крупнообломочными включениями (морена), пески различного гранулометрического состава, торф, заторфованные глинистые и песчаные породы [98].

Среди стратиграфически выделяющихся разновозрастных горизонтов ледниковых эпох, представленных преимущественно моренными валунными суглинками, залегают межледниковые образования: озерные, озерно-аллювиальные пески, супеси, часто содержащие

¹ Параграф 1.2 написан при участии к.г.н. А.Н. Кичигина.

растительные остатки, торф. Межледниковые горизонты обычно наиболее обводнены и содержат подземные воды.

В озерной котловине зафиксированы террасы с абсолютными отметками тылового шва 114 м, 118 м и 125 м; менее четко выражены уровни 130 – 135 м, 140 – 145 м, последние формировались в условиях подпрудного ледникового водоема. Террасированные отложения представлены суглинками, супесями, песками с растительными остатками и заторфованными, торфом. Торф распространен в многочисленных болотах, представлен разновидностями низинных (в озерной котловине), переходных (на уступах террас) и верховых (на приводораздельных участках) болот. Причины заболачивания – избыточное увлажнение территории и затрудненность поверхностного стока вследствие малых уклонов земной поверхности.

В долинах рек, впадающих в озеро Кубенское, распространен пойменный и террасовый аллювий: супеси, пески, в пределах озерной котловины обычно заторфованные.

В гидрологическом отношении бассейн озера Кубенского располагается в пределах Московского артезианского бассейна [4]. Водовмещающими породами отложений сухонской свиты являются мергели, алевролиты, пески, слабо сцементированные мелкозернистые песчаники, реже – доломиты. Мощность водовмещающей толщи 1 – 40 м. Водоносный горизонт повсеместно напорный, величина напора изменяется от 10,5 м до 60 м, статические уровни на 0,7 – 33,5 м ниже дневной поверхности, пьезометрическая поверхность плавно повторяет современный рельеф. Водообильность сухонского водоносного горизонта невелика, удельные дебиты скважин 0,14 – 0,22 л/с. Преобладают пресные гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды с минерализацией 0,3 – 0,6 г/л, к линиям тектонических нарушений приурочены участки, где встречаются сульфатные и сульфатно-хлоридные воды с минерализацией до 3 – 6 г/л.

Водоносные отложения северо-двинского горизонта представлены глинистыми мелкозернистыми песками, залегающими прослоями мощностью от 2,5 до 11,8 м среди глинистых пород, алевролитов, известняков и песчаников. Подземные воды напорные, в Кубенской котловине глубина залегания уровня 7,5 – 5,6 м.

Пьезометрические уровни водоносных комплексов в отложениях сухонской свиты и северодвинского горизонта на отдельных участках близки, что свидетельствует о связи этих комплексов. Воды пресные гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией 0,4 г/л, в Кубенской котловине в связи с разгрузкой ниже залегающих водоносных комплексов наблюдается увеличение минерализации до 3 г/л.

Водоносные горизонты четвертичных отложений в целом имеют ограниченное распространение и небольшую мощность, слабую защищенность от поверхностных загрязнений. Мощность водоносного горизонта в отложениях одиновского межледниковья, представленных песками с гравием и галькой, супесями, колеблется от 3 до 42 м. Воды напорные, водообильность отложений сильно колеблется, дебиты скважин от 0,01–0,7 г/л.

Одиновский водоносный горизонт не имеет сверху выдержанного водоупора и объединяется с залегающим выше водоносным горизонтом в озерно-ледниковых и озерных отложениях валдайского возраста, который распространен почти повсеместно, выклиниваясь лишь на возвышенностях. Воды комплекса безнапорные, иногда обладают слабым напором до 10 м, водообильность изменчива, в целом низкая: удельные дебиты скважин 0,001 – 0,1 л/с. Воды пресные гидрокарбонатные, кальциевые, минерализация 0,3–0,9 г/л.

Одиновский и валдайский водоносные горизонты тесно связаны, образуя единый четвертичный водоносный комплекс. Его питание происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков, в меньшей степени за счет подтока вод из глубже залегающих горизонтов.

В соответствии с гидрологическим районированием, выполненным для Вологодской области Р.А. Филенко [119], водосбор озера частично принадлежит четверем из 23 выделенных ею на территории Вологодской области гидрологических районов (рис. 1.2).

Верхняя часть водосбора, до города Харовска, исключая бассейн р. Сямжена, относится к Вожего-Кубенскому району – четырнадцатому по [119]. Рельеф в основном определяется приподнятой пологохолмистой и волнистой равниной. Грунтовые воды здесь распространены спорадически. Их водообильность различна. Режим отличается непостоянством во времени. Имеются напорные воды межморенных отложений, залегающие на глубине 20–40 м и более.

Средняя часть водосбора, включая рр. Сить и Кихть, Сямжена верховье р. Уфтюга и часть водосбора р. Порозовица, относится к тринадцатому, Прикубенскому, району, рельеф которого определяется более плоскими увалистыми моренными равнинами. Грунтовые воды обычно связаны с аллювиальными отложениями речных долин. На остальной территории встречаются разрозненными линзами. Имеются подземные воды межморенных отложений.

Низовья р. Кубена, средняя и нижняя часть водосбора р. Уфтюга и часть бассейна между ними и р. Кихть, часть водосбора р. Порозовица относятся к Воже-Сухоно-Кубенскому району (11). Этому же району принадлежит узкая полоска вдоль западного и южного побережья

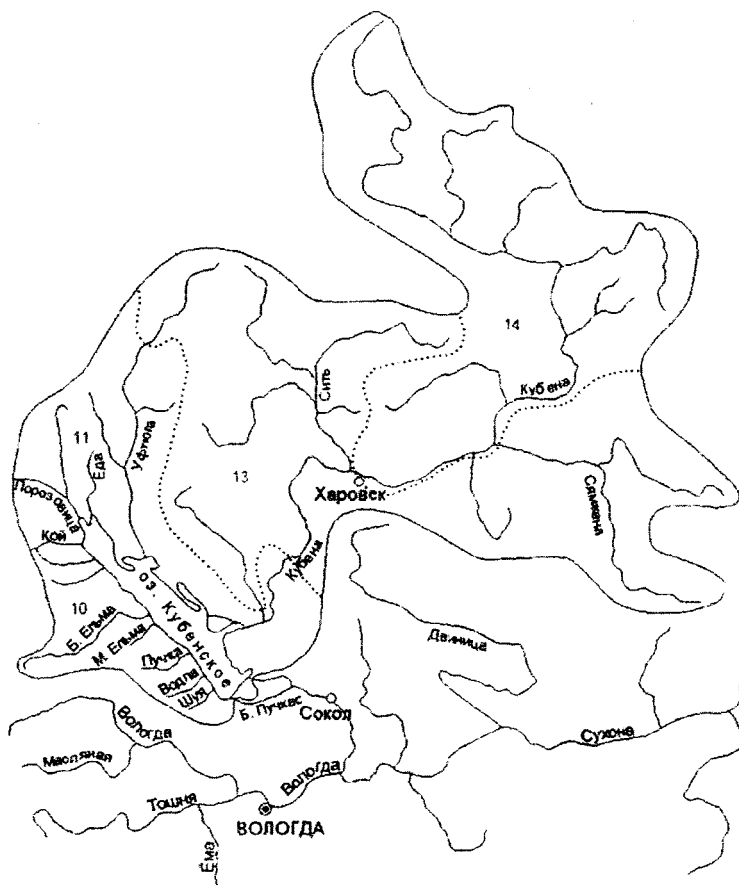


Рис. 1.2. Гидрологическое районирование бассейна озера
(14 – номера районов по Р.А. Филенко [119]).

озера. Его рельеф характеризуется развитием озерно-ледниковых и озерных равнин. Грунтовые воды и верховодка широко развиты, а в пределах пойм составляют единый водоносный горизонт. Для централизованного водоснабжения эксплуатируются подземные напорные воды межморенных и моренных отложений с дебетом 1–12 л/с [119].

Западная часть водосбора озера занимает северо-восточную часть Вологдо-Комельского (Грязовецкого) гидрологического района (10). Рельеф определяется волнистыми и увалистыми равнинами, включая всхолмленные территории с отметками 150–200 м и плоские низины. Грунтовые воды распространены спорадически и малообильны. Ресурсы подземных питьевых вод ограничены.

1.3. Гидрографическая сеть

Положительный водный баланс, особенности геологического строения и рельефа территории водосбора озера Кубенского обуславливают хорошее развитие гидрографической сети. По мнению ряда геологов, она была в основном сформирована в послеледниковый период. По некоторым свидетельствам [98, 99, 119], озерно-ледниковые водоемы покрывали около трети Вологодской области. Озеро Кубенское является остаточным водоемом, и гидрография его водосбора в значительной мере обязана своим современным видом процессам перехвата древней Западной Сухоней водосборной площади древней Восточной Сухоны, что привело к спуску древнего озера, занимавшего ранее Кубено-Сухонскую низину.

В настоящее время в озеро впадают несколько десятков, по разным публикациям от 30 до 90, рек и ручьев. Девять из них имеют длину более 10 км.

Наибольшая доля водосбора озера, более 76%, дренируется р. Кубена, впадающей в его юго-восточную часть. Свое начало она берет из Верхне-Кубенского озера, расположенного на Онего-Кубенском водоразделе в пределах Архангельской области. Ее основные притоки – рр. Сямжена и Сить превосходят по площади водосбора второй по величине приток озера – р. Уфлюга.

Густота речной сети бассейнов рек на водосборе озера в среднем составляет $0,35 \text{ км/км}^2$, изменяясь от $0,5 \text{ км/км}^2$ в верхнем течении р. Кубена до $0,25 \text{ км/км}^2$ – на слабо дренируемых озерно-ледниковых и озерных равнинах, примыкающих непосредственно к озеру.

Водоразделы водотоков зачастую низкие, плоские, плохо выраженные. Их истоки обычно расположены довольно близко друг от друга.

Характер течения рек и ручьев, как правило, спокойный. Долины в их верховьях слабо разработаны. Их склоны пологи. Эти закономерности нарушаются в местах с приповерхностным залеганием коренных пород. Наиболее полная характеристика гидрографической сети водосбора озера опубликована в справочнике [94] и работе В.А. Кирилловой [48]. Ниже (табл. 1.2.) приведена таблица из этой работы с небольшими дополнениями.

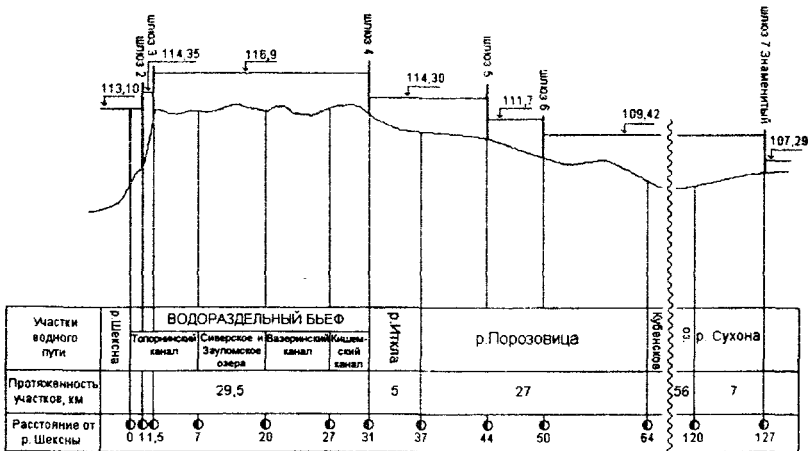
Река Порозовица, впадающая в озеро с севера, является частью северного склона Северо-Двинской шлюзованной системы, ведущей из бассейна р. Волги в бассейн Северной Двины. Система включает каналы, озера и реки. Ее протяженность 127 км.

Построенная в 1828 г., она дважды реконструировалась (в 1882–1885 гг. и 1916–1920 гг.). В 1964 г., после строительства Волго-Балтийского водного пути, шлюз № 1 Северо-Двинской системы был разобран. В настоящее время в системе эксплуатируется шесть шлюзов.

**Некоторые гидрографические характеристики
основных притоков озера Кубенского**

Водосбор, водоток	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Озерность	Заболо- ченность	Лесистость
			%		
Кубена	368	11000	1	3	86
Уфтога	117	1280	1	3	63
Порозовица	27	980	3	2	76
Большая Ельма	650	338	0	0	62
Едка	21	106	0	2	98
Шуя	17	46,3	0	0	44
Водла	16	31,8	0	0	38
Дмитровка	13	42,3	0	0	43
Десялевка	11	28,7	0	0	69
Пучка	9	46,0	0	7	54
Кой	8	54,0	0	2	70
Малая Ельма	6	14,0	0	0	22
Межбассейновый водосбор:					
- западное побережье		190,0	0	1	47
- восточное побережье		283,0	0	9	74
Общий водосбор озера		14440,0	1	3	81

Шекснинский склон системы, состоящий из Топорнинского канала, имеет протяженность всего 1,5 км. Канал соединяет р. Шексна с оз. Сиверское (рис. 1.3.) [43].



**Рис. 1.3. Схематичный продольный профиль
Северо-Двинской шлюзованной системы**

Шлюзы № 2 и 3 входят в состав гидроузла № 1. Между шлюзами № 3 и 4 водный путь проходит через водораздельный бьеф, включающий ряд озер (Сиверское, Покровское, Зауломское, Вазеринское, Кишемское и Воспяковское). Озера соединены каналами (Кузьминский, Первый Вазеринский, Второй Вазеринский, Кишемский). Покровское озеро соединяется с Зауломским рекой Поздышка. Длина водораздельного бьефа составляет 30 км.

Северный (Кубенский) склон системы, протяжением 98,5 км, включает в себя низовье р. Иткла, Благовещенское озеро и р. Порозовица. Шлюз № 4 (гидроузел № 2) расположен на р. Иткла. На р. Порозовица действуют шлюзы № 5 (гидроузел № 3) и № 6 (гидроузел № 4), по которым водный путь проходит в оз. Кубенское.

Завершает систему семикилометровый участок верховья р. Сухоны от ее истока до шлюза № 7 («Знаменитый»).

Все шесть шлюзов Северо-Двинской системы деревянные, кражевые, на свайном основании. Камера шлюза «Знаменитый» имеет откосные стены и продольные деревянные эстакады. Полезный размер камер в плане 155,4 x 12,4 м. Ворота деревянные, двухстворчатые, с водопропускными отверстиями для наполнения и опорожнения камеры.

Шлюзы № 2–6 однокамерные, с промежуточной головой, что позволяет при шлюзовании малых судов пользоваться половиной камеры, экономя воду. Шлюз «Знаменитый» – однокамерный.

Питание водораздельного бьефа системы происходит за счет боковой проточности и зарегулированного стока р. Иткла. Этого недостаточно для бесперебойной работы системы в маловодные годы и создает напряженность в обеспечении гарантированных глубин судового хода.

Зимой водораздельный бьеф перекрывается Топорнинскими и Кишемскими заградительными воротами, расположенными в верхних бьефах шлюза № 3 и 4. Вода ниже этих ворот на зиму спускается. Плотины на шлюзах № 4 – 7 на зиму разбираются. Весной и осенью суда на гидроузле № 7 пропускаются через судоходную плотину, а летом – через шлюз.

Собирается плотина гидроузла «Знаменитый» ежегодно на спаде уровней, почти на гребне весеннего половодья, создавая подпорный горизонт и объем воды, срабатываемый в период летней межени в виде попусков в целях поддержания гарантированных глубин на р. Сухоне.

Из озера р. Сухона вытекает двумя рукавами. Один из них, на котором расположен шлюз «Знаменитый», называется собственно

р. Сухона, а второй, заросший водной растительностью, мелководный, многорукавный в своем начале и извилистый, – Большой Пучкас. Он принимает несколько мелких притоков и соединяется с р. Сухоной примерно на полкилометра выше плотины гидроузла «Знаменитый».

Многочисленные притоки озера, впадающие с западной стороны, дренируют всего около 5% его водосбора. Они относительно короткие. Длина самого крупного из них – р. Большая Ельма – составляет 60 км. Остальные не превышают 20 км.

Поскольку гидрографическая сеть бассейна озера была сформирована, как отмечено выше, в послеледниковый период, глубина вреза ручьев и рек, как правило, невелика и даже самые крупные из них не прорезают всей толщи четвертичных отложений [67].

1.4. Климат

Водосбор озера Кубенского расположен в атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса. Его климат характеризуется умеренно теплым летом и умеренно холодной зимой. Погодные условия определяются относительно малым количеством солнечной радиации, заметным воздействием северных морей и преобладанием западного переноса воздушных масс.

Подробные сведения о климате района и его особенностях приведены в [94, 111] и [11]. Результаты наиболее полного анализа климатических условий района озер Кубенское, Лача, Воже за 2–3 десятилетия содержит работа [41].

Частая смена воздушных масс в результате прохождения циклонов со стороны Атлантики, поступления воздушных масс арктического происхождения или континентального воздуха со стороны Сибири обуславливают большую неустойчивость погоды в течение всего года. Примерно в 55% случаев она определяется влиянием циклонов и в 45% случаев – антициклонов [49].

В зимнее время перемещения северо-западных и западных циклонов влияют на погоду в зависимости от положения их траектории. Если они проходят севернее, то на территории наблюдается относительно теплая погода со снегопадами и метелями. Если траектория циклона располагается южнее, то может наступить длительное похолодание. Иногда на водосбор озера проникают южные циклоны, что может привести к приходу теплых воздушных масс и сильным снегопадам.

Если имеет место вторжение холодного антициклона, то устанавливаются сильные морозы, особенно когда поступает воздух с Сибири или с Северного Ледовитого океана.

Весной, на фоне преобладания циклональной деятельности, несколько увеличивается роль скандинавских и азорских антициклонов. Уменьшается вероятность наступления сибирских антициклонов, приносящих холодные воздушные массы и морозы.

Западные и северо-западные циклоны обуславливают умеренное тепло и осадки. Южные циклоны могут содержать настолько теплые воздушные массы, что уже в марте происходит кратковременное потепление до 8–10°C.

Летом преобладающие по частоте западные циклоны смещаются через Прибалтику и доставляют влажные и прохладные воздушные массы. Скорость перемещения циклонов несколько меньше, чем в зимний период. Увеличивается вероятность стационарных циклонов с облачной ненастной погодой и осадками. Жаркая погода с ливнями и грозами часто устанавливается при прохождении южных циклонов. Под влиянием азорских, скандинавских и сибирских антициклонов может формироваться жаркая сухая погода.

Резкое понижение температуры, до заморозков, может наблюдаться при вторжении холодных карских антициклонов.

С наступлением осени перемещение барических образований становится более быстрым. При этом западные и северо-западные циклоны приносят прохладную дождливую погоду, южные циклоны – тепло и часто – дожди. Азорские и сибирские антициклоны отличаются появлением теплых, солнечных дней с прохладными ночами, туманами и заморозками. Вторжение антициклонов с Карского и Баренцева морей в это время года приводит к резкому похолоданию и раннему наступлению зимы.

Изменение параметров приземного барического поля носит сезонный характер. Средние годовые значения давления довольно устойчивы. Так, например, для метеостанции г. Вологды, барометр которой расположен на отметке 117,9 м, среднегодовое давление равно 1000,0 гектопаскаля (гПа). Международной единицей измерения атмосферного давления является паскаль (Па). Соотношение единиц измерения следующее: 1 мбар = 0,75 мм ртутного столба = 100 Па = 1 гПа. Приведенная к уровню моря величина составляет 1014 гПа. За период наблюдений отклонения от этой величины не превышают 4 гПа. Сезонные изменения более значительны. В период с октября по май отмечается повышенное давление с максимумом в ноябре (1001,9 гПа). Пониженное давление имеет место с июня по сентябрь с минимумом в июле (996,6 гПа) [49].

Перемещение барических образований значительно влияет на абсолютные величины давления. Если амплитуда его среднегодовых

значений для метеостанции Вологды составила за период наблюдений 7,4 г Па, то разница между экстремальными значениями давления зимой – более 100 г Па, а летом – 56 г Па. Средняя суточная амплитуда не превышает 0,4 г Па зимой и 0,6 г Па летом. Однако при прохождении глубоких циклонов перепад давления за сутки может достигать 30–35 г Па.

Один из важных факторов существования экосистемы озера – ветровой режим, обуславливаемый влиянием общей циркуляции атмосферы, выражающимся как в сезонной смене преобладающих направлений, так и в скоростях.

По данным станций Вологда и Коробово, ежегодно преобладают ветры юго-западного и западного направления. Они повторяются чаще всего в холодное время года (сентябрь–апрель).

В период с мая по август значительную роль играют северо-западные и северные ветры, но при этом велика повторяемость и западных направлений. Ветры восточного направления наблюдаются редко.

На протяжении года в районе озера преобладают ветры со скоростью 0–5 м/с. Их повторяемость достигает 75%. Наиболее сильными бывают ветры южных румбов. Восточные и северо-восточные ветры значительно слабее. В то же время во все месяцы года могут наблюдаться ветры со скоростью более 11 м/с, хотя их количество в среднем не превышает 5% [67].

В годовом разрезе средние месячные скорости изменяются по станции Вологда от 3,4 до 5,1 м/с, а по станции Коробово – от 4,0 до 5,1 м/с (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Средние месячные и годовые скорости ветра (м/с)
за многолетний период

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Коробово	5,0	4,7	4,8	4,3	4,6	4,4	4,0	4,0	4,7	5,0	5,1	5,0	4,6
Вологда	5,1	4,9	5,0	4,4	4,5	4,1	3,4	3,4	3,9	4,6	5,0	5,1	4,5

Среднее число дней с сильным ветром (более 15 м/с) за год составляет по станции Коробово 4 дня, а по станции Вологда – около 9 дней. Чаще всего они наблюдаются в декабре–марте.

Непрерывная продолжительность ветров разных скоростей зависит от сезона. Если зимой наибольшую продолжительность имеют ветры скоростью 5 м/с и более, то в период открытой воды – 4 м/с и менее. Внутрисуточные изменения скорости ветра выражаются в ее увеличении в дневные часы и уменьшении ночью.

Термические условия на водосборе озера, как и на всем Северо-Западе, изменяются с запада на восток и с юга на север, что заметно сказывается на усилении суровости зим в этих направлениях. В период интенсивного развития жизни в озерах и водотоках температурные условия на значительной территории Северо-Запада имеют много общего.

Об изменении среднегодовой температуры воздуха на территории можно судить по данным метеостанций Вологда, Каргополь, Котлас, находящихся южнее, севернее и северо-восточнее водосбора озера. Если в Вологде ее величина составляет 2,4°C, то в Котласе всего 1,2°C. Изменчивость среднемесячной температуры воздуха довольно значительна.

Среднеквадратические отклонения этих величин по ст. Вологда и Каргополь близки между собой (табл. 1.4), что говорит об однообразии изменения температуры воздуха на значительной территории, прилегающей к водосбору. В то же время даты наступления сезонов на юго-западе и северо-востоке, характеризующиеся датами перехода средних суточных температур через 0°C, 5°C и 10°C, заметно отличаются (табл. 1.5).

Таблица 1.4

Средняя месячная температура воздуха (t)
и среднеквадратические отклонения (σ) за многолетний период

Станция	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Вологда	t	-11,6	-11,1	-6,1	2,4	9,7	14,6	17,2	15,0	9,2	2,6	-3,6	-9,1	2,4
	σ	3,9	3,9	2,5	2,4	2,4	1,9	1,8	1,6	1,4	2,2	2,4	3,8	1,0
Каргополь	t				1,0	8,0	14,0	15,8	14,2	8,3	1,57	-4,2		
	σ				2,3	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	2,2	2,6		
Котлас	t	-14,0	-13,0	-7,4	1,4	8,3	14,3	17,2	14,6	8,4	1,4	-5,5	-11,4	1,2

Таблица 1.5

Даты перехода средних суточных температур воздуха через 0°C, 5°C, 10°C

Станция	Весна			Осень		
	0°C	5°C	10°C	10°C	5°C	0°C
Вологда	7. IV	25. IV	18. V	11. IX	2. X	28. X
Котлас	8. IV	30. IV	24. V	7. IX	30. IX	22. X
Коробово	6. IV	27. IV	20. V	11. IX	4. X	28. X

Сдвиги перехода изменяются от одного дня для среднесуточной температуры 0°C весной до шести дней для этой же температуры осенью.

Самая высокая средняя месячная температура воздуха обычно наблюдается в июле, а самая низкая – в январе.

В суровые зимы средняя суточная температура может понижаться от -35 до -45°C . В феврале–марте идет медленное повышение температуры. Наиболее интенсивно теплеет в апреле. В течение первой его декады наступает устойчивый переход через 0°C . Весной, с переходом среднесуточной температуры воздуха через 5°C , начинается вегетация растений, в среднем на водосборе озера – в последней пятидневке апреля. Интенсивно растет температура воздуха в мае. Процесс активной вегетации растений наступает в период, связанный с переходом среднесуточной температуры воздуха через 10°C , наблюдаемым в конце второй декады этого месяца.

Самый жаркий месяц – июль. Однако в отдельные его дни среднесуточная температура может понижаться до 5°C или повышаться до 30°C .

В среднем несколько более пятидесяти дней в году среднесуточная температура превышает 15°C , а около десяти дней составляет 20°C и выше.

Понижение среднесуточной температуры начинается в августе. Во второй его декаде она опускается ниже 15°C . Во второй декаде сентября – ниже 10°C . Средняя продолжительность периода с температурой 10°C и выше составляет 110 дней. В начале октября суточная температура становится ниже 5°C , а в его конце переходит через 0°C . Безморозный период в среднем длится 100 – 120 дней. В конце ноября наступают устойчивые морозы, а в двадцатых числах декабря среднесуточная температура воздуха переходит через -10°C , но как в ноябре, так и в декабре вероятны среднесуточные температуры -30°C – -40°C .

Суточный ход температуры воздуха с амплитудой около 9°C наиболее сильно выражен в июле–августе. В ноябре и декабре суточная амплитуда не превышает $1,5^{\circ}\text{C}$.

Теплообеспеченность растений во время вегетационного периода может быть оценена суммой положительных среднесуточных температур. Для Вологды за многолетний период она составляет 2125°C . Это значительно больше суммы отрицательных температур, равной 1285°C , характеризующей суровость зимнего периода [49]. Количество тепла, получаемое растениями в среднем за многолетие в период со среднесуточной температурой выше 5°C , характеризует теплообеспеченность растений за время вегетации. Оно составляет для Вологды 2010°C , что несколько выше величины 1600°C , служащей границей, разделяющей водосбор по теплообеспеченности на два района – южный и северный. Эта изолиния проходит вблизи г. Харовска [5].

В соответствии с термическим режимом воздуха изменяется температура почвы, подчиняясь влиянию прихода солнечной радиации,

характера растительности и рельефа, увлажненности, механического состава, структуры почвы. Наличие, высота и состояние снежного покрова оказывают на нее влияние в период отрицательных температур воздуха.

По данным [49] для г. Вологды, средняя годовая температура поверхности почвы составляет 3°C. Зимний период с отрицательной среднемесячной температурой продолжается с ноября (-4°C) по март. Минимальное среднемесячное значение приходится на январь и февраль (-12°C) при наблюдаемом минимуме -51°C. В марте среднемесячная температура почвы повышается до -7°C, а в апреле, со сходом снежного покрова, с повышением продолжительности солнечного сияния и солнечной радиации, достигает положительных значений (1°C). С мая по сентябрь она составляет 10–20°C. При этом максимальные средние величины в дневные часы могут превышать 50–52°C, а минимальные, даже в июне и августе, могут падать до -5 и -3°C.

Единственным месяцем, в котором не наблюдались заморозки на почве, является июль. По среднемноголетним данным, заморозки на поверхности почвы начинаются 9 сентября и оканчиваются 30 мая.

Безморозный период на почве составляет в среднем 101 день.

Годовой ход температуры почвы с глубиной характеризуется уменьшением амплитуды и абсолютных минимальных и максимальных величин.

Средняя из максимальных глубин промерзания почвы составляет 67 см, а так называемая нормативная глубина промерзания грунтов, получаемая осреднением из максимальных глубин промерзания под лишенной снега поверхностью, для района Вологды – 145 см. Глубина промерзания зависит как от температуры воздуха, так и от высоты снежного покрова.

Термический режим водной массы озера в безледоставный период обусловлен в основном ходом температуры воздуха, и ход температуры воды на ее поверхности синхронно повторяет его, но с несколько меньшей амплитудой (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Температура воды озера Кубенского – д. Коробово (у берега),
средняя за период наблюдений

Средняя декадная			Средняя месячная				Средняя декадная								
апрель			май			июль	июль	август	сентябрь	октябрь			ноябрь		
1	2	3	1	2	3					1	2	3	1	2	3
	0,3	1,7	6,3	9,4	12,7	16,1	18,7	16,8	10,0	5,9	3,8	2,1	2,0	0,2	

Уменьшение толщины ледяного покрова на озере начинается обычно с первой декады апреля. Начало разрушения ледяного покрова отмечается при переходе температуры через $0,2^{\circ}\text{C}$ (в среднем 15 апреля), а очищение ото льда – при ее переходе через 4°C , что чаще всего наблюдается 4 мая. С этой даты наступает летнее прогревание озера. К середине мая поверхностный слой воды нагревается до $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$. В июне–августе средняя месячная температура превышает $15\text{--}18^{\circ}\text{C}$. Максимальная суточная температура наблюдается обычно в июле – начале августа и достигает $21\text{--}26^{\circ}\text{C}$, а иногда и $27\text{--}29^{\circ}\text{C}$.

Постепенно вода начинает охлаждаться в августе, переходя через $0,2^{\circ}\text{C}$ в первой – второй декаде ноября.

Распределение температуры воды по поверхности озера отличается однородностью. Термические разрезы, выполненные при экспедиционных исследованиях, не выявили каких-либо резких различий в термическом режиме прибрежных районов озера и его центральной части [67].

Различие между температурами воды прибрежной полосы и открытой части озера в среднедекадных величинах не превышает $0,5\text{--}1^{\circ}\text{C}$. Оно более заметно весной и осенью [94].

Из-за небольшой глубины озера разница в температурах воды на поверхности и у дна в период нагревания не превышает $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$. В результате, после прохождения максимума температуры в поверхностном слое, это часто приводит озеро в состояние, близкое к гомотермии, когда разница температур по вертикали не превышает нескольких десятых долей градуса. Дальнейшее охлаждение воды и появление ледяного покрова приводит к установлению обратной термической стратификации.

Первые ледяные образования на озере появляются через несколько дней после перехода температуры воздуха через ноль. На мелководье в прибрежной полосе появляются ледяные кристаллы и сало. Образуются и растут забереги.

Если погода морозная и безветренная, забереги растут по направлению к центру озера и в течение 1–5 суток образуется ледостав. При ветреной погоде и возвратах тепла устойчивый ледостав может образовываться лишь через 20–30 дней после первого появления берегов. Средние сроки появления ледяных образований – конец октября.

Льдом озеро, как правило, покрывается в конце октября – начале ноября, после чего наблюдается интенсивное его нарастание. При значительных морозах и отсутствии снега на льду его толщина к началу января может достичь 30–40, а иногда и более 50 см. Приращение толщины льда продолжается до конца марта – начала апреля, образуя

покров в среднем до 70, а иногда и 80 см толщиной и более. В суровые и маловодные зимы мелководные части озера промерзают до дна, чему способствует и снижение уровня воды в течение зимы.

Ледяной покров на озере бывает чаще всего ровным, но разделяется на большие части несколькими трещинами, положение которых в плане год от года несколько меняется в зависимости от условий замерзания и особенностей ветрового режима.

Максимальная толщина снега на льду составляет 20–40 см, и под его тяжестью лед прогибается, в результате чего вода неоднократно за зиму выходит на лед и при ее замерзании образуется «снежный лед» – наслуд.

Продолжительность ледостава обычно 150 – 180 дней.

В конце марта – начале апреля уровень озера достигает минимума, что приводит на значительной площади к оседанию льда на дно. Для среднемноголетних условий гидрологического режима, при снижении уровня за период ледостава на 69 см и толщине льда 70 см, по оценке [67], площадь озера, занятая водой к моменту начала половодья, а то и значительно раньше, составит 70% от его площади на начало ледостава. При этом 21% площади занято льдом, лежащим на дне, и 9% – осушка озера от зимы к весне. При использовании кривой зависимости площади водосбора от уровня, построенной Институтом «Гидропроект» (см. п. 1.1, табл. 1.1), получена оценка площади льда, лежащего на дне, порядка 80 км² при площади озера по нижней кромке льда 262 км².

На наш взгляд, эта оценка завышена из-за неучета наличия значительного уклона водной поверхности озера между его северо-западной частью и истоком р. Сухоны. В некоторые зимы юго-восточная часть озера превращается в узкий тальвег, по которому сток рр. Кубена, Уфтуга и других более мелких притоков достигает р. Сухоны (см. рис. 1.6). Такое положение усугубляет сложности с работой водозабора для снабжения водой областного центра, находящегося между рукавами притока Б. Пучкас и истоком р. Сухоны на относительно мелководной части озера (см. п. 3.5).

Водосбор озера расположен в зоне достаточного увлажнения. Среднемноголетние величины годовых осадков, выпадающих на его территорию, составляют, с учетом поправок на смачивание и выдувание, несколько более 800 мм. Непосредственно на поверхность озера за год выпадает 766 мм осадков [41].

Их распределение по месяцам, рассчитанное в этой же работе, и многолетние средние величины осадков, рассчитанные по ближайшим метеостанциям с длительным периодом наблюдений, приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Внутригодовое распределение осадков, выпадающих на поверхность оз. Кубенского и на ближайших метеостанциях

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Поверхность оз. Кубенского												
60	46	48	43	57	78	83	82	78	65	60	66	766
д. Коробово												
53	42	42	75	51	66	72	72	67	55	52	59	666
г. Сокол												
66	48	52	46	60	84	88	87	86	69	65	69	820
г. Вологда												
53	41	44	40	53	74	76	75	72	58	52	64	706

Среднее многолетнее количество осадков вычислено для водно-балансовых расчетов по показателям 11 постов и станций, расположенных на территории, прилегающей к озеру, и увязано со стоком и испарением.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Основная их часть (60–70%) приходится на теплый период года. Минимум осадков наблюдается в феврале–марте, максимум – в июле–августе.

Число дней в году с осадками 0,1 мм и более составляет в среднем 200–210, число дней с осадками 10 мм и более – 9–10. Дни с осадками 20 мм и более встречаются не каждый год, и их количество редко превышает 2. Суточные максимумы осадков чаще всего формируются за счет ливневых дождей, приуроченных к прохождению фронтов, и достигают 60–80 мм. В среднем за год наблюдается 180–200 дней с осадками – с максимумом в декабре–январе (около 20 дней) и минимумом в апреле–мае (около 12 дней). Продолжительность выпадения осадков в течение года по ст. Вологда составляет 1608 часов [49].

Осадки ливневого типа преобладают летом. Зимой вероятность их мала. В целом за год в среднем бывает более 80 дней с жидкими осадками, несколько более 30 дней – со смешанными и около 65 дней – с твердыми.

Твердые осадки формируют снежный покров, который является основным источником запасов влаги в почве к началу вегетации растений, определяет объемы весеннего половодья, гидрологический режим водотоков и водоемов.

Снежный покров на водосборе озера появляется в конце сентября – начале октября. Под воздействием временных потеплений и выпадающих жидких осадков этот снег обычно стаивает. Устойчивый

снежный покров образуется во второй – третьей декаде октября. Устойчивым называется снежный покров, который лежит не менее месяца – с перерывами не более трех дней подряд или в общей сложности.

Максимальной высоты снежный покров достигает во второй – третьей декадах марта. На защищенных лесом участках она составляет в среднем более 70 см, на полевых – 20–40 см. В табл. 1.8 приведены характерные даты появления и схода снежного покрова по ст. Вологда (Прилуки), расположенной примерно в 20 км юго-западнее озера, и ст. Коробово.

Таблица 1.8

Даты появления и схода снежного покрова на открытом участке

Число дней со снежным покровом	Появление снежного покрова			Образование устойчивого снежного покрова			Разрушение устойчивого снежного покрова			Сход снежного покрова		
	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя
Вологда - Прилуки												
156	24 X	4 X	15 XI	21 XI	1 XI	19 XII	13 IV	25 III	30 IV	17 IV	30 III	2 V
ст. Коробово												
160	27 X	4 X	27 XI	19 XI	26 X	19 XII	17 IV	25 III	2 V	20 IV	1 IV	12 V

Разрушение снежного покрова происходит интенсивнее, чем его образование. В среднем устойчивый снежный покров разрушается в начале второй декады апреля, сходит на 4-5 дней позже.

Зимние осадки распределяются неравномерно. Их большая часть приходится обычно на первую половину зимы. К концу ноября на открытых участках высота снега достигает более 10 см. Наибольшая высота – в третьей декаде марта. К этому времени приурочена и максимальная величина запаса воды в снеге (табл. 1.9). Плотность в конце периода с устойчивым снежным покровом превышает 0,30 г/см³.

Таблица 1.9

Высота снежного покрова, плотность снега и запас воды в снеге (ст. Вологда, Молочное) [49]

I			XII	I	II	III	IV		
1	2	3					1	2	3
Высота по результатам снегосъемки, см									
•	5	11	21	29	35	39	25	•	•
Плотность, г/см ³									
•	•	0,16	0,18	0,21	0,24	0,30	0,33	•	•
Запас воды в снеге, мм									
•	•	20	38	62	88	115	89	•	•

Примечание. Точка (•) означает, что снежный покров наблюдался менее чем в 50% зим.

Промерзание почвогрунтов, как отмечалось выше, начинается в конце октября – начале ноября. Если в теплые зимы глубина промерзания не превышает 30–40 см, то в особенно суровые зимы может достигать 100–120 см и более. Максимальные ее величины наблюдаются, как правило, в марте. Полное оттаивание происходит на большей части водосбора в первой декаде мая.

Для исследования закономерностей, существующих между приходом и расходом воды за какой-либо промежуток времени в пределах водосбора, озера или иного водного объекта, используется метод водного баланса, являющегося одним из частных способов применения закона сохранения материи.

Этот метод в форме уравнения водного баланса позволяет проводить сопоставление отдельных компонентов, формирующих водный режим озера. Взаимно увязывая приходные и расходные части баланса, их составляющие, можно установить степень влияния каждой из них, а также выявить вероятные ошибки измерений, оценить точность результатов.

Известно несколько опубликованных вариантов водного баланса оз. Кубенского. Некоторые из них приведены в табл. 1.10. Первые результаты по этому вопросу были опубликованы А.Г. Прониным [90]. Он рассчитал водный баланс озера за период 1881–1993 гг., отнеся его составляющие к площади озера $F = 407 \text{ км}^2$.

Таблица 1.10

Водный баланс озера Кубенского за многолетние периоды

Приход	Объем, км ³	Слой, мм	%	Расход	Объем, км ³	Слой, мм	%
<i>Период 1881 - 1963 гг., F=407 км² [90]</i>							
Приток	4,096	10063	92,9	Сток из озера	4,194	10305	95,1
Осадки	0,312	768	7,1	Испарение	0,214	526	4,9
Сумма	4,408	10831	100	Сумма	4,408	10831	100
<i>Период 1880 - 1966 гг., F=407 км² [94]</i>							
Приток	4,50	11056	93,8	Сток из озера	4,22	10368	88,0
Осадки	0,297	730	6,2	Испарение	0,211	518	4,4
Сумма	4,797	11786	100	Невязка	0,366	899	7,6
				Сумма	4,797	11786	100
<i>Период 1951 - 1973 гг., F=400 км² [57]</i>							
Приток	4,101	10252	93,6	Сток из озера	4,213	10532	96,2
Осадки	0,280	700	6,4	Испарение	0,168	420	3,8
Сумма	4,381	10952	100	Сумма	4,381	10952	100
<i>Период 1880 - 1973 гг., F=400 км² [57]</i>							
Приток	4,278	10695	93,2	Сток из озера	4,415	11043	96,3
Осадки	0,307	768	6,8	Испарение	0,170	420	3,7
Сумма	4,585	11463	100	Сумма	4,585	11463	100

Приходная часть баланса составила $4,408 \text{ км}^3$, из которой $4,096 \text{ км}^3$ – приток в озеро, а $0,312 \text{ км}^3$ – осадки на его поверхность. В расходной части $4,194 \text{ км}^3$ (95,1%) приходится на сток р. Сухоны и $0,214 \text{ км}^3$ – на испарение. Общий приход и расход равны между собой.

Водный баланс озера, опубликованный в [94], выполнен для осредненного года без указания периода осреднения. Поскольку норма годового стока по р. Сухоне, принятая в расчете, вычислена за 1880 – 1966 гг., с восстановлением величин годовых расходов воды за пропущенные годы, условно можно принять этот период за расчетный. Элементы водного баланса отнесены к площади водного зеркала, равной 407 км^2 . Баланс имеет невязку объемом $0,366 \text{ км}^3$. В [94] указано, что эти данные носят ориентировочный характер из-за недостаточной точности определения всех составляющих, кроме стока из озера по р. Сухоне, который оценен величиной $4,22 \text{ км}^3$ (88%).

Наиболее подробно водный баланс озера и его составляющие рассмотрены Т.И. Малининой [57]. На основе наблюдений за стоком р. Сухоны, имеющих начало в 1880 г., были выделены внутривековые циклы водности, за один из которых рассчитаны величины водного баланса отдельно для маловодной фазы, многоводной фазы и за весь период 1951–1973 гг. (табл. 1.11).

Средняя многолетняя величина притока в озеро за этот период определена В.А. Кирилловой [48] и составила $4,101 \text{ км}^3$ (93,6%). При этом сток р. Кубена получен по результатам наблюдений, а приток с остальной части водосбора – по графикам связи. По фактическим данным определен сток из озера по р. Сухоне. Он составил $4,213 \text{ км}^3$ (96,2%). Осадки, выпавшие на поверхность озера, были рассчитаны по данным наблюдений десяти метеорологических станций с введением всех необходимых поправок. Их средняя многолетняя величина составила $0,280 \text{ км}^3$ или 6,4% приходной части баланса.

Величина испарения с водной поверхности получена по формуле ГГИ (1969) в объеме $0,168 \text{ км}^3$, что составляет 3,8% от расходной части баланса.

Отметив, что цикл колебаний увлажненности с 1951 по 1973 гг. является внутривековым и сам расположен в маловодной фазе векового цикла, Т.И. Малинина использовала возможность, предоставленную имевшимися наблюдениями за осадками и стоком, и рассчитала водный баланс за длительный промежуток времени (93 года), который включает два внутривековых цикла увлажненности. Приходная часть водного баланса в этом случае составила $4,585 \text{ км}^3$. При этом приток в озеро был получен как остаточный член уравнения водного баланса ($4,278 \text{ км}^3$), многолетний сток из озера – по фактическим

Таблица 1.11

Гидрологическая изученность района водосбора оз. Кубенского

Название реки	Название (местоположение поста, станции)	В чем ведении находится или находился	Расстояние от устья, км (площадь зеркала, км ²)	Площадь водосбора, км ²	Период действия		Высота нуля графика		Период, за который имеются данные наблюдений над:					
					открыт	закрыт	высота, м	система высот	уровнем воды	темпера-турой воды	толщиной льда	стоком воды	стоком наносов	химическим составом
Сухона	д. Прилуки	ВГВХ	557	14300	1.08.1985	31.12.1987	107,21	БС	1985-1987	-	-	-	-	-
Сухона	шл. "Знаменитый", верхний бьеф	ВСРП	553	15000	13.09.1876	дейст.	107,02	БС	1876 - 1992	1936, 1938 1963 - 1992	1932 1936, 1937 1939 - 1994	-	-	-
Сухона	шл. "Знаменитый", верхний бьеф	ВСРП	553	15000	13.09.1876	дейст.	105,19	БС	1876 - 1992	1940-1964	1940 - 1964	-	-	-
Сухона	д. Рабаньга	СУГМС	525	15500	13.05.1877	дейст.	105,74	БС	1881 - 1922 1942 - 1992	1943-1975 1977-1978	1942 - 1962 1977 - 1994	1942- 1994	1982 -1992	1950, 1957, 1978-1986
Б. Ельма	д. Филотино	СУГМС	10	312	1.07.1975	дейст.	112,0	БС	1976 - 1992	1976-1992	1976 - 1992	1976 - 1992	-	-
Уфлюга	д. Маладьевская	СУГМС	46	618	1.07.1946	дейст.	115,76	БС	1946 - 1979	1946-1979	1946 - 1979	1951- 1979	-	-
Уфлюга	д. Богородское	СУГМС	33	768	1.05.1979	дейст.	110,52	БС	1979 - 1981	1979-1981	1979 - 1981	1979 - 1981	-	-
Кубена	д. Перхино	СУГМС	351	64	1.11.1950	15.03.1973	186,84	БС	1950 - 1972	1951-1972	1950 - 1972	1953 - 1972	-	-
Кубена	д. Иванова Гора	СУГМС	349	69	2.11.1946	8.03.1950	46,50	усл.	1945 1948 - 1950	1949	1948 - 1950	1948 - 1949	-	-

Окончание табл. 1.11

Кубена	с. Троице-Енальское	СУГМС	258	1110	15.08.1936	дейст.	146,52	БС	1936 - 1944 1946 - 1992	1936 - 1946, 1992	1937 - 1940 1994	1936 - 1946 1994	-	1952-199- 2
Кубена	д. Кубинская	СУГМС	146	4860	25.08.1936	дейст.	126,80	БС	1936 - 1986	1946, 1986 - 1992	1945 - 1994	1951 - 1994	-	-
Кубена	д. Горка	СУГМС	26	10200	4.09.1930	9.03. 1958	109,40	усл.	1930 - 1958	1936 - 1957	1931 - 1958	1931 - 1935	-	-
Кубена	д. Истоминская	СУГМС	40	10000	28.08.1982	1986	41,0	усл.	1982	1982 - 1986	1982 - 1986	1982 - 1986	-	-
Сямжена	с. Сямжа	СУГМС	21	1700	17.07.1963	дейст.	129,30	БС	1963	1963 - 1992	1963 - 1992	1964 - 1986	-	-
Вологда	г. Вологда	СУГМС	28	2640	24.04.1885	дейст.	106,2	БС	1885 - 1986	1946 - 1986	1945 - 1986	-	-	-
Лежа	д. Бушуха	СУГМС	47	1230	01.08.1953	1.07. 1967	106,75	БС	1953 - 1986	1953 - 1986	1953 - 1986	1954 - 1986	-	-
оз. Кубенское	д. Мыс	СУГМС	407	14300	сведений нет	13.03. 1947	97,79	абс.	1931 - 1947	1941, 1943, 1946	1932 - 1947	-	-	-
оз. Кубенское	д. Пески	СУГМС	407	14300	14.01.1913	дейст.	107,92	БС	1986 - 1992	1950 - 1981	1936 - 1981	-	-	-
оз. Кубенское	д. Коробово	СУГМС	407	14300	1931	дейст.	107,21	БС	1931 - 1981	1936 - 1981	1932 - 1981	-	-	-
оз. Кубенское	д. Кубенское	СУГМС	407	14300	14.01.1913	16.03. 1958	107,84	абс.	1916 - 1958	1949 - 1957	1932 - 1981	-	-	-
оз. Кубенское	д. Чирково	СУГМС	407	14300	1.01.1913	19.02. 1937	100,48	абс.	1931 - 1937	-	1934 - 1936	-	-	-
р. Сухона	д. Починок	ВГВХ	551	15000	1981	1985	-	-	1981 - 1985	-	1981 - 1985	1981 - 1985	1981 - 1985	-

Примечание. ВГВХ – Вологдагипровхоз, ВСРП – Верхне-Сухонское речное пароходство, СУГМС – Северное управление гидрометслужбы.

наблюдениям (4,415 км³), испарение с поверхности озера принято равным ранее полученной для периода 1951–1973 гг. величине, а осадки – по многолетним величинам, опубликованным в климатическом справочнике [111].

За многолетний период величина приходной части баланса более чем в 4 раза превышает объем озера при среднемноголетнем уровне. Амплитуда колебаний этого соотношения в зависимости от водности года составляет от 2,5 в маловодный год до 6 – в многоводный. Озеро очень проточное и относится к аккумулятивно-транзитной группе, т.к. приток и сток из него составляют более 90% от приходной и расходной части его баланса.

1.5. Гидрологический режим

Климатические условия и физико-географические свойства водосборного бассейна озера обуславливают закономерные изменения его состояния во времени. На естественный ход многолетних и сезонных характеристик накладываются изменения, обусловленные влиянием наличия в истоке р. Сухоны гидротехнического сооружения – шлюза № 7 Северо-Двинской шлюзованной системы («Знаменитый») с плотиной, регулирующей сток в летний период. Естественный гидрологический режим озера своеобразен формированием обратного течения р. Сухоны в период подъема весенних половодий.

Основной источник информации о гидрологическом режиме водотоков водосбора и самого озера – результаты наблюдений на гидрометрических станциях и уровенных постах, размещение сети которых формировалось на исследуемой территории в течение последнего столетия и определялось в начальный период конкретными хозяйственными целями.

Наиболее ранние регулярные наблюдения (см. табл. 1.11) начаты на водных объектах Северо-Двинского водного пути: на озере Кубенском у с. Кубенское (1916 г.), на острове Каменный (д. Чирково, 1931 г.), у д. Мыс (1931 г.), д. Пески (мыс Антоний, 1916 г.). Режим верхней части реки Сухоны освещался наблюдениями на шлюзе «Знаменитый» (с 13.09.1876 г.) и у д. Рабаньга (13.05.1877 г.).

В тридцатых годах двадцатого века началось более планомерное развитие сети гидрометрических измерений. Открывались посты на притоках озера, включая водотоки второго – третьего порядка. Наиболее ранними являются наблюдения на р. Кубена, длительное время использовавшейся для молевого сплава и судоходства.

При удовлетворительном количестве гидрологических постов, важным недостатком выступает непродолжительность рядов совместных наблюдений, которые нужны при приведении их к единому

многолетнему периоду, что необходимо для установления гидрологических закономерностей на водосборе.

Качество наблюдений удовлетворительное. Однако кажущаяся их продолжительность, к сожалению, обманчива. Так, например, ряды наблюдений у с. Кубенское, у д. Чирково использовать в полной мере не удается из-за неувязки нулей графиков этих постов с Балтийской системой высот.

Заметно дополнили гидрологическую изученность бассейна озера работы, связанные с проектами переброски части стока северных рек в бассейн Каспийского моря. Были открыты посты на рр. Уфтьюга и Едка. Особое значение имеют наблюдения на водных постах, открытых в это время на ключевых створах бассейна Верхней Сухоны: д. Прилуки (исток р. Сухоны), д. Починок, д. Устье Вологодское; на р. Вологде – д. Лиминское; на р. Лежа – д. Лобково.

Анализ данных наблюдений на этих постах позволил предложить и гипотезы относительно формирования обратного течения во время весеннего половодья заменить количественной оценкой его параметров в многолетнем разрезе (п. 3.5) [87].

Густота водомерных стоковых постов и продолжительность наблюдений на них заметно меньше, чем на уровневых. Это связано как с конкретными историческими условиями, так и с объективно большей трудоемкостью работ при измерении и подсчете расходов воды.

Приток в озеро определяют рр. Кубена и Уфтьюга. Режим последней освещен данными по стоку удовлетворительно, но только в верхней части водосбора, охватывающей около 60% его площади.

На р. Кубена ситуация с данными по стоку практически аналогичная. Водомерный пост Горка, створ которого замыкает водосбор с площадью $F=10200 \text{ км}^2$ т.е. фиксирует сток более чем с 90% всей водосборной площади Кубены, имеет всего 3 года наблюдений (1931–1935 гг.). Привести к многолетнему периоду эти данные в настоящее время затруднительно. Ситуация осложнена тем, что нуль графика поста не был приведен к Балтийской системе высот. Наиболее продолжительные ряды наблюдений на верхних постах – д. Кубинская ($F=4860 \text{ км}^2$), с. Троице-Енальское, д. Перхино – освещают гидрологический режим только верхней части бассейна. В западной части водосбора имеются данные наблюдений за стоком на рр. Б. Ельма и Едка, с рядами длительностью, соответственно, около 15 и 10 лет.

Систематические данные о стоке взвешенных наносов очень скудны. Их измерения на водосборе начаты в 1970-х гг. и в настоящее время проводятся только на двух постах: р. Кубена – д. Кубинская и р. Сухона – д. Рабаньга (см. табл. 1.11). Информацию, получаемую в рамках

стандартных наблюдений, выполняемых Гидрометслужбой, в некоторой степени дополняют данные плановых проб качества воды природоохранных органов и органов санэпидемнадзора.

Информация о температурном режиме водной массы озера верхней части р. Сухоны включает данные измерений температуры воды на озерных гидрометрических постах – с. Кубенское, д. Пески и Коробово, а также по шлюзу «Знаменитый» в его верхнем бьефе (см. табл. 1.11).

Термический режим озера впервые описан в работе Р.А. Филленко [119], а затем в монографии [94]. В работе А.И. Тихомирова и А.Н. Егорова [114] обобщены как данные Гидрометслужбы, так и экспедиционные материалы Вологодско-Архангельской экспедиции 1972–1974 гг. Института озераведения.

Как отмечалось выше, наблюдения над уровнем озера проводились на ряде постов. Осредненный за многолетний период график средних месячных значений у д. Коробово приведен на рис. 1.4. Поскольку реки, впадающие в озеро, относятся к водотокам преимущественно снегового питания, ход уровня в течение гидрологического года имеет формируемую в значительной мере климатическими условиями одномодальную форму. Заметный подъем уровня начинается в апреле, еще при наличии ледяного покрова. Так как озеро довольно мелкое и его объем в несколько раз меньше годового притока, медленный в начале подъем уровня сменяется быстрым, с приращением на десятки сантиметров в сутки.

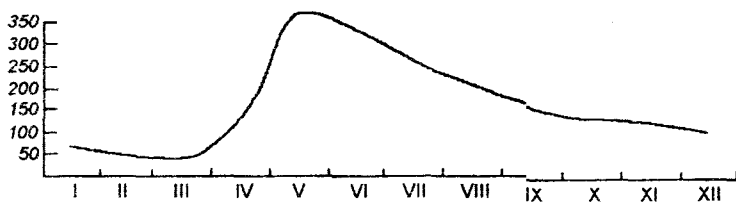


Рис. 1.4. Годовой ход уровня оз. Кубенского (средних месячных его значений) у д. Коробово (см). Отметка нуля графика 107,21 м БС

В маловодные годы интенсивность подъема относительно ниже (15–30 см/сутки), а в многоводные годы может превышать 50 см/сутки. Это в значительной мере обуславливается прекращением стока из озера на 1–2 недели и поступлением в озеро вод из верхней части р. Сухоны и ее притоков. В этот период водосборная площадь озера

временно увеличивается на 25–30%. Процесс формирования обратного течения с использованием данных наблюдений на гидрологических постах Гидрометслужбы и на постах, открытых Институтом «Вологдагипроводхоз» в период изысканий для целей проектирования переброски части стока северных рек в бассейн р. Волги, рассмотрен ниже – в п. 3.5.

Весеннее половодье на верхней части р. Сухоны начинается несколько раньше, чем поднятие уровня на озере. Время его подъема до максимальных значений за многолетний период составляет 20–30 дней. Максимальный уровень на р. Сухоне в створе д. Рабаньга наблюдался в 1992 г. и составил 113,19 м БС. На озере в этом же году талая вода у д. Коробово поднялась до отметки 113,75 м БС.

Многолетняя амплитуда колебаний весеннего половодья на озере составляет 3,6 м, в створе р. Рабаньга – более 3,9 м.

Дата наступления весеннего максимума может быть как в двадцатых числах апреля, так и в последней декаде июня. Средняя дата – в середине мая.

На спаде половодья, который из-за плотины шлюза иногда длится до глубокой осени, могут иметь место отдельные подъемы, вызываемые дождями (рис. 1.5.), но они выражены гораздо слабее половодья, и их максимумы никогда не превышают весенних.

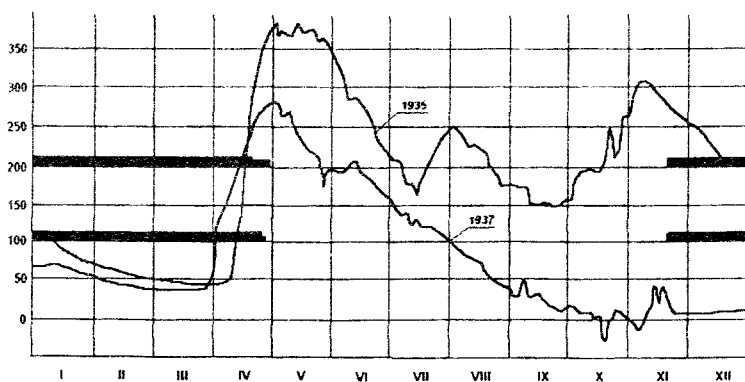


Рис. 1.5. Колебания уровня оз. Кубенское – д. Пески в многоводный 1935 г. (1) и маловодный 1937 г. (2). Высота нуля графика 107,92 м БС

Минимальные уровни на озере наблюдаются, как правило, перед весенним половодьем. Летняя межень, в значительной мере, видимо, из-за регулирующего действия гидроузла, имеет более высокие минимальные уровни по сравнению с зимней. Однако в некоторые

годы это правило может нарушаться, как это было, например, в маловодном 1937 г. (см. рис. 1.5). Плотина гидроузла (см. п. 1.3) собирается на спаде половодья. В результате на озере образуется регулируемый объем, позволяющий в течение теплого периода делать попуски в р. Сухону, поддерживая в ее верхней части судоходные глубины. Перед наступлением холодов плотина разбирается. Иногда после ее разборки судоходство продолжается поверх основания плотины, без шлюзования.

Поскольку водосборная поверхность почти в 40 раз превышает площадь зеркала озера, его уровенный режим отличается большой амплитудой, равной в среднемноголетнем разрезе 3,6 м.

Во время зимней межени в маловодные годы из-за относительно большой толщины льда полезный объем озера, особенно его юго-восточной части, заметно уменьшается.

Площадь, не занятая осевшим на дно льдом, принимает конфигурацию узкой протоки. На рис. 1.6 приведена карта-схема юго-восточной части озера в пределах НПУ с линиями отметок дна его ложа.

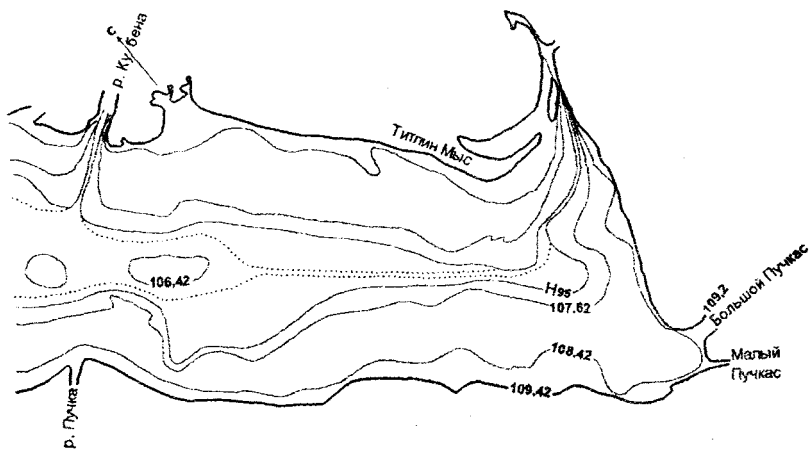


Рис. 1.6. Карта-схема юго-восточной части озера Кубенского в пределах НПУ

Одна из них, соответствующая урезу воды при зимнем минимуме 95%-ной обеспеченности, показывает, что уже при близких отметках уровня часть озера между устьем р. Кубены и истоком р. Сухоны сокращается по площади в 2-3 раза, а если учесть толщину погруженного льда, то пространство свободной воды еще более уменьшается. На рисунке точками отражена ситуация, соответствующая зимней межени 1992 – 1993 гг., когда возникли затруднения с забором воды

из озера для г. Вологды (см. п. 3.5). Эта линия изображает положение границы смыкания льда с грунтом ложа озера при минимальном уровне в марте 1993 г.

Подобная ситуация, видимо, не была рассмотрена и учтена при проектировании водозабора для г. Вологды, что привело к систематически возникающей необходимости проведения работ по углублению подводной части подводящего канала. Поскольку нет системы прогноза минимальных уровней, данное обстоятельство обнаруживается время от времени зимой. Это вызывает необходимость выполнения дночерпательных работ со льда в сложных и, зачастую, опасных условиях. Подробнее гидрологические и геоморфологические особенности юго-восточной части озера и его котловины рассмотрены в п. 3.5.

Отметки характерных уровней воды озера, определенные отделом экологии и гидрологии Института «Вологдаинжпроект» [89] по данным водомерного поста у д. Коробово за период 1938 – 1990 гг., приведены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Характерные уровни воды оз. Кубенского у д. Коробово

(м БС)

Наименование уровня	Уровни различной обеспеченности, %				
	2	5	10	95	97
Максимальный уровень весеннего половодья	113,46	113,27	112,71		
Наивысший наблюдаемый уровень 113,47 (1955 г.)					
Минимальный летний				107,82	107,71
Минимальный зимний				107,50	107,22
Минимальный наблюдаемый уровень 107,01 (1937 г.)					
Наивысший наблюдаемый уровень 113,47 (1955 г.)					
Отметка нормального подпорого уровня (НПУ) 109,42					
Амплитуда колебаний уровня за период наблюдений составляет 6,46 м					

1.6. Гидрохимия вод озера и его притоков

По мнению авторов наиболее основательных работ, посвященных гидрохимии озера и его притоков [38, 68], имеются два главных определяющих фактора, под действием которых формируется естественный гидрохимический режим поверхностных вод бассейна. Одним из них является общая для всей территории избыточная увлажненность верхних слоев почвогрунтов, слагающих водосборы.

Избыток влаги, промывной режим и недостаток тепла влекут за собой вынос растворимых соединений и накопление растительных остатков. Это вызывает заболачивание и формирование маломинерализованных поверхностных вод гидрокарбонатного класса группы кальция.

Второй значимый фактор – особенности литологического строения бассейнов некоторых притоков, определяемые близким залеганием загипсованных известняков, что приводит к неоднородности ионного состава воды рек с различной глубиной эрозионного вреза, к увеличению общей минерализации и даже к изменению класса воды с гидрокарбонатного на сульфатный.

Особое влияние на качество вод оказывают степень и формы антропогенной нагрузки на различные участки водосбора, водотока или водоема. Все это диктует необходимость максимальной полноты сбора и учета имеющейся информации о качестве поверхностных вод водосбора.

Наибольший вклад в изученность гидрохимии водных ресурсов вносят материалы систематических наблюдений, проводимых подразделениями Северного управления Гидрометслужбы (СУГМС). Они были начаты в 50-х гг. прошлого века и продолжаются на ряде пунктов до сих пор. По водотокам и водоемам Европейского Севера на уровень 1966 г. результаты наблюдений обобщены в работе [38]. Для изучаемой территории – это посты на рр. Кубене, Сямжене, Сухоне и на озере Кубенском у д. Коробово (см. табл. 1.11).

Обширная информация собрана в процессе планового контроля за качеством источников питьевого водоснабжения областными органами санитарно-эпидемиологического надзора. Эти данные дают возможность оценить санитарно-гигиеническое состояние водных объектов.

Велик вклад в изучение гидрохимии озера и его притоков, внесенный Институтом озероведения. Именно в работе [36] приведены результаты, позволяющие судить о пространственном распределении гидрохимических характеристик водных ресурсов водосбора и озера, сезонных колебаниях их величин.

Интересны материалы, полученные Вологодской лабораторией ГосНИОРХ при изучении состояния гидроэкосистемы Верхней Сухоны [74].

Для выяснения гидрохимических особенностей и санитарного состояния юго-западной оконечности озера и протоки Большой Пучкас использованы результаты анализов проб, отобранных МП «ЭПИР» в 1991 – 1992 гг. [87].

В целях изучения самоочищающей способности водотоков и влияния свинокомплекса «Дубровское» и других сельскохозяйственных

объектов на систему Большой Пучкас летом 1993 г. были выполнены полевые обследования для получения данных о гидрологическом и гидрохимическом режиме водотоков системы с отбором проб воды по длине протоки Большой Пучкас от водозабора для г. Вологды до впадения протоки в р. Сухону [87].

Для выяснения динамики показателей качества воды Верхней Сухоны и озера в период обратного течения весной 1994 г. выполнен отбор проб и их гидрохимический анализ.

В рамках областного агрохимического мониторинга Проектно-испытательским центром (ПИЦ) «Вологодский» выполнялись работы по лабораторному контролю за качеством поверхностных и грунтовых вод на сельскохозяйственных территориях, в том числе и на расположенных на водосборе озера. Выполнена обширная гидрохимическая съемка вод многих объектов. Однако отсутствие системы отбора проб, надежной фиксации точек отбора и условий взятия проб очень затрудняет обобщение этих данных. Они могут служить в качестве первичного материала для создания мониторинга за влиянием сельского хозяйства на качество водных ресурсов.

Этой же лабораторией выполнен значительный объем работ по анализу проб воды, взятых Санкт-Петербургской гидрогеологической партией. Использовать их для обобщения затруднительно из-за отсутствия временной привязки проб и условий их отбора. Тем не менее результаты этих анализов были использованы для интерпретации результатов диагностики экологического состояния водных ресурсов [87].

Высокой информативностью отличаются данные областного комитета экологии, обобщаемые в таблицах 2-ГП Водхоз и содержащие сведения о водозаборе и сбросах в водные объекты сточных вод. В то же время следует отметить, что компьютерная АРМ «Форма 2-ГП Водхоз» не учитывает некоторую часть информации о загрязнении водной среды при аварийных сбросах. Так, например, как это отражено в докладе [35], в 1993 г. Харовский районный комитет экологии за загрязнение р. Кубена нефтепродуктами применил штрафные санкции к Харовскому молокозаводу на сумму 51224 руб., к стеклозаводу «Заря» – на сумму 65195 руб. и в/ч 52854 – на сумму 96562 руб. Между тем, в сводной таблице 8 «Сведения о сбросах в поверхностные объекты загрязняющих веществ» информации об указанных сбросах либо вообще нет (по воинской части), либо объемы сбросов нефтепродуктов показаны чисто символическими величинами (порядка 2 кг/год).

За химическим составом поверхностных вод водосбора озера в настоящее время ведет наблюдения значительное число организаций и ведомств. Но изученность гидрохимического режима далека от уровня,

необходимого для серьезных обобщений. Наблюдения чаще всего фрагментарны, имеют чисто практические цели. Хуже всего, что зачастую отсутствует систематичность в отборе проб, не проводится их привязка к параметрам гидрологического режима. Поскольку результаты наблюдений, как правило, не публикуются, они не попадают в научное обращение и труднодоступны для исследователей. Положение осложняет и разноречивость в методах лабораторных анализов.

Воды притоков озера по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция и характеризуются средней степенью минерализации: 160–170 мг/л – в межень; 38–120 мг/л – в период весеннего половодья; 70–200 мг/л – в период осенних паводков.

Близкое залегание коренных пород пермских отложений способствует увеличению минерализации вод притоков по сравнению с водами других рек Севера. Это способствует повышенному содержанию сульфатных ионов, которые иногда доминируют в период глубокой межени.

Сравнение нормативов [78] по общей минерализации и количеству наиболее важных гидрохимических компонентов с результатами наблюдений на притоках озера позволяет заключить, что по величинам минерализации качество воды соответствует требованиям СанПиН в любое время года.

Следует отметить бедность вод северных рек, в т.ч. и водотоков бассейна оз. Кубенского, фтором. Поскольку оптимальная величина его содержания в питьевой воде должна быть порядка 1,2–1,5 мг/л, воды бассейна озера можно отнести к крайне обедненным фтором. Это обуславливает необходимость искусственного фторирования воды в водопроводах.

Превышают нормативы требований к питьевой воде концентрации железа, содержание органических веществ, что сказывается на величинах предельно допустимых норм перманганатной и бихроматной окисляемости. Содержание железа в водах притоков изменяется в широких пределах, заметно увеличиваясь во время весеннего половодья. Независимо от фазы водного режима оно превышает допустимую величину (0,3 – 1,0 мг/л) и влияет на привкус и цветность воды.

Жесткость воды во многом определяет ее пригодность как для промышленных, так и для бытовых нужд. Повышенная жесткость воды ухудшает ее потребительские свойства – приводит к образованию накипи, мутящей воду. В жесткой воде плохо развариваются овощи, заваривается чай. Стирка в жесткой воде требует повышенного расхода мыла. Ионы кальция и магния образуют с высшими жирными кислотами, натриевые и калиевые соли которых являются мылами,

нерастворимые соли, расходуя тем самым бесполезно часть мыла. Его моющее действие основано на создаваемом его раствором большом поверхностном натяжении, в силу чего жир и грязь эмульгируются с предмета. Оно не может проявляться, пока все ионы кальция и магния не будут осаждены. При содержании в литре воды 1 мг-экв. кальция или магния на это уходит около 1 г обычного мыла [8].

Измеряется жесткость количеством ионов кальция и магния, выраженным в мг-экв./л: от очень мягких вод (жесткость менее 1,5 мг-экв./л) и мягких (1,5 – 3 мг-экв./л) до умеренно жестких (3 – 6 мг-экв./л), жестких (6 – 9 мг-экв./л) и очень жестких (более 9 мг-экв./л) вод.

Иногда в технике жесткость измеряется в так называемых немецких градусах. Один немецкий градус соответствует содержанию 10 мг СаО в одном литре воды. Эта форма считается менее удобной, чем мг-экв. 1 мг-экв. соответствует 2,8 немецкого градуса. В реках и озерах Севера наименьшая жесткость воды наблюдается в период половодья. Наибольшие ее величины приурочены к низкой межени, когда водность рек полностью определяется грунтовым питанием.

Притоки озера несут воды от очень мягких и мягких в весеннее половодье до умеренно жестких – в период зимней межени. При применении воды в паротепловых установках необходимо знать устанимую жесткость (H_y). Ее можно вычислить для рек Севера Европейской части страны в зависимости от суммы ионов ($\Sigma И$) по эмпирической формуле [38]:

$$H_y = 0,01 \Sigma И - 0,29$$

Величина постоянной жесткости в водах бассейна озера мало зависит от минерализации и колеблется в пределах 0,4 – 1,3 мг-экв./л.

При строительстве сооружений, омываемых водой, необходима информация о ее агрессивном действии, проявляющемся в способности разрушать различные строительные материалы, воздействуя на них растворенными солями и газами или выщелачивая их составные части.

Различают несколько видов агрессивности: выщелачивающая, общекислотная, углекислотная, магнизальная и сульфатная.

Магнизальная и сульфатная агрессивность не характерны для поверхностных вод водосбора озера.

Выщелачивающая агрессивность характерна для маломинерализованных вод. Ее сущность заключается в растворении карбоната кальция $CaCO_3$ и вымывании из бетона несвязанной извести, проявляющихся при низких концентрациях гидрокарбонатного иона HCO_3 . Если в воде его содержится менее 2 мг-экв./л, то она не проявляет агрессивность

по отношению к любым маркам бетона, а если менее 0,7 мг-экв. – то и к наиболее высоким из них [8].

Во время весеннего половодья и на пиках дождевых паводков воды всех притоков озера отличаются агрессивными свойствами.

Степень их агрессивности очень высокая. Если в летнюю межень агрессивность вод притоков снижается, то зимой поверхностные воды, как правило, не обладают выщелачивающей агрессивностью.

Концентрация водородных ионов H (г-моль/л) является мерой истинной кислотности воды, оставшейся в ней в результате растворенных электролитов и газов [40]. В целях удобства обозначения концентрацию H принято выражать через ее степенной показатель, взятый с обратным знаком, обозначая ее символом pH . То есть $pH = -\lg(H)$. Нейтральная реакция соответствует показателю $pH = 7,07$. При большем pH реакция щелочная. Наоборот, при более низком pH реакция будет кислой.

Общекислотная агрессивность проявляется в растворении карбоната кальция при повышенном содержании в воде ионов водорода. Она наблюдается при pH от 6,8 и ниже. Данные о pH воды притоков и озера отрывочные [36, 38], но позволяют предположить, что его значения варьируют от 6,9 до 8,4. Низкие величины характерны для межени, особенно зимней, а высокие – для весеннего половодья. Наиболее низкие значения pH свойственны рекам с болотным питанием, т.е. болотным и железистым водам.

Действие агрессивной угольной кислоты на бетон проявляется в его разрушении в результате растворения карбоната кальция. Допустимые значения агрессивности двуокиси углерода CO_2 определяются в зависимости от величины HCO_3 , общей минерализации, сорта цемента и ряда условий, в которых происходит взаимодействие сооружения с водой. Допустимое содержание CO_2 колеблется от 3 мг/л до 8,3 мг/л [43].

Воды притоков озера могут быть агрессивными или не агрессивными в любую из фаз гидрологического режима.

Почвогрунты водосборов основных притоков озера богаты веществами гумусового происхождения, что приводит к большому количеству органических веществ в поверхностных водах. Если рассматривать поверхностные воды в роли источника централизованного водоснабжения, следует иметь в виду, что содержащиеся в них органические соединения стимулируют рост бактериальных загрязнений на очистных сооружениях. Оценка содержания органических веществ в воде производится по косвенным признакам – по цветности и по количеству кислорода, расходуемого на окисление органических веществ.

Цветность обычно определяется по платино-кобальтовой шкале (ПКШ) и выражается в градусах. Максимальные значения цветности наблюдаются во время половодья, а минимальные – в конце меженных периодов. Она колеблется в широких пределах – от 20 до 135° и более.

Окисляемость измеряется количеством молекулярного кислорода, выраженного в миллиграммах на кубический дециметр воды, потребляемого за определенное время при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ под действием бактериального разложения и процесса окисления в аэробной среде. В практике употребляется как БПК₅ – биохимическое потребление кислорода в течение 5 суток, так и БПК_{полн.} – полное биохимическое потребление кислорода, окончание которого определяется началом процесса нитрификации, т.е. в течение 15 – 20 суток. Значения БПК используются для оценки степени загрязненности водного объекта и содержания в воде легкоокисляющихся органических веществ.

В природных водах, имеющих значения pH от 6 до 8, в аэробных условиях за 5 суток при температуре 20° окисляется около 70% органических веществ, а за 10 и 20 суток – соответственно 90 и 99% [40]. В поверхностных водах значения БПК₅ обычно колеблются от 0,5 до 4,0 мг O₂/л молекулярного кислорода и подвержены сезонному и внутрисуточному изменению.

О количестве органического вещества в воде можно косвенно судить и по бихроматной и перманганатной окисляемости. Первая характеризует содержание органических и минеральных веществ, окисляемых серноокислым раствором бихромата калия, и выражается в мг O₂/л, т.е. в миллиграммах на кубический дюйм или литр атомарного кислорода O.

Перманганатная окисляемость характеризует содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых марганцевоокислым калием, т.е. наиболее легко окисляемых, примерно 40 – 60%, тогда как при бихроматном методе определения окисляется 90 – 95% органического вещества.

Кроме окисляемости, для характеристики содержания органических веществ используется и показатель суммарного их содержания – органический углерод, на долю которого приходится в среднем около 50% массы органических веществ. В незагрязненных водах его концентрация около 1 мг/л, наибольшая не превышает 10 – 20 мг/л, хотя в болотных водах может достигать сотен мг/л. Концентрация органического углерода в загрязненных водах не ниже 10 мг/л и может достигать 100 и более мг/л в сильно загрязненных водных объектах.

Его содержание подвержено сезонным колебаниям, стратифицировано по глубине; в придонных слоях водоемов и поверхностной пленке содержание органического углерода может значительно отличаться от его концентрации в остальной массе воды [40].

Бихроматная окисляемость для рек бассейна озера имеет значительный сезонный ход. Весной она обычно в несколько раз выше, что связывают с вымыванием гуминовых веществ из верхних слоев почвы, из болот и заболоченных земель.

Перманганатная окисляемость в течение года изменяется меньше и не зависит от степени заболоченности водосборов [38]. Поскольку предельно допустимая концентрация по перманганатной окисляемости равна 10 мг О/л, количество органики в воде наших рек и озер иногда в несколько раз превышает норматив, принятый еще в 1965 г. Советом экологической взаимопомощи.

К биогенным веществам, содержащимся в природных водах, относятся соединения азота, фосфора, кремния, железа, марганца и некоторых микроэлементов. В природные воды они поступают в результате распада живых организмов, обитающих в водной среде, с площади водосбора, со сточными водами. Они являются важными факторами биологической продуктивности водотоков и водоемов. Их концентрация в природных водах обычно невелика и зависит от интенсивности жизнедеятельности организмов и процессов образования и разложения органических веществ.

Наиболее важные из них – нитраты и фосфаты. В летний период содержание в воде нитратов минимальное, по причине их интенсивного потребления водной растительностью, составляя концентрации менее 0,50 мг $\text{NO}_3/\text{л}$. Увеличиваясь в течение осени, зимой они могут достигать значений 1–2 мг/л и более.

Содержание минерального фосфора в период вегетации растений близко к нулю, зимой – 10 мкг/л и более.

Концентрация ионов кремния, видимо, не зависит от фазы гидрологического режима и составляет чаще всего величины порядка 1–3 мг/л.

Благодаря наблюдениям, проведенным Институтом озераведения АН СССР в 1972 – 1974 гг. [67, 68, 69], ГосНИОРХ, Санэпиднадзором, и наблюдениям на постах Гидрометслужбы, есть возможность получить некоторое представление об особенностях гидрохимического режима и основных притоков, и самого озера.

Как известно [9], качество воды имеет естественную и антропогенную составляющие. Если естественная составляющая качества вод рек тесно связана с пространственными и сезонными изменениями

химического состава поверхностных вод, то антропогенная компонента определяется как составом и режимом поступления сточных вод, так и условиями их разбавления и трансформации в водоприемниках.

На химический состав воды оказывают влияние сбросы сточных вод с предприятий и селитебных площадей, смыв с сельскохозяйственных угодий, судоходство и маломерный флот. Ранее на некоторых притоках проводился молевой сплав леса.

Почти на всех реках бассейна наблюдались случаи повышенных концентраций азота аммонийного (до 2–3 ПДК) и присутствие пестицидов – гексохлорана и линдана. Часто обнаруживалось присутствие фенолов и нефтепродуктов.

Наиболее изучен на водосборе озера химизм вод р. Кубена, дающей более 90% всего притока в озеро.

Ионный состав ее воды гидрокарбонатнокальциевый. Гидрокарбонатные ионы составляют чаще всего около 60% суммы анионов, сульфатионы – от 30 до 40%.

В маловодные годы и во время межени относительное и абсолютное содержание сульфатных ионов возрастает, и может иметь место смена гидрокарбонатного класса воды на сульфатный (например, период с декабря 1972 г. по май 1973 г.). Это можно объяснить увеличением доли подземного питания, поступающего из пермских отложений, содержащих загипсованные известняки (см. раздел 1). В табл. 1.13 приведены некоторые результаты определения ионного состава по пробам, взятым в зимнюю межень, в период половодья и летом [36].

Таблица 1.13

Ионный состав воды р. Кубена

Дата	Ед. изм.	НСО ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	N ⁺	K ⁺	Σ И
20.03.1972 г.	мг/л	259,1	6,7	114,6	83,2	30,5	3,8	2	497,9
	экв.-%	62	3	35	61	37			
10.01.1973 г.	мг/л	142,9	4,3	76,7	46,2	20,4	2,0	2	292,5
	экв.-%	58	3	39	57	41			
26.08.1974 г.	мг/л	72,1	4,6	33,8	20,7	9,0	3,2	1,1	144,5
	экв.-%	58	4	38	54	38			

Типичная картина сезонного хода изменения минерализации и химического состава вод р. Кубена представлена на рис. 1.7.

Минерализация ее вод достигает максимальных значений в маловодные годы во время зимней межени, составляя величины порядка 400 – 600 мг/л. В средние по водности годы она равна зимой приблизительно 325 мг/л, а минимальные ее значения порядка 70 – 100 мг/л наблюдаются во время весеннего половодья.

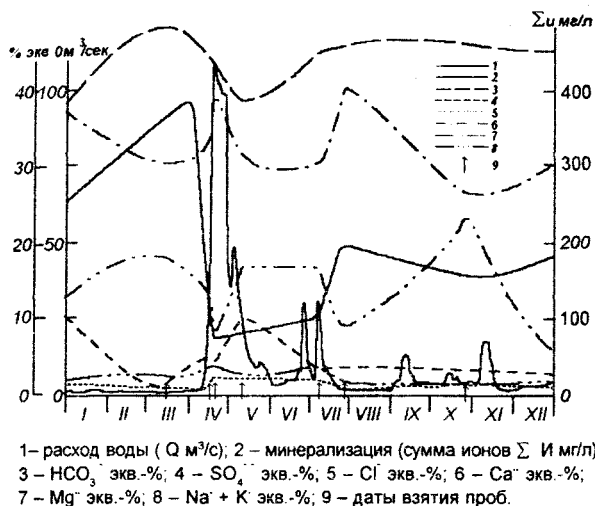


Рис 1.7. Сезонное изменение минерализации и химического состава речных вод (р. Кубена — с. Троице-Енальское)

Воды р. Кубена содержат большое количество органических веществ гуминового происхождения. Максимальные значения цветности и окисляемости наблюдаются во время весеннего половодья (табл. 1.14), минимальные — во время межени.

Таблица 1.14

Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде р. Кубена [68]

Дата	pH	O ₂	Цветность ПКШ	Перманганатная окисляемость, мг/л	Бихроматная окисляемость, мг/л	Si, мг/л	P, мг/м ³	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
20.03. 1972 г.	7,3	-	27	-	26,8	-	11,5	-	-	0,40
21.05. 1973 г.	7,3	9,30	116	20,5	40,9	2,3	4,0	0,16	-	0,0
13.09. 1973 г.	8,2	10,2	27	5,2	271	0,9	0,0	0,08	0,0	0,0
31.07. 1974 г.	7,7	6,4	80	20,7	45,5	2,0	0,0	0,07	-	-

Значения pH незначительны — в половодье несколько превышают 7,0, увеличиваясь в маловодные меженные периоды до 8,4.

Содержание растворенного кислорода в воде зимой может быть ниже 6 мг/л, а летом — превышать 14 мг/л.

Данные по биогенному составу воды р. Кубена не однозначны. По наблюдениям Института озераведения РАН за период 1972–1974 гг.,

концентрации биогенных веществ невысоки. Нитраты обнаружены только дважды (из 14 проб), а нитритный азот не обнаружен. Содержание аммонийного азота не превышало ПДК.

По данным службы Санэпиднадзора, нитриты отмечались регулярно в районе г. Харовска и ниже п. Устье, часто выявлялось наличие нитратов. Аммонийный азот отмечали регулярно и иногда в концентрациях 1 – 7 ПДК, как и по данным лаборатории ГосНИОРХ [74], зафиксировавшим присутствие в воде ПАВ, лигносульфатов и фосфорорганических пестицидов. Величины БПК в меженные периоды гидрологического цикла могут превышать ПДК в 1,2–2раза.

О присутствии фенолов в водах р. Кубена нет сведений в материалах службы Санэпиднадзора за 1980 – 1993 гг., но эти вещества обнаружены в пробах, проанализированных Вологодской лабораторией ГосНИОРХ [74]. Река испытывает значительную биогенную нагрузку.

Река Уфтьюга – второй по водности приток, дающий около 10% от общего поступления воды в озеро.

Минерализация ее вод несколько выше, чем р. Кубена, и во время зимней межени может превышать 700 мг/л, снижаясь в половодье до 100 мг/л и менее.

Ионный состав воды гидрокарбонатный (табл. 1.15), но в маловодные годы, во время межени, может изменяться на сульфатный.

Таблица 1.15

Ионный состав воды р. Уфтьюга [36]

Дата	Ед. изм.	НСО ₃ ⁻	Сl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	N [']	K [']	Σ И
20.03. 1972 г.	мг/л экв.-%	346 56	5,0 1	2088 43	90,6 45	55,9 45	24,5 10,0		729,5
10.02. 1973 г.	мг/л экв.-%	311 53	4,3 2	212 45	99,0 51	46,8 40	2,1 9		674,6
10.03. 1973 г.	мг/л экв.-%	194 37	14,0 5	240 58	81,1 47	43,8 42	2,3 11		574,9
10.05. 1973 г.	мг/л экв.-%	77,4 59	2,0 3	39,4 38	24,1 56	9,7 37	3,6 7		156,2
19.08. 1974 г.	мг/л экв.-%	180,6 66	3,1 2	69,9 32	55,3 59	20,1 36	5,0 4,4	1,0 0,6	335,0

Приоритетным катионом является кальций. Доля щелочных металлов составляет от 2 до 11 экв.-%.

Значения рН невысоки – незначительно превышая 7,0 в многоводный весенний период и увеличиваясь до несколько более 8,0 во время межени.

Цветность высока (более 100°) во время половодья и понижается до 20° во время зимней межени.

Окисляемость может в 2–3 раза превышать нормативную. Обнаружены фосфор, аммонийный азот и нитраты (табл. 1.16).

Таблица 1.16

Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде р. Уфтюга [36]

Дата	pH	O ₂	Цветность ПКШ	Перманганатная окисляемость, мг/л	Бихроматная окисляемость, мг/л	Si, мг/л	P, мг/м ³	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
20.03.1972 г.	7,3	-	27	-	26,8	-	11,5	-	-	0,40
21.05.1973 г.	7,3	9,30	116	20,5	40,9	2,3	4,0	0,16	-	0,0
13.09.1973 г.	8,2	10,2	27	5,2	271	0,9	0,0	0,08	0,0	0,0
31.07.1974 г.	7,7	6,4	80	20,7	45,5	2,0	0,0	0,07	-	-

Река Большая Ельма впадает в озеро с юго-западного берега. По наблюдениям Института озероведения, в анионном составе ее воды преобладают сульфаты (5–72 экв.-%). Воды становятся гидрокарбонатными только во время весенних половодий и высоких летне-осенних паводков. Отмечается повышенная по сравнению с другими притоками озера минерализация – до 871–968 мг/л. В катионном составе на долю ионов кальция приходится 50–58 экв.-% (19–147 мг/л), магния – 37–46 экв.-% (7–82 мг/л), щелочных металлов – до 10 экв.-% (2–32 мг/л).

Значения pH несколько выше, чем в водах других притоков озера (7,7–8,4). Цветность превышает 45° ПКШ (табл. 1.17).

Таблица 1.17

Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде р. Б. Ельма [36]

Дата	pH	O ₂	Цветность ПКШ	Перманганатная окисляемость, мг/л	Бихроматная окисляемость, мг/л	Si, мг/л	P, мг/м ³	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
26.07.1972 г.	8,4	10,8	52	12,2	35,4	2,3	2,0	0,25	0,0	0,05
06.07.1973 г.	8,1	9,3	47	14,1	40,7	4,1	3,0	0,03	0,0	0,0
11.08.1974 г.	8,2	12,0	57	-	-	3,7	0,0	0,06	0,0	0,20

В период 1991 – 1992 гг. р. Б. Ельма изучалась, среди прочих водотоков бассейна р. Сухоны, Вологодской лабораторией ГосНИОРХ. Ниже (табл. 1.18) приведены некоторые данные об ионном составе вод р. Б. Ельма, заимствованные из работы [74].

Ионный состав воды р. Б. Ельма

Дата	Жесткость, Ca + Mg, мг-экв.	Cl, мг/л	SO ₄ , мг/л	Fe, мг/л	K+ Na, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л
30.05. 1991 г.	5	1,0	-	0,2	1,5	0,002	0,002
13.08. 1991 г.	-	8,0	-	0,6	6,0	н/о	0,002
11.11. 1991 г.	13,8	9,2	95	0,05	1,5	0,002	0,002
20.03. 1992 г.	6,1	6,0	72	0,30	1,0	0,002	0,003

Жесткость воды, как видим, невысокая. Содержание хлоридов близко к их величинам в водах рр. Кубена и Уфтуга, значительно содержание сульфатов. Концентрация железа близка к ПДК, а вот содержание меди превышает ПДК в 2 раза.

В табл. 1.19 помещены некоторые данные из этой же работы о характере загрязненности реки в 15 км от устья.

Таблица 1.19

Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде р. Б. Ельма

Дата	pH	O ₂ , мг/л	БПК ₅ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	P, мг/м ³	СПАВ, мг/л	Нефте- продукты, мг/л	Лигно- сульфо- наты мкг/л	Фосфор- органи- ческие пестици- ды, мкг/л
30.05. 1991 г.	7,9	8,1	0,4	2,2	0,3	н/о	0,1	0,005	н/о	0,012	6,79
13.08. 1991 г.	7,9	13,7	1,5	0,63	0,4	н/о	н/о	0,002	0,2	0,058	36,85
11.11. 1991 г.	8,1	13,2	3,3	0,50	0,7	н/о	0,1	н/о	н/о	0,048	3,9
20.03. 1992 г.	7,7	6,8	1,9	1,0	0,3	н/о	0,1	н/о	н/о	0,025	160

Величины, приведенные в таблице, позволяют судить о том, что кислородный режим реки был вполне благополучным даже в зимнюю межень. В то же время биохимическое потребление кислорода иногда превышало ПДК. Постоянно в воде присутствовал ион аммония. Иногда его концентрация превышала ПДК в несколько раз. Отмечалось присутствие нефтепродуктов, лигносульфонатов, фосфорорганических пестицидов, СПАВ, превышение ПДК по нитритам, хотя нитраты не обнаружены. Не обнаружены фенолы и хлорорганические пестициды.

О химическом составе вод малых притоков озера можно судить только по результатам анализа отдельных проб, приведенным в [68]. В табл. 1.20 помещены некоторые сведения о химизме вод р. Кушта,

Ионный состав воды некоторых малых притоков озера

Дата	Ед. изм.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	N ⁺	K ⁺	Σи
р. Кушта									
31.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	88,2 75	3,6 5	17,9 20	23,7 62	6,9 30	4,2 8		114,5
10.07. 1973 г.	мг/л экв.-%	83,6 74	4,2 6	17,8 20	20,8 42	9,5 42	0,8 2		136,7
20.08. 1974 г.	мг/л экв.-%	63,5 58	3,6 3	94,5 39	19,2 52	9,2 42	2,5 5	0,8 1	193,3
р. Макаровка									
29.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	431,9 87	23,1 8	18,3 5	96,6 59	33,1 34	14,8 7		617,8
р. Иткла									
26.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	87,2 86	1,7 3	8,5 11	19,7 60	7,3 36	1,9 4		126,3
04.07. 1973 г.	мг/л экв.-%	82,4 86	2,1 4	8,2 10	20,8 66	6,2 32	0,7 2		120,4
р. Малая Ельма									
27.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	366,8 87	2,7 1	46,9 12	69,1 52	31,9 39	15,5 9		522,9
р. Пучка									
27.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	305,2 95	4,2 2	8,4 3	52,9 50	23,9 37	17,2 13		411,8
р. Водла									
27.07. 1972 г.	мг/л экв.-%	301,9 92	5,7 3	13,3 5	62,5 58	22,0 34	11,4 8		416,4
р. Кой									
6.07. 1973 г.	мг/л экв.-%	104,6 47	3,1 3	86,6 50	45,8 63	15,9 36	0,3 1		256,3
11.08. 1974 г.	мг/л экв.-%	76,5 66	2,9 4	27,3 40	24,5 53	11,4 41	2,8 5	0,7 1	146,1

имеющей общую дельту с р. Кубена, р. Макаровка, впадающей в р. Уф-тюга несколько выше ее устья, и малых притоков, впадающих с юго-западной стороны озера: Иткла, Кой, Малая Ельма, Пучка, Водла, Шуя.

Минерализация вод этих речек колеблется от 100 до 600 мг/л. При этом можно выделить воды рр. Кой, Иткла и Кушта как маломинерализованные по сравнению с другими. Несколько меньше в воде этих малых притоков содержится сульфатных ионов. Жесткость не превышает градации мягкой, умеренно жесткой.

С водосборов этих притоков поступает значительное количество растворенных органических веществ, что отражается на показателях цветности, окисляемости, на величинах содержания органических и биогенных веществ (см. табл. 1.20).

Значения рН воды притоков [36] не отличаются от величины рН воды рек Кубена, Уфтыога (табл. 1.21).

Таблица 1.21

Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в некоторых малых притоках озера

Дата	рН	O ₂	Цветность ПКШ	Перманганатная окисляемость, мг/л	Бихроматная окисляемость, мг/л	Si, мг/л	P, мг/м ³	NH ₄ , мг/л	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л
р. Кушта										
31.07. 1972 г.	-	9,3	112	25,9	67,9	1,6	12,0	0,18	0,0	0,0
10.07. 1973 г.	7,8	8,6	104	29,7	83,1	0,9	7,0	0,11	0,0	-
20.07. 1974 г.	7,4	-	140	26,5	74,8	-	0,0	-	0,0	0,38
р. Порозовица										
29.07. 1972 г.	8,2	8,4	59	13,1	35,4	1,5	2,0	0,04	0,0	0,0
р. Итгла										
26.07. 1972 г.	7,5	8,3	59	15,0	38,5	1,2	0,0	0,05	0,0	0,0
р. Пучкас										
27.07. 1972 г.	8,3	17,7	80	10,9	38,5	3,1	2,0	0,06	0,0	0,0
р. Водла										
27.07. 1972 г.	8,3	12,5	42	7,0	22,2	2,5	75,0	0,04	0,002	0,3
р. Макаровка										
29.07. 1972 г.	7,5	-	28	3,6	22,2	4,6	45,0	0,04	0,004	0,40
р. Кой										
15.08. 1972 г.	8,3	9,0	59	13,1	35,4	1,5	2,0	0,04	0,0	0,0
6.07. 1973 г.	7,5	7,1	62	14,8	53,8	2,0	0,0	0,03	0,0	0,0
20.08. 1974 г.	7,4	9,6	99	-	-	0,8	0,0	0,08	0,0	0,1

Содержание кислорода в пробах колеблется от 7,1 до 17,1 мг/л, что соответствует 84 – 150% насыщения. Надо отметить, что все пробы взяты в период открытой воды и нет данных о кислородном режиме под ледяным покровом.

Воды малых притоков богаты растворенными органическими веществами, о чем говорят высокая цветность и окисляемость.

Содержание фосфора в их водах невелико, и только в пробах из рр. Водла и Макаровка отмечено его значительное количество. Поскольку все пробы взяты летом, в некоторых реках, видимо, из-за потребления его растительностью, фосфор не обнаружен. Постоянно обнаруживается аммиачная форма азота, нитраты и нитриты присутствовали не во всех пробах.

Неотделимы от водной системы озера протока Большой Пучкас и ее притоки. Она соединяет юго-восточный плес озера с р. Сухоной, впадая в нее выше шлюза «Знаменитый». Длина ее около 20 км. Стационарные наблюдения за химизмом и гидрологическим режимом на протоке не проводились. Некоторые данные имеются в материалах Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, полученных при выполнении

исследований экологического состояния водотоков бассейна р. Сухона [74], в работах Института «Вологдагипроводхоз» [87].

На рис. 1.8 приведена схема размещения створов, в которых в начале июля 1993 г. были отобраны пробы воды, а затем обработаны в комплексной аналитической лаборатории Вологодского областного комитета охраны природы.

Во время отбора проб количество взвешенных веществ плавно уменьшалось вниз по протоке с некоторым заметным нарушением этой картины в створе ниже впадения р. Возьма. Величина рН также несколько понижалась от истока к устью (табл. 1.22).

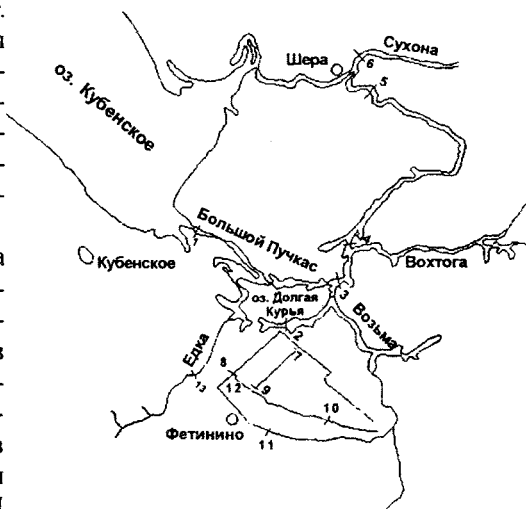


Рис. 1.8. Схема расположения створов отбора проб воды на водотоках системы протоки Б. Пучкас в июле 1993 г.

Таблица 1.22

Результаты химического анализа проб вод системы озеро Кубенское – протока Большой Пучкас – р. Сухона, 1, 6 июля 1993 г.

Взвешенные вещества, мг/л	рН	БПК _{полн.} , мгО ₂ /л	Азот аммонийный NH ₄ ⁺ , мг/л	Нитриты NO ₂ ⁻ , мг/л	Нитраты NO ₃ ⁻ , мг/л	Фосфаты Р, мг/л	Хлориды Cl, мг/л	Сульфаты SO ₄ ⁻ , мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Окисляемость бихром.	Фенолы, мг/л
Исток протоки Б. Пучкас											
3,4	7,95	4,55	0,21	0,008	-	0,01	2,43	89,09	0,17	38,8	0,041
оз. Долгая Курья											
2,4	7,86	4,65	0,69	0,004	0,123	0,018	4,85	63,78	0,33	67,9	0,024
Б. Пучкас - ниже устья р. Возьма											
7,0	7,54	3,99	0,48	0,004	0,06	0,102	3,88	55,35	0,24	48,5	0,030
Б. Пучкас - ниже устья р. Вохтога											
2,0	7,32	5,8	0,39	0,005	0,063	0,046	3,88	60,9	0,08	48,5	0,022
Б. Пучкас - 2 км выше устья											
2,2	7,27	4,55	0,54	0,007	0,053	0,20	6,31	23,04	0,24	40,2	0,030
р. Сухона - н/б гидроузла № 7											
2,9	7,58	3,5	0,46	0,003	0,090	0,080	4,61	49,39	0,23	49,2	0,048

Биохимическое потребление кислорода (БПК_{полн}) по всей длине протоки и в оз. Долгая Курья превышает ПДК, а ниже впадения р. Возьма, несущей навозосодержащие воды, превышает ПДК почти в два раза. Обнаружены в пробах нитриты, нитраты, фосфаты. Велико загрязнение нефтепродуктами (до 6,5 ПДК в оз. Долгая Курья). Во всех пробах обнаружены фенолы.

В это же время (30 июня 1993 г.) были отобраны пробы из водотоков на территории ООО «Фетинино» (см. схему на рис. 1.8). Величина водородного показателя рН в этих створах несколько превышает его значения в протоке, БПК_{полн} во всех створах в несколько раз выше ПДК (табл. 1.23). Во всех створах велико количество аммонийного азота, показателя поступления навозосодержащих вод, что согласуется с большими величинами бихроматной окисляемости.

Таблица 1.23

**Результаты химического анализа водотоков
на территории ТОО «Фетинино», 30 июня 1993 г.**

Створ (№ по рис. 1.8)	рН	БПК _{полн} , мгО ₂ /л	Азот аммо- нийный NH ₄ , мг/л	Нит- риты NO ₂ , мг/л	Нит- раты NO ₃ , мг/л	Фосфа- ты Р, мг/л	Хлори- ды Сl, мг/л	Сульфаты SO ₄ , мг/л	Неф- тепро- дукты, мг/л	СПАВ	Окисля- емость бихром.
7	8,31	11,4	2,63	0,04	2,11	0,12	63	104	0,00	0,03	-
8	8,12	2,5	2,52	0,01	1,12	0,06	53	24	0,00	0,04	-
9	7,55	5,5	2,61	0,06	7,0	0,17	77	47	0,00	0,00	77
10	7,46	8,0	3,08	0,02	1,18	0,05	29	56	0,00	0,02	86
11	7,32	8,2	2,25	0,00	0,00	0,11	687	66	0,10	0,01	-
12	7,33	12,0	3,90	0,05	7,8	0,01	84	71	0,00	0,01	72
13	7,61	3,4	2,28	0,03	1,18	0,06	3,6	24,0	0,00	0,03	77

Видимо, в овраждающие каналы НГ-1 и НГ-2 польдерной системы ТОО «Фетинино» попадают загрязняющие вещества. Превышение ПДК в створе № 11 по нефтепродуктам, вероятно, связано с влиянием площадки по хранению ГСМ.

Некоторое представление о гидрохимическом режиме протоки Б. Пучкас дают результаты анализа проб, отобранных весной, летом, осенью и зимой в створах, расположенных в 2 и 9 км от ее истока (табл. 1.24 и 1.25) [74].

В верхнем створе заметно увеличение содержания хлоридов, железа, жесткости от весны к зиме. Концентрации меди и цинка практически постоянны. Увеличивается концентрация хлоридов, железа, калия и натрия.

Динамика содержания взвешенных веществ объясняется изменением гидравлики протока по гидрологическим сезонам. В нижнем створе это также прослеживается.

Таблица 1.24

Ионный состав воды протоки Б. Пучкас (2 км от истока)

Дата отбора проб	Взвешенные вещества, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Жесткость, мг-экв./л	Железо, мг/л	Калий, натрий, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л
29.05.1991 г.	6,0	0,5	-	4,8	-	2,0	0,002	0,002
13.08.1991 г.	43,0	6,5	-	5,0	0,35	2,0	п/о	0,002
20.03.1992 г.	1,0	24,0	98,0	22,0	1,4	1,7	0,002	0,002

Таблица 1.25

Ионный состав воды протоки Б. Пучкас (9 км от истока)

Дата отбора проб	Взвешенные вещества, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Жесткость, мг-экв./л	Железо, мг/л	Калий, натрий, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л
29.05.1991 г.	0,5	22,3	-	5,0	0,1	5,7	0,002	0,002
13.08.1991 г.	32,0	6,0	-	-	0,63	2,0	-	0,002
11.11.1991 г.	-	15,6	26	13,8	0,45	1,5	0,002	0,002
20.03.1992 г.	12,5	17,0	59,0	35,0	2,8	3,0	0,002	0,002

В табл. 1.26 приведены значения растворенного кислорода в верхнем створе. Если в период открытой воды все благополучно, то в зимнюю межень кислорода явно недостаточно, что может приводить к заморам рыбы. Вода загрязнена аммонийным азотом (почти 2 ПДК), обнаружены СПАВ, нефтепродукты, лигносульфонаты и фосфорорганические пестициды.

Таблица 1.26

Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде протоки Б. Пучкас (2 км от истока)

Дата отбора проб	O ₂ , мг/л	pH	БПК ₅	Ионы аммония, мг/л	Нитраты, мг/л	Нитриты, мг/л	Фосфаты, мг/л	СПАВ, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Лигносульфонаты, мг/л	Фосфорорганические пестициды, мкг/л
29.05.1991 г.	7,2	7,3	1,6	0,7	0,6	-	0,6	0,001	0,6	-	-
13.08.1991 г.	13,7	8,0	1,5	0,75	0,4	-	-	0,003	0,1	0,006	32,8
20.03.1992 г.	2,8	7,9	2,6	0,9	0,3	-	-	0	0	0,001	87,0

В нижерасположенном створе картина приблизительно похожая (табл. 1.27), но значительно выше аммонийное загрязнение. Возможно, что причина этого в поступлении навозосодержащих стоков с территории сельскохозяйственных предприятий, в том числе и свинокомплекса «Дубровское», в р. Возьма и далее – в Б. Пучкас.

Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде протоки Б. Пучкас

Дата отбора проб	O ₂ , мг/л	pH	БПК ₅	Ионы аммония, мг/л	Нитраты, мг/л	Нитриты, мг/л	Фосфаты, мг/л	СГВВ, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Лигносульфонаты, мг/л	Фосфорорганические пестициды, мг/л
29.05.1991 г.	4,9	7,3	3,0	3,4	1,3	0,15	2,4	0,001	0,4	-	-
13.08.1991 г.	13,9	7,5	1,8	0,63	0,4	-	н/о	0,004	-	0,019	33,6
11.11.1991 г.	13,9	8,2	2,5	0,6	0,5	следы	0,1	-	-	0,049	15,5
20.03.1992 г.	2,4	7,2	8,6	4,5	0,5	-	н/о	-	0,1	0,058	-

По ионному составу воды протоки Б. Пучкас и ее притоков относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

Рассматривая гидрохимические показатели вниз по протоке, можно отметить тенденции к проявлению процессов самоочищения. Фиксируется снижение концентрации взвешенных веществ, фосфора, сульфатов. Более выраженные процессы самоочищения обнаруживаются по данным химических анализов в створах на водотоках в бассейне протоки и по створам основного водоприемника [74].

Химический состав вод самого озера, интегрируя свойства притоков и атмосферных осадков, выпадающих на его поверхность, формируется в условиях высокой интенсивности водообмена и относительно низкого испарения. В результате минерализация вод невысока и имеет хорошо выраженный сезонный ход.

На рис. 1.9, построенном по результатам наблюдений Института озераведения [68], хорошо прослеживается динамика концентрации основных ионов и их суммы внутри года. Она может принимать значения от 90 мг/л и менее до 430 мг/л и более.

Ниже, в табл. 1.28, приведены данные по основным компонентам ионного состава воды озера из работы [38].

По химическому составу вода озера в любое время года относится к гидрокарбонатному классу группы кальция. Зимой и летом она умеренно жесткая (3,5 – 4 мг-экв./л), весной и осенью – мягкая (1,5 – 2,5 мг-экв./л).

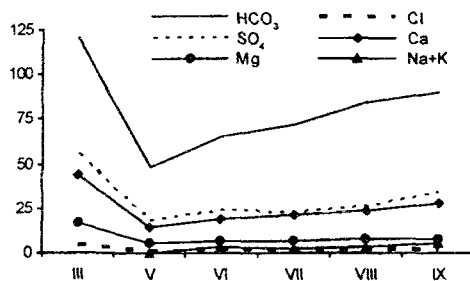


Рис. 1.9. Ионный состав (мг/л) воды на центральной станции озера (поверхность) в 1972 г.

Таблица 1.28

Основной ионный состав воды озера Кубенского по сезонам

Дата	pH	Сумма, мг/л	Экв.-%						Мг/л					
			HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na +K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na +K
Зимняя межень														
31.03.1965 г.	6,8	264,7	32,4	16,1	1,5	33,8	14,7	1,1	141,5	55,3	3,9	48,4	12,8	2,8
23.11.1966 г.	6,4	234,0	32,5	16,9	0,6	32,2	16,4	1,4	125,7	51,2	1,4	40,8	12,7	2,2
15.03.1967 г.	-	268,9	34,6	14,6	0,8	33,6	16,1	0,3	152,5	50,8	2,2	48,7	14,2	0,5
На пике весеннего половодья														
24.05.1965 г.	8,4	136,2	34,0	14,9	1,1	30,5	19,2	0,3	76,9	26,4	1,4	22,7	8,6	0,2
23.05.1966 г.	6,5	135,5	36,1	12,8	1,1	34,7	14,2	1,1	79,3	22,3	1,6	25,1	6,2	1,0
11.05.1967 г.	6,0	124,8	28,5	19,4	2,1	28,8	14,7	6,5	59,2	31,8	2,6	19,6	6,1	5,5
Летний спад уровней														
11.08.1965 г.	-	133,7	33,7	14,6	1,7	34,5	15,2	0,3	74,4	25,3	2,1	25,0	6,7	0,2
11.08.1967 г.	7,0	175,1	33,8	14,7	1,5	28,0	12,7	9,3	95,8	32,9	2,4	26,0	7,2	10,8
Осенний период, дождевой паводок														
30.10.1966 г.	-	182,4	32,4	16,1	1,5	33,3	16,5	0,2	98,2	38,3	2,6	33,1	10,0	0,2

Таблица 1.29

Содержание органических и биогенных соединений в воде озера Кубенского по сезонам

Дата	Минерализация, мг/л	pH	Цветность по Pt-Co шкале, градус	Окисляемость, мгО/ К			NO ₃ мг/л	NO ₂ мг/л	Фосфаты мгP/л	Железо общее мгFe/л	Кремний мгSi/л
				бихроматная	перманганатная						
					мгО/л	% от бихроматной					
Зимний период											
31.03. 1965 г.	264,7	6,8	92	-	22,4	-	0,5	-	-	0,64	4,2
23.03. 1966 г.	234,0	6,4	40	35,6	17,6	49,4	-	-	0,171	0,64	2,4
15.03. 1967 г.	268,9	-	-	47,4	21,9	45,9	0,5	-	-	0,62	2,9
Весенний период											
24.05. 1965 г.	136,2	8,4	48	-	20,8	-	-	-	-	1,08	2,4
23.05. 1966 г.	135,5	7,4	66	41,4	19,2	46,4	-	-	0,047	0,32	2,2
11.05. 1967 г.	124,8	7,0	40	65,6	25,3	38,5	-	-	0,028	0,11	2,7
Летний период											
11.08. 1965 г.	133,7	-	40	-	24,0	-	-	-	-	1,64	3,3
11.08. 1967 г.	175,0	7,2	64	-	16,5	-	-	-	0,045	0,20	3,2
Осенний период											
30.10. 1966 г.	182,0	8,3	40	-	16,0	-	-	-	-	0,36	1,6

Весной и летом вода озера не обладает выщелачивающей агрессивностью, а зимой агрессивна (содержание HCO_3 составляет 2 и более мг-экв./л). Содержание агрессивной углекислоты колеблется от 10 до 70 мг/л [38].

Величина рН в течение года изменяется незначительно – от 6,4 – 6,7 зимой до 8,4 летом (табл. 1.29).

Содержание растворенного кислорода оценивается не однозначно. Если в [36] отмечается, что для вод озера характерна высокая насыщенность растворенным кислородом на протяжении всего года, то, по мнению авторов [38], особенностью озера является зимний дефицит кислорода во всей водной толще. Приводится пример, что в марте 1973 г. в поверхностном слое воды содержание кислорода составило 0,84 мг/л, или всего 6% насыщения. Это должно было бы привести к массовой гибели рыбы в результате заморного состояния водоема.

Уже в мае абсолютные величины содержания растворенного кислорода повышаются до 100 – 125% насыщения.

Летом наблюдается вертикальная стратификация кислорода, но она неустойчива из-за небольших глубин и астатического режима.

Впадающие в озеро реки и ручьи приносят со своими водами большое количество растворенных органических веществ, что отражается на показателе цветности воды в озере, величинах окисляемости и биохимического потребления кислорода.

В самом озере источником органического вещества служит фитопланктон (72% первичной продукции), а также макрофиты (18%) и перифитон (10%), т.е. организмы, формирующие слои обрастания на поверхности погруженных в воду предметов [103].

Цветность воды в озере изменяется как во времени, так и в пространстве. В период 1972 – 1974 гг. наблюдались ее величины от 27 до 186°. При этом она зачастую может служить индикатором распределения речных вод в озере [36]. По данным в.п. Коробово, ее сезонные колебания незначительны (см. табл. 1.29). Наблюдения Института озераведения зафиксировали значения бихроматной окисляемости от 33,1 до 71,6 мгО/л, перманганатной – от 6,4 до 35 мгО/л.

Поскольку водная масса озера меняется почти четыре раза в течение года, большого накопления органического вещества не происходит.

Сезонные колебания общего фосфора в воде невелики (см. табл. 1.29). Максимальная его концентрация наблюдается перед весенним половодьем. При интенсивном развитии водной растительности содержание минерального фосфора снижается.

Минеральный азот в воде озера содержится во всех трех формах: аммиачной, нитритной, нитратной. Аммиачные соединения

обнаруживаются в продолжении всего периода наблюдений, и максимум их – в весенний период за счет поступления с водосбора. Нитраты обнаруживаются в основном зимой, а нитриты были отмечены лишь однажды – 12.09.1973 г. [38]. Величины концентрации аммонийного азота иногда, по данным Санэпиднадзора, превышают ПДК, особенно в средние и высокие по водности годы. Содержание нефтепродуктов невелико. Максимальная их концентрация отмечается изредка весной в пределах 2 ПДК [29].

В зимние месяцы Санэпиднадзором замечено наличие фенолов, а также присутствие пестицидов – гексохлорана и линдана.

Поскольку минерализация притоков озера существенно различна, а его котловина морфологически разделена на ряд плесов, создаются объективные условия для формирования пространственной неоднородности как суммарной минерализации, так и отдельных гидрохимических компонентов.

Сток рр. Порозовица, Едка, Б. Ельма, Уфтяга, хотя и незначителен по их доле в водном балансе, создает повышенную минерализацию в северо-западной части озера.

Юго-восточная его часть, принимающая воды р. Кубена, имеет пониженную, по сравнению со всем озером, минерализацию. Образованию этой неоднородности, вероятно, способствует факт различия в гидрологическом режиме юго-восточного плеса и основной части озера. В маловодные зимние месяцы этот плес мелеет и превращается, как отмечалось выше, в узкую протоку между устьем р. Кубена и истоком р. Сухоны (см. рис. 1.6). В результате относительно менее минерализованные воды р. Кубены зимой не разбавляют воды северо-западной части озера, что увеличивает различие в минерализации между водами этих плесов. Однако в маловодные годы, при резком повышении минерализации воды р. Кубена, в юго-восточном участке может иметь место более высокая минерализация, чем в северо-западном. Поскольку озеро мелководное, ветровое перемешивание охватывает всю толщу воды и разница в минерализации по вертикали, как правило, находится в пределах точности измерений.

Как отмечалось выше, озеро Кубенское является одним из источников водоснабжения г. Вологды. В этой связи представляет интерес рассмотреть свойства его вод в свете требований водоподготовки для централизованного водоснабжения. Как известно, химический состав природных вод подвергается трансформации под действием антропогенной нагрузки. В водоприемники со сточными водами поступает целый ряд загрязняющих веществ. Для северных рек это нефтепродукты, бензол, этилбензол, цианиды, радониды, соли тяжелых металлов, органические вещества, бактериальное загрязнение [39].

Сведения о концентрациях наиболее распространенных из них представлены в табл. 1.30.

Таблица 1.30

Концентрации наиболее распространенных загрязняющих веществ антропогенного происхождения в водосточниках [39]

Ингредиенты	Ед. изм.	Концентрации в исходной воде	Нормативы по СанПиН и нормы ВОЗ
Нефтепродукты	мг/л	1 ... 2	0,1 (0,3)
Фенолы (образующие хлор-фенольные соединения)	мкг/л	200 ... 300	1,0 (0,1)
Азот аммонийный	мг/л	10	2,0 (не уст.)
Нитраты	мг/л	65 ... 90	45,0 (не уст.)
Нитриты	мг/л	6 ... 7	3,0 (не уст.)
СПАВ	мг/л	4 ... 5	0,5 (-)
Пестициды:			
- линдан	мкг/л	20 ... 30	2,0 (3,0)
- гектахлор	мкг/л	0,3 ... 0,15	0,03 (0,1)
- атразин	мкг/л	20 ... 30	2,0
- ДДТ	мкг/л	20 ... 30	2,0 (0,1)
Соли тяжелых металлов:			
- ртуть	мг/л	0,01	0,001 (0,001)
- свинец	мг/л	0,1	0,01 (0,03)
- хром	мг/л	0,5	0,05 (0,05)
- медь	мг/л	20,0	2,0 (1,0)
- цинк	мг/л	25 ... 60	5,0 (5,0)
Железо	мг/л	0,45 ... 1,5	0,3 (0,3)
Алюминий остаточный	мг/л	1,0 ... 4,0	0,5 (0,2)
Четыреххлористый углерод	мкг/л	80 ... 200	2,0 (3,0)
Хлороформ	мкг/л	50 ... 400	200 (30)

В последнем столбце даны нормативы по СанПиН [78] и нормы, рекомендуемые Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ).

При проектировании очистных сооружений для центрального водоснабжения, выбора технологий очистки показатели качества воды имеют первостепенное значение. Технологии водоочистки, разработанные для природных вод с малой антропогенной нагрузкой, в настоящее время не справляются с очисткой по целому ряду показателей.

Какая же вода поступает на очистные сооружения централизованного водоснабжения г. Вологды? На основании данных технологического контроля за показателями качества исходной воды, полученных базовой лабораторией МУП «Вологдагорводоканал» в 1992 – 1996 гг., ученые Вологодского политехнического университета [39] проанализировали 1200 серий измерений по 26 показателям качества воды.

Сравнительная характеристика рядов наблюдений за показателями качества воды р. Вологды и оз. Кубенского в период 1992 – 1996 гг.

Наименование показателя	Ед. изм	Значение показателя		ПДК мг/л
		р. Вологда	оз. Кубенское	
Цветность	мг/л	<u>140-13</u> 53	<u>200-39</u> 76	20
Мутность	мг/л	<u>19,0-0,6</u> 3,6	<u>21,2-0,8</u> 3,8	2,6
ХПК	мг/л	<u>63,6-14,79</u> 40	<u>76,96-18,68</u> 53	-
Нефтепродукты	мг/л	<u>0,45-0,0</u> 0,15	<u>0,32-0,0</u> 0,06	0,05
Растворенный кислород	мг/л	<u>12,61-0,86</u> 7,26	<u>11,5-2,3</u> 7,65	6
Железо общее	мг/л	<u>7,46-0,0</u> 0,62	<u>9,6-0,06</u> 1,16	0,5
Перманганатная окисляемость	мг/л	<u>25,6-1,57</u> 10,56	<u>40,31-3,62</u> 16,46	10
БПК _{полн}	мг/л	<u>7,7-0,4</u> 2,19	<u>5,6-0,1</u> 2,78	менее 3
Хлориды	мг/л	<u>31,81-1,1</u> 12,61	<u>20,19-1,0</u> 8,68	300
Сульфаты	мг/л	<u>175,5-0,0</u> 59,53	<u>104,11-3,0</u> 40,03	500
Кальций	мг/л	<u>96,31-9,0</u> 46,25	<u>98,15-8,0</u> 37,0	180
Магний	мг/л	<u>118,56-5,0</u> 23,98	<u>53,38-4,86</u> 19,23	40
Фтор	мг/л	<u>1,26-0,0</u> 0,22	<u>0,2-0,0</u> 0,122	1,2
Аммоний	мг/л	<u>31,38-0,0</u> 0,38	<u>9,85-0,0</u> 0,68	0,5
Нитриты	мг/л	<u>0,59-0,0</u> 0,032	<u>0,088-0,0</u> 0,035	0,9
Нитраты	мг/л	<u>12,9-0,0</u> 2,34	<u>2,78-0,0</u> 0,97	0,02
Медь	мг/л	<u>1,74-0,0</u> 0,0289	<u>0,05-0,0</u> 0,09	0,01
Калий + натрий	мг/л	<u>86,7-0,0</u> 22,24	<u>41,2-0,0</u> 11,51	170
Марганец	мг/л	<u>16,27-0,01</u> 0,392	<u>0,768-0,063</u> 0,185	0,1
Мышьяк	мг/л	<u>0,047-0,0</u> 0,0036	<u>0,268-0,0</u> 0,005	0,05
Свинец	мг/л	<u>0,024-0,0</u> 0,0052	<u>0,023-0,0</u> 0,005	0,03
Цинк	мг/л	<u>0,033-0,0</u> 0,0062	<u>0,045-0,0</u> 0,009	0,01
Молибден	мг/л	<u>0,063-0,0</u> 0,0103	<u>0,09-0,0</u> 0,019	0,0012
Коли-индекс	число бактерий в 100 мл	<u>24000-73</u> 11500	<u>4600-20</u> 890	-
ОМЧ	число образующих колонии бактерий в 1 мл	<u>1000-5,0</u> 147	<u>300-1,0</u> 42	не более 50
Фенол	мг/л	<u>7,07-0,0</u> 0,006	<u>0,019-0,0</u> 0,003	0,001
СПАВ	мг/л	3,15-0,0	нет информации	0,1
Кадмий	мг/л	нет информации	<u>0,003-0,0</u> 0,0008	0,001

Примечание: В числителе дроби приводится max (слева) и min (справа) значения показателей, в знаменателе – норма ряда наблюдений.

В табл. 1.31, заимствованной с согласия авторов из этой работы, приведены оценки показателей качества воды, поступающей на очистные сооружения из р. Вологды и оз. Кубенского, с указанием их крайних значений (числитель) и среднего арифметического ряда наблюдений.

В правом столбце табл. 1.31 для наглядности приводим значения ПДК по наиболее строгим лимитирующим показателям вредности.

Легко убедиться, что даже средние величины концентраций целого ряда ингредиентов превышают ПДК в несколько раз. Для вологодской воды – это фенолы, СПАВ, свинец, для воды из озера – фенолы, кадмий. Высоки показатели цветности, железа, перманганатной и бихроматной окисляемости. Высока степень загрязнения по показателям биогенных веществ, СПАВ, нефтепродуктов, фенолов, кадмия, мышьяка, марганца.

По мнению авторов [39], гидрохимические показатели вод р. Вологды и оз. Кубенского в большинстве случаев не соответствуют барьерным возможностям водопроводных очистных сооружений на базе осветлителей со взвешенным осадком и скорых песчаных фильтров.

Если сравнить величины гидрохимических компонентов, приведенных в табл. 1.28 и 1.29, полученные по наблюдениям у д. Коробово, и данные табл. 1.31, можно обнаружить существенные различия по ряду показателей. Особенно заметно превышение в подаваемой на очистку воде озера по цветности и железу. На наш взгляд, это является, в значительной мере, следствием местоположения и конструктивных особенностей водозабора (п. 3.5). Водоподводящий тракт на протяжении более 5 км выполнен в виде открытого канала, который дренирует окрашенные гумидами и железистыми соединениями воды болотного массива.

1.7. Донные отложения озера и процесс седиментации

Первые публикации, в которых имелись сведения о донных отложениях озера Кубенского, появились в середине XIX века. Они были подготовлены в связи с исследованием Лача-Кубенского водного пути (Н.Я. Данилевский, Ф.К. Арсеньев).

В 1955 г. силами экспедиции Всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства была проведена батиметрическая съемка озера и составлена первая карта донных отложений.

Наиболее полно условия осадкообразования в озере исследованы Институтом озероведения в 1972 – 1973 гг. Всего было отобрано 120 проб. Результаты опубликованы А.А. Курочкиной в монографии [68]. В соответствии с ними, донные отложения озера представлены

валунно-галечными, песчаными, илистыми и глинистыми. Значения статистических показателей гранулометрического состава по результатам обработки 76 проб приведены в табл. 1.32.

Таблица 1.32

Средние и экстремальные значения статистических показателей гранулометрического состава донных отложений озера

Тип грунта	Число проб	Средний диаметр частиц и экстремальные значения (мм)	Коэффициент сортировки
Гравий	1	3,3	2,5
Песок:			
- среднезернистый	5	0,35 (0,28 - 0,45)	1,4 (1,2 - 1,7)
- мелкозернистый	24	0,17 (0,11 - 0,25)	1,6 (1,3 - 2,9)
Ил			
- крупноалевритовый	13	0,067 (0,052 - 0,10)	1,9 (1,1 - 3,2)
- мелкоалевритовый	31	0,023 (0,010 - 0,045)	2,8 (2,0 - 8,7)
- глинистый	2	0,008 (0,007 - 0,009)	3,1 (2,6 - 3,7)

Гравийный тип осадков встречается редко. Песчаные отложения состоят из мелкозернистых и среднезернистых песков, обычно заиленных. Среднезернистые пески отличаются преобладанием фракций 0,5–0,25 мм. Мелкозернистые пески заилены за счет алевритов.

Илистые отложения представлены в основном алевритовыми фракциями. Крупноалевритовые отложения (0,1–0,05 мм) чаще всего являются темными илами с медианой 0,67 мм. Наиболее часто среди осадков встречаются мелкоалевритовые илы с медианой 0,23 мм.

Пелитовый материал представлен в донных отложениях крупно- и среднепелитовыми фракциями. Доля илистой фракции невелика.

По данным [124] и нашим наблюдениям, составляющие грунтовой колонки в области распространения илов в озере начинаются с неконсолидированного слоя наилка. Ниже, примерно на 10 см, слой темного жидкого ила от 5 до 70 см. Кое-где обнаружен слой рыхлого белесого карбонатного ила с сильным запахом сероводорода (1–40 см). Общая мощность илового слоя, лежащего на серой гомогенной глине, составляет около 1 м или немногим более. Время накопления этого слоя определено В.И. Хомутовой и составляет около 7,5 тыс. лет. Это позволяет оценить интенсивность осадконакопления. Приняв мощность осадков в 1 м, разделив на период накопления, получим среднюю величину илонакопления примерно 0,13 мм/год.

По данным о среднегодовом притоке в озеро, равном 4,1 км³, и принятой величине средней годовой мутности для притоков, равной 12 г/м³, суммарная величина годового притока взвешенных веществ в озеро составит 48 тыс. т.

Оценив среднегодовой сток р. Сухоны из озера величиной $4,2 \text{ км}^3$ и приняв среднюю мутность стока из озера 3 г/м^3 , А.А. Курочкина [68] получила оценку осаждающегося в озере вещества около 35 тыс. т.

Если это количество равномерно распределить по площади озера и принять объемный вес осадка равным единице, то толщина годового слоя определится величиной, равной $0,09 \text{ мм}$.

В рамках работы [87] нами была выполнена оценка стока наносов в озеро. По данным наблюдений за твердым стоком на р. Кубена в створе д. Кубенская ($F=4860 \text{ км}^2$), за 1975 – 1986 гг. среднегодовой расход взвешенных наносов составил $0,38 \text{ кг/с}$, что определило модуль твердого стока – $2,47 \text{ тыс. т/км}^2$. При среднегодовом расходе воды $46 \text{ м}^3/\text{с}$ мутность получается равной $8,26 \text{ г/м}^3$, что существенно ниже величины, принятой в расчетах [68].

Кратковременные наблюдения Института «Вологдаинжпроект» за твердым стоком на рр. Уфлюга и Ухтомица позволяют предположить, что мутность на этих притоках еще ниже. Так, на р. Ухтомица даже в период весеннего половодья ее величина не поднималась выше $1,4 \text{ г/м}^3$.

Сток наносов западных притоков, видимо, существенно выше. В качестве оценки многолетнего значения твердого стока по этим рекам можно взять величину мутности по аналогии с р. Лежа ($F=1230 \text{ км}^2$, лесистость 73%): среднегодовую мутность – $15,9 \text{ кг/м}^3$, расход – $0,14 \text{ кг/с}$, модуль годового стока наносов – $3,58 \text{ тыс. т/км}^2$.

Ориентируясь на среднемноголетний модуль стока наносов, водосбор озера можно условно поделить на три части: водосбор р. Кубена с восточными притоками, водосбор р. Уфлюга, водосбор р. Порозовица с западными притоками. Результаты расчетов твердого стока при таких оценках приведены в табл. 1.33.

Таблица 1.33

Параметры твердого стока с водосбора озера Кубенского

Водосбор	Площадь, км ²	Среднегодовой расход воды (м ³ /с) и объем (км ³)	Среднегодовой модуль стока наносов (тыс. т/км ²) у мутность (г/м ³)	Среднемноголетний сток наносов, тыс. т	Водосбор включает, %	
					лес	болото
р. Кубена и восточные притоки	11283	$\frac{100}{3,15}$	$\frac{2,47}{8,26}$	26,0	96	3
р. Уфлюга	1280	11,6	0,906	0,366	63	2
р. Порозовица и западные притоки	1877	$\frac{14,5}{0,46}$	$\frac{3,58}{15,9}$	7,2	58	2
Всего	1440	$\frac{126,1}{4,0}$	$\frac{2,47}{8,6}$	33,64		

Величина среднемноголетнего стока наносов в озеро с учетом гидрометрических измерений, проведенных в 1970–1980-х гг., составила 33,6 тыс. т в год без учета поступления в озеро 1,4 тыс. т наносов во время обратного стока р. Сухоны в периоды весеннего половодья. При этом оценка средневзвешенной мутности стока с водосбора составляет 8,6 г/м³. Это несколько ниже оценки [124], но является величиной того же порядка.

В ходе работы [87], в соответствии с техническим заданием, в целях исследования донных отложений озера на содержание в них тяжелых металлов, летом 1992 г. и зимой 1993 г. при помощи стандартного гидрометрического дночерпателя Петерсона были отобраны две серии проб донных отложений, объемом до 3 л каждая. Лабораторный анализ проб серии 1992 г. выполнен лабораторией Вологодской станции химической защиты растений. Пробы, взятые в 1993 г., обработаны лабораторией тяжелых металлов почвенного факультета Московского государственного университета. Результаты лабораторных анализов приведены в табл. 1.34.

Таблица 1.34

Тяжелые металлы в донных отложениях озера Кубенского
(по двум сериям из шести проб)

Металлы	Среднее содержание в дерново-подзолистой почве, %	Значение кларков, %			Количество в донных отложениях, %		
		в глинах	в песках	в земной коре	мелкоалевритовый ил	крупноалевритовый ил	песок заиленный
Железо	3,8	4,8	2,8	4,65	<u>2,30</u> 2,5	<u>2,30</u> 2,2	<u>0,9</u> 1,5
Марганец	0,085	0,08	0,04	0,1	<u>0,038</u> 0,046	<u>0,038</u> 0,040	<u>0,016</u> 0,030
Хром	0,020	0,03	0,002	0,008	<u>0,004</u> 0,006	<u>0,004</u> 0,003	<u>0,002</u> 0,003
Никель	0,004	0,007	0,0002	0,006	<u>0,0029</u> 0,0038	<u>0,0025</u> 0,0020	<u>0,0014</u> 0,0008
Медь	0,002	0,0045	0,0001	0,0047	<u>0,0010</u> 0,0018	<u>0,0009</u> 0,0004	<u>0,0006</u> 0,0004
Цинк	0,005	0,0095	0,0016	0,0083	<u>0,007</u> 0,0063	<u>0,0080</u> 0,0062	<u>0,0045</u> 0,0039
Кобальт	0,0008	0,0019	0,00003	0,0018	<u>0,0011</u> 0,0012	<u>0,0010</u> 0,0008	<u>0,0006</u> 0,0003
Свинец	0,0012	0,0020	0,0007	0,0016	<u>0,0035</u> 0,0016	<u>0,0034</u> 0,0015	<u>0,0018</u> 0,0009
Кадмий	0,00005	-	-	0,000013	<u>0,00008</u> -	<u>0,00007</u> -	<u>0,00005</u> 0,00002
Ртуть	0,000001	-	-	0,000008	<u>0,000014</u> -	<u>0,00002</u> -	0,00002

Места отбора – в районе Шелина мыса на глубине около 3 м и в юго-восточной части озера, на фарватере, недалеко от начала подводящего канала водозабора для г. Вологды.

По механическому составу пробы представлены заиленными песками, крупно- и мелкоалевритовым илом. Значения статистических показателей, определенные лабораторией Института «Вологдаинжпроект», соответствуют полученным на более представительном материале [68] (см. табл. 1.32).

Для удобства анализа (см. табл. 1.34) приведено среднее содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах и значения их кларков² в земной коре и в осадочных породах.

Величины содержания железа и марганца (см. табл. 1.34) не противоречат полученным на более обширном материале значениям, опубликованным в [68]. В зависимости от механического состава содержание железа колеблется от 0,9% (первая серия) для песков до 2,5% (вторая серия) – для мелкоалевритового ила. Это значительно ниже его кларкового значения в глинах. Низкое содержание железа в донных отложениях можно объяснить тем, что гумифицированные воды, поступающие в озеро, удерживают его в растворе.

Содержание марганца в наших пробах колеблется от 0,016 до 0,046%. По данным [68], оно может изменяться от 0 до 0,14%. Максимальные значения относятся к северной части озера. Его содержание в мелкоалевритовых илах в два раза выше, чем в песках, но не превышает кларкового значения для глинистых отложений, как и среднего содержания в дерново-подзолистых почвах.

Содержание хрома и никеля, обнаруженных в донных отложениях озера, намного ниже кларковых величин для земной коры и несколько превышают кларки для песков, хотя и меньше среднего содержания их в дерново-подзолистых почвах.

Величины меди и цинка несколько превышают кларковые значения для песков и находятся на уровне или несколько ниже среднего содержания этих металлов в почвах, но значительно ниже их кларков в глинистых отложениях.

Содержание кобальта приблизительно соответствует его содержанию в почвах, значительно, почти в 2 раза, уступая кларковой величине.

Валовое содержание свинца в илах превышает кларковую величину для глинистых отложений и примерно соответствует ПДК для

² По предложению А.Е. Ферсмана, с 1933 г. так стали называть величину среднего содержания элемента в Земле в целом или в других природных телах.

почв, регламентированной Главным санитарно-эпидемиологическим управлением в 1988 г. Оценки по этому элементу, как и по кадмию, полученные в Вологде и Москве, отличаются примерно в 2 раза.

Содержание кадмия в илах несколько превышает среднее его значение для почв и значительно превышает кларковую величину.

Анализ на ртуть выполнен только один раз – для проб, отобранных в 1992 г. Содержание ртути примерно в 2 раза больше кларка, в 20 раз – среднего содержания в почве, но в 10 раз меньше ПДК, установленной Главным санитарно-эпидемиологическим управлением в 1982 г. и 1985 г. для почв.

На основании информации (см. табл. 1.34) и [68] можно заключить, что донные отложения озера отличаются низким содержанием марганца, железа и фосфора, высоким содержанием серы. Содержание в отложениях железа, марганца, хрома, никеля и меди ниже их кларков.

Цинк и кобальт содержатся примерно в тех же концентрациях, что и в дерново-подзолистых почвах, но в значительно меньших, чем кларковые величины для глинистых отложений [60].

Содержание свинца, кадмия и ртути превышает среднее содержание этих элементов в почвах.

Концентрация всех тяжелых металлов в донных отложениях на 2 – 4 порядка выше, чем ПДК для воды. Тяжелые металлы накапливаются в иловых отложениях за счет сорбции их глинистыми минералами, илами гидроокиси железа и алюминия, карбонатами кальция. Обратный процесс, т.е. переход этих элементов из илов в воду, происходит по времени значительно медленнее, а в некоторых случаях процесс концентрации в отложениях вообще необратим [120].

Различие между результатами обработки серии проб, отобранных летом, и зимней серией статистически незначимо. Оно менее амплитуды колебаний оценок концентраций металлов в зависимости от гранулометрического состава отложений.

Очень важным является вывод о том, что в озере не происходит накопления в осадках органического вещества, за исключением закрытых, изолированных участков.

1.8. Процесс эвтрофикации озера

В процессе лимногенеза каждый водоем проходит ряд трофических состояний. Поскольку процесс эвтрофирования с учетом антропогенного влияния сложен, до настоящего времени нет общепринятого критерия выделения степеней трофности.

Известен, например, результат исследования трофического статуса глубоководного водохранилища Каньон в центральной части штата Техас (США) с определением 22-х показателей [123]. При этом по 11-ти показателям оно было классифицировано как олиготрофное, по 4-м – как мезотрофное, а по 7-ми – как эвтрофное. Год исследования отличался повышенной водностью. В других гидрологических условиях результат, несомненно, будет иным.

Процесс эвтрофикации, по сути, заключается в обогащении водоема органическими веществами преимущественно растительного происхождения. В последние годы отмечается ускоренное эвтрофирование озер. Даже некоторые части Балтийского моря прошли всего за 20 – 30 лет путь от мезотрофного статуса к эвтрофному [65].

Растительность любого водоема делится на фитопланктон и макрофиты.

Фитопланктон – мельчайшие водоросли, создающие первичное органическое вещество. При его развитии вследствие фотосинтеза происходит, в частности, поглощение углерода и выделение кислорода.

На начальных этапах рост степени трофности водоема благоприятствует увеличению кормовых ресурсов и способствует процветанию их биоценоза. Так происходит, пока концентрация биомассы фитопланктона в летний период не достигает 1 – 5 кг/м² (табл. 1.35).

Таблица 1.35

Степень трофности озер и валовая первичная продукция углерода [63]

Степень трофности	Максимальная суточная продукция, г/м ²	Годовая продукция, г/м ²
Гипертрофное	2 – 4	200 – 300
Эвтрофное	0,7 – 2,0	70 – 200
Мезотрофное	0,3 – 0,7	30 – 70
Олиготрофное	0,1 – 0,3	10 – 30

В дальнейшем на основе обильного потребления органических веществ начинается бурное развитие бактерий, грибов, детритофагов. Вещества отмерших организмов осаждаются на дно, угнетают бентос. При этом на распад органических веществ расходуется необходимый зоопланктону, бентосу и рыбам кислород. Происходит вторичное загрязнение водоема.

С практической точки зрения, накапливается агрессивная к бетону углекислота. Повышается содержание в воде минеральных соединений азота и углерода, что приводит к ухудшению органолептических свойств воды, накоплению токсичных продуктов. Подготовка вод для питьевого водоснабжения усложняется и требует увеличения расхода коагулянтов.

На рис. 1.10 приведена схема, которая может способствовать пониманию сложного процесса эвтрофирования. Следует отличать эвтрофирование от загрязнения. Последнее, по сути, – это проявление сброса в водоем токсичных веществ, приводящих к отравлению флоры и фауны или к подавлению биопродуктивности. Эвтрофирование же на первых порах ее увеличивает.

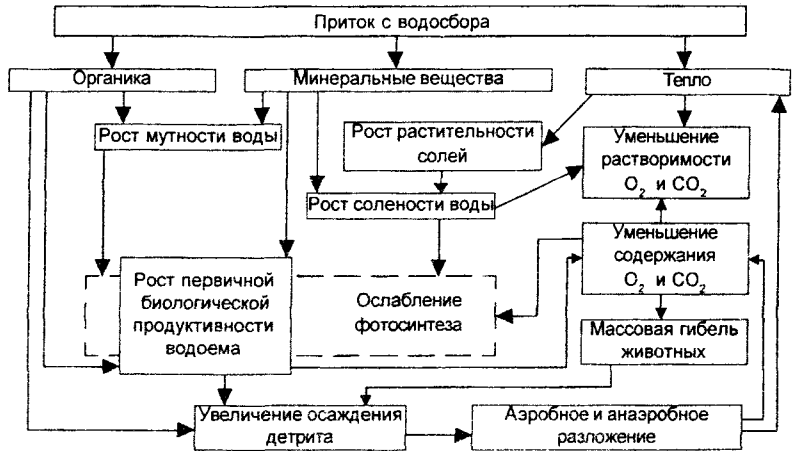


Рис. 1.10. Обобщенная схема механизма эвтрофирования водоемов (по [131])

Наиболее простым способом определения эвтрофного статуса водоема является сравнение фактических концентраций биогенных веществ в водоеме с предельно допустимыми значениями (табл. 1.36).

Таблица 1.36

Значения предельно допустимых концентраций некоторых биогенных веществ

Название веществ, химическая формула	Хозяйственно-питьевые	Рыбохозяйственные
Нитраты (NO_3)	10,0	9,0
Аммонийный азот (NH_4)	2,0	0,05
Аммония:		
метаванадит (NH_4VO_3)	2,0	-
нитрат (NH_4NH_3)	2,0	0,5
перхлорат (NH_4ClO_2)	5,0	0,008
роданид (NH_4SCN)	0,1	0,5
сульфанат ($\text{NH}_4\text{OSO}_2\text{NH}_2$)	2,0	-
сульфат (NH_4) $_2\text{SO}_4$	2,0	1,0
хлорид (NH_4Cl)	2,0	1,2
дихромат (NH_4) $_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	-	0,05

Известен способ оценки трофического уровня водоема по содержанию общего фосфора, присутствие которого в воде зачастую имеет решающее значение из-за своей способности связывать ряд элементов и относительно короткого цикла обращения [125].

По укрупненным оценкам, наличие в воде каждого грамма минерального фосфора при прочих благоприятных условиях может стать источником образования 100 г сухого органического вещества.

Диапазон концентраций общего Р, мкг/л	0 - 10	10 - 20	> 20
Трофический статус водоема	Олиготрофный	Мезотрофный	Эвтрофный

Одна из наиболее многофакторных классификаций степени трофности водоемов по совокупности физико-химических гидробиологических показателей составлена Л.И. Цветковой [63] (табл. 1.37).

Таблица 1.37

Классификация степени трофности водоемов по Л.И. Цветковой

Показатель	Степень трофности				
	дистрофные	ультраолиготрофные	олиготрофные	мезотрофные	эвтрофные
Численность фитопланктона, млн кл/дм ³	< 0,07	0,07 - 0,35	0,35 - 3,85	3,85 - 20,0	> 20,0
Биомасса фитопланктона, мг/дм ³	< 0,13	0,13 - 0,50	0,50 - 5,0	5,0-26,0	> 26,0
Диатомовые водоросли, % от общей численности	-	100 - 95	95 - 15	15-0	-
Сине-зеленые водоросли, % от общей численности	-	-	0 - 55	55 - 85	85 - 100
БПК ₅ , мг/дм ³	0,0 - 0,4	0,4 - 2,3	2,3 - 3,3	3,3 - 5,5	> 5,5
Хлорофилл "а", мкг/дм ³	< 0,1	0,1 - 6,0	6,0 - 16,0	16,0 - 60,0	> 60,0
Растворенный кислород, %	50 - 65	65 - 95	95 - 105	50 - 155	< 50 - > 155
Аммоний (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	< 0,001	0,001 - 0,025	0,025 - 0,15	0,15 - 0,60	> 0,60
Нитриты (NO ₂ ⁻), мг/дм ³	< 0,001	0,001 - 0,010	0,010 - 0,015	0,015 - 0,06	> 0,06
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	< 0,001	0,001 - 0,010	0,010 - 0,20	0,20 - 0,30	> 0,30
Сумма минеральных форм азота (N), мг/дм ³	< 0,003	0,003 - 0,05	0,050 - 0,35	0,35 - 0,95	> 0,95
Минеральный фосфор (Ppo ₄ ⁻), мг/дм ³	< 0,001	0,001 - 0,010	0,010 - 0,030	0,030 - 0,25	> 0,25
Кремний (Si _{SD3} ²⁻), мг/дм ³	< 0,001	0,001 - 0,05	0,05 - 0,30	0,30 - 0,65	> 0,65

Приведем краткую характеристику водоемов различной степени трофности [63]:

1. Олиготрофные (малокормные) водоемы. Обычно глубокие, со слабо развитой литоралью. Грунты бедны органическими веществами. Вода холодная, прозрачная. Высока насыщенность кислородом, фито- и зоопланктон беден, так же как зообентос и рыбное население.

2. Эвтрофные (высококормные) водоемы. Обычно неглубокие, хорошо прогреваемые, с частым дефицитом кислорода в гипolimнионе. Литораль сильно зарастает макрофитами. Фито- и зоопланктон богаты. Обильны зообентос и ихтиофауна.

3. Мезотрофные (среднекормные) водоемы. Занимают промежуточное положение между олиготрофными и эвтрофными водоемами.

4. Иногда выделяют ультраолиготрофные водоемы. Они очень глубокие, холодные, со скудной флорой и фауной.

5. Дистрофные водоемы мелки, с сильногумифицированной и слабоминерализованной водой. Планктон и бентос слабы. Эти водоемы часто безрыбны.

6. Гипертрофные отличаются очень высокой степенью насыщенности органическим веществом.

Опубликовано большое количество моделей эвтрофирования водоемов различной сложности. Значительная их часть представлена сложными имитационными моделями, учитывающими множество факторов. Есть модели, использующие традиционные методы оптимизации. Анализ и обзор работ по моделированию эвтрофикации можно найти в [54].

Для определения и прогноза статуса трофности водоема может быть использован график, полученный Р. А. Волленвейдером [63] (рис. 1.11).

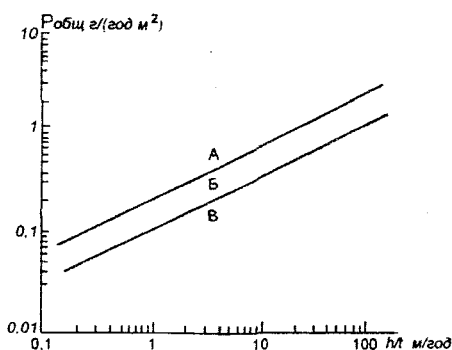


Рис. 1.11. График для оценки степени трофности водоема (А – эвтрофная зона, Б – мезотрофная зона, В – олиготрофная зона)

На логарифмической шкале оси ординат графика откладывается удельная нагрузка общим фосфором P за счет поступления с водосбора, а по логарифмической шкале оси абсцисс – отношение средней глубины h в метрах к периоду водообмена τ в годах. Поле графика разделено на три области: 1) олиготрофную, 2) мезотрофную, 3) эвтрофную.

Удельная нагрузка общим фосфором Р для использования графика при отсутствии фактических данных может быть вычислена по формуле Р.А. Волленвейдера:

$$P = \frac{P_0}{1 + \sqrt{\tau}},$$

где: P_0 – фосфорная нагрузка на единицу объема водоема, г/год m^3 ;
 τ – период водообмена в годах.

В первом приближении вынос общего фосфора с водосбора (г/год m^2) рекомендуется принять следующим: для дерново-средне-подзолистых почв – 1,2–1,4; для торфяно-болотных – 0,02–0,20.

Наряду с методами определения трофического статуса, учитывающими гидрохимические, гидрологические и гидробиологические особенности водных экосистем, развиваются способы биоиндикации, когда оценку качества получают по показателям состояния индикаторных видов или сообществ, населяющих водный объект.

Известные методы Сладечека, Ватанебе, ВНИИприроды для биоиндикации состояния водных экосистем и качества воды водоемов опираются на результаты исследований сообществ водорослей, которые могут служить индикатором трофического статуса экосистемы и позволяют судить о том, на какой стадии сукцессии она находится. При этом учитывается видовое разнообразие и обилие водорослей, которые первыми в трофической цепи реагируют на поступление загрязнений. В последние годы предпринимаются попытки объединить для совместного анализа в целях диагностики показатели сложности и структуры сообщества, показатели биоразнообразия, качества воды. Хорошим результатом этого подхода может быть признана единая модель функционирования водных экосистем, опубликованная в [17] (рис. 1.12).

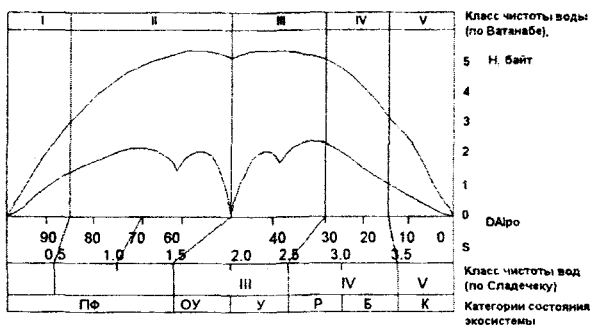


Рис. 1.12. Единая модель функционирования водных экосистем

DAlpo и S – индексы сапробности;

H – индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера (см. п. 2.8).

Обозначения критериев и категорий состояния водных экосистем приведены ниже, в табл. 1.38.

Развитие концепции видового разнообразия в экологии сообществ привело к убеждению, что число видов, входящих в сообщество, не единственная мера его разнообразия.

Важна и эквистабильность, с которой особи распределены по видам. Разнообразие сообщества тем выше, чем больше видов включает оно и чем более они выравнены по их относительной численности [77].

Таблица 1.38

Критерий и категории состояния водных экосистем при антропогенном эвтрофировании водных объектов

Индекс сапробности по Сладечеку	Степень риска для водной экосистемы
0 – 1,5	Природный фон (ПФ)
1,5 – 2,0	Отсутствие угрозы существованию (ОУ)
2,0 – 2,5	Угроза существованию (У)
2,5 – 3,0	Риск существованию (Р)
3,0 – 3,5	Бедствие (Б)
3,5 – 4,0	Катастрофа (К)

Индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера H учитывает число видов в сообществе и степень их доминирования:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

где: S – общее число видов в пробе;

P_i – доля i -ого вида от общей численности или доля в биомассе пробы.

Эта формула была предложена Шенноном в 1948 г. для оценки меры информации, а затем была применена в исследованиях разнообразия экологических систем. Таким образом получилось, что оно измеряется байтами.

При $S=0$ функция H равна нулю, а при $S \rightarrow \infty$ приближается к бесконечности. Как H зависит от соотношения видов, поясним на примере.

Пусть сообщество состоит из 10 видов, а соотношение видов (доля P каждого вида в пробе) по численности распределено таким образом:

P_i (%) 36,2; 20,5; 2,4; 4,8; 1,2; 13,3; 9,6; 2,4; 3,6.

Другое сообщество тоже состоит из 10 видов, но по численности распределено равномерно, т.е. доля каждого вида равна 10%. Тогда H для первого сообщества будет равно 2,672, а для второго – 3,322. Итак, разнообразие второго сообщества будет оценено в 1,24 раза выше, чем первого, при одинаковом количестве видов.

Согласно [17], если объединить значения индексов разнообразия и индексов загрязнения из различных систем, получим поле точек, ограниченное симметричной относительно оси, разделяющей II и III класс чистоты вод, фигурой (см. рис. 1.12). При этом ее левое крыло соответствует состоянию водоема, находящегося в условиях естественной сукцессии, а правое – в условиях антропогенной сукцессии.

По табл. 1.38, в зависимости от индекса сапробности по Сладечке, можно определить степень риска для водной экосистемы, что может служить основой для принятия решений по оздоровлению водных экосистем.

Согласно данным Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, Санэпиднадзора и исследованиям Института озероведения [69], воды озера в различных его плесах и в разное время взятия проб попадают, по Сладечке, в класс чистоты II и III (индекс сапробности от 1,5 до 2,5).

В то же время решением службы Санэпиднадзора в 1994 г. воды озера в районе водозабора для городского водоснабжения были переведены из второго в третий класс по ГОСТ 2761-84, хотя в озере живут популяции очень требовательных к чистоте воды рыб, таких, как эндемическая кубенская нельма и представитель сивых – нельмушка.

Санитарно-микробиологическое понятие сапробности тесно связано с трофическим уровнем водоема. Минерализация органических веществ в воде происходит в значительной мере благодаря жизнедеятельности микробов, поэтому их количество является одним из важных показателей качества воды. Ниже приведены характеристики качества вод различной сапробности (табл. 1.39).

Таблица 1.39

Характеристики качества вод различного класса сапробности
(по ГОСТ 17.1.2.04-77)

Класс	Прозрачность не менее, м	БПК ₅ , мг/дм ³	Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	Микробное число, млн кл. в 1 см ³
Ксеносапробный	3	0,5 - 1,0	0 - 7	< 0,5
Олигосапробный	2	1 - 2	7 - 10	0,5 - 1,0
α-мезосапробный	1	2 - 3	10 - 20	1 - 3
β-мезосапробный	0,5	3 - 4	20 - 40	3 - 5
Полисапробный	0,1	4 - 15	40 - 80	5 - 10
Гиперсапробный	< 0,1	15	> 80	> 10

В соответствии с ГОСТ, различают три основных класса сапробности: 1) полисапробный; 2) мезосапробный, который делится на два подкласса – α-сапробный и β-сапробный; 3) олигосапробный. Гиперсапробный и ксеносапробный считаются дополнительными классами.

Олигосапробные водоемы отличаются водой хорошей прозрачности. Водоросли преимущественно диатомовые. Микробов мало. В любое время года вода имеет достаточное насыщение растворен-

ным кислородом. Гидробионтов немного по количеству, но видовое разнообразие их большое.

Водоемы с водой β -мезосапробного класса характеризуются разнообразием населения со значительной биомассой. Из водорослей преобладают зеленые и диатомовые. Хорошие условия для жизни рыб. Микробное число 1–3 млн кл. в 1 см³ воды. Окислительные процессы идут до конечных минеральных веществ.

В воде α -мезосапробных водоемов кислорода относительно мало. Органические вещества из-за этого распадаются не до конца – с выделением аммиака и углекислого газа. Среди водорослей преобладают сине-зеленые. Их биомасса велика. Микробов много – 3–5 млн кл. в 1 см³. Условия для жизни рыб плохие.

Почти нет кислорода в полисапробных водоемах. Вода сильно загрязнена большим количеством органики. Ее распад в анаэробных условиях происходит с выделением сероводорода, аммиака, метана, углекислого газа. Живут только сине-зеленые водоросли, но их мало. Зообентос представлен организмами, которые могут жить в анаэробных условиях. Рыбы жить не могут.

В естественных условиях гипертрофическому уровню трофии соответствуют гиперсапробный, полисапробный и α -мезосапробный классы сапробности.

Эвтрофному уровню соответствует β -мезосапробный класс, мезотрофному – олигосапробный, олигосапробному – ксеносапробный класс сапробности.

В настоящее время воды озера Кубенского по кислородному режиму, показателям окисляемости, биопродукционным показателям характерны для водоема мезотрофного типа. Учитывая это, а также данные об удельном количестве микроорганизмов, преобладание диатомовых и сине-зеленых водорослей, можно отнести воду озера к β -мезосапробному классу.

В то же время следует учитывать процесс сезонной гетеротрофной сукцессии сообществ планктона, в течение которого характеристики видового разнообразия, биопродуктивности и другие показатели могут сильно изменяться от сезона к сезону или в зависимости от погодных условий – хода температуры, ветрового режима, уровня режима, стгонно-нагонных явлений. К тому же для озера характерна неоднородность в распределении биопланктона по акватории. Отмечаются зоны повышенной концентрации бактерий в устьевых участках притоков и в реке Кубена. Высока концентрация бактерий в истоке р. Сухоны по сравнению с другими частями акватории, особенно при северо-восточных ветрах [6].

2. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОЗЕРА

2.1. Состав водохозяйственного комплекса

Озеро Кубенское – водоем комплексного использования, входящий в Северо-Двинскую шлюзованную систему, относится к бассейну р. Сухоны и имеет важное водохозяйственное, рыбохозяйственное и рекреационное значение. Оно – один из источников водоснабжения г. Вологды. Любое обострение экологической ситуации в данном бассейне может вызывать осложнение экологических проблем в г. Вологде и на примыкающих к нему территориях. В силу гидрологических особенностей, месторасположения, качества, количества и доступности водных ресурсов озеро остается на настоящее время объектом определенных противоречий участников водохозяйственного комплекса (ВХК).

В числе характерных неблагоприятных процессов, вызывающих напряжение экологической и водохозяйственной ситуации в бассейне, – значительное уменьшение площади зеркала и водной массы озера в маловодные периоды. Это ухудшает условия зимовки рыб, вызывает проблемы с бесперебойностью подачи воды из озера в г. Вологду.

Техногенное и антропогенное воздействие на водные ресурсы из-за существования на водосборе озера и в непосредственной близости от него объектов-загрязнителей обуславливает проблемы по сохранению качества этих ресурсов при использовании их в народном хозяйстве. Ситуация в бассейне озера Кубенского многократно рассматривалась в различных публикациях [23, 67, 68, 69, 94, 119 и др.]. Как правило, эти исследования, при достаточной глубине проработок, локализованы вокруг той или иной конкретной проблемы в границах водной системы озера: гидрологической, гидротехнической, рыбохозяйственной и т.п. – без соответствующего комплексного географического и экологического анализа. На наш взгляд, имеется необходимость оценки современного состояния не только водной экосистемы озера и происходящих в ней динамических процессов (смен состояний), но и системы в целом, включающей в себя как собственно водоем, так и ландшафтную систему водосбора.

Для этого предпринята попытка использования методического подхода, позволяющего провести оценку уровня антропогенной нагрузки на водные ресурсы водосборного бассейна, интегрированно отражающую происходящие на водосборе изменения. Уровень антропогенной нагрузки, стохастически связанный с экологической опасностью, возникающей в процессе природопользования, оценивается в данной работе с помощью так называемого «индекса загрязнения»

или «индекса антропогенной нагрузки», позволяющего, по нашему мнению, учитывать многофакторное воздействие с помощью группы комплексных показателей, сопоставимых между собой и дающих возможность сравнивать внешне несравнимые величины (какими, например, могут быть показатели плотности населения, объемов выброса техногенных продуктов и их концентраций, соотношение площадей антропогенных и ненарушенных природных систем и т.п.).

В бассейне озера Кубенского участниками ВХК выступают:

- сельскохозяйственное производство;
- рыболовство
- города, поселки, сельские населенные пункты;
- промышленные предприятия;
- речной транспорт;
- маломерный флот;
- рекреация.

Для бассейна р. Сухоны выделяются промышленные центры – города Вологда и Сокол. Исторически сложившееся на водосборе озера природопользование, выразившееся в типичном для северных территорий развитии уплотненной инфраструктуры вокруг водотоков и водоемов, определяет неодинаковую степень загрязненности водных ресурсов как в различных створах основных притоков и акватории озера, т. е. в пространстве, так и во времени.

Составляющие хозяйственной инфраструктуры, которые обычно относят к двум типам загрязнителей водной среды – сосредоточенным и площадным, достаточно разнообразны. Оценка комплексной антропогенной нагрузки на водные экосистемы, вследствие ее многокомпонентности, – достаточно сложная задача в силу огромного числа факторов, влияющих на общее экологическое состояние экосистемы в целом, и неоднозначной ответной реакции ее составляющих на внешнее воздействие. Эта реакция определяется не только характером, интенсивностью и составом воздействующих факторов, но и неодинаковой способностью природных систем к естественному самоочищению. В любом случае, видимо, следует исходить из принципа минимальной достаточности, позволяющей получить значимые результаты на разнородных по характеру природопользования территориях. В этой связи представляется целесообразным применить метод экологической диагностики характера и степени локального загрязнения водных ресурсов на водосборе.

Соблюдая экосистемный принцип, основывающийся на бассейновом подходе, рассмотрим ключевые факторы, определяющие качество водных ресурсов в пределах зон антропогенного и техногенного воздействия ведущих участников ВХК.

2.2. Сельское хозяйство

Как уже отмечалось выше, на водосборе озера Кубенского в 1992 г. частично или полностью размещались земли 49 хозяйств восьми административных районов Вологодской области с 43 тыс. населения. Действовало более 180 ферм крупного рогатого скота и 2 свиноподкомплекса.

Сельскохозяйственное производство влияет как на количественную, так и на качественную сторону водных ресурсов. Много воды используется на фермах и животноводческих комплексах для приготовления кормов, поения скота, удовлетворения потребностей обслуживающего персонала.

Заметно влияет на величину водопотребления и способ уборки навоза: механический или гидравлический. В табл. 2.1 приведены некоторые укрупненные нормы потребления воды в животноводстве, которые использовались для оценки забора свежей воды на водоснабжение животноводства в границах водосбора озера.

Таблица 2.1

Нормы потребления воды в животноводстве, л/сут на 1 голову

Вид животных	При стойловом содержании	На пастбищах
Крупный рогатый скот	80 - 100	40 - 50
Лошади	60 - 80	40 - 60
Свиьи	25 - 60	20 - 50
Овцы и козы	8 - 10	4 - 5

Количество животных различного вида по населенным пунктам было оценено в процессе обследования, проведенного Институтом «Вологдаинжпроект» с участием автора в 1993 – 1994 гг. с целью изучения структуры водопотребления и водоотведения сельского хозяйства области. В каждом населенном пункте было выявлено количество скота по видам животных. В соответствии с нормами водопотребления (см. табл. 2.1) эти величины приведены к условным головам крупного рогатого скота. Ради экономии места, полученные оценки водопотребления в животноводстве помещены в табл. 2.2 не по населенным пунктам, которых более 180, а по хозяйствам. Их названия приведены по состоянию на 1992 г.

Суммарное водопотребление в этой отрасли сельского хозяйства на водосборе озера оказалось равным примерно 80 000 м³/сут, что соответствует среднегодовому расходу около 93 л/с.

Использование воды в сельскохозяйственном производстве обуславливает изменение ее качества и формирование значительного

Таблица 2.2

**Оценка водопотребления в сельском хозяйстве
на водозаборе озера Кубенского**

Название хозяйства	Поголовье скота (усл. гол.)	Водопотребление, м ³ /сут	
		животноводство	жилищно-коммунальный сектор
Вожегодский район			
Красная Явенга	650	65	144
Восток	820	82	67
им. Куйбышева	2000	201	30
Смелая	740	74	45
им. Ленина	1125	112,5	131
Родина	1140	114	90
Харовский район			
Организатор	1450	145	104
Победа	789	78,9	72
Родина	600	60,0	99
Кумзёрский	409	40,9	190
Большевик	1950	195,0	97
Россия	1420	142,0	91
Путь Ленина	975	97,5	64
Харовский	3950	39,5	95
Коллективист	686	68,6	39
Рассвет	976	97,6	70
Восход	690	69,0	179
Катрома	480	48,0	93
Маяк	580	58,0	49
Сямженский район			
Заря	1199	119,9	90
Коростелево	730	73,0	67
им. Коробицина	545	54,5	61
Мир	1157	115,7	110
Аврора	540	54,0	41
Нива	540	54,0	54
Дружба	3155	315,5	127
им. Ленина	890	89,0	94
Восток	440		38
Усть-Кубинский район			
Залесье	1000	100	154
Лесные поляны	1030	103	74
Герой	3400	340	203
Уфтыогский	2220	222	130
Горка	1120	112	93
Усть-Кубенский	1340	134	98
Филисовский	1500	150	106
им. Ленина	1050	105	37
Приозерный	800	80	109
Сокольский район			
с/х Новое	2096	209	144

Вологодский район			
ВОМС	640	64	
Красная заря	20417	2042	683
Кубенский	442	44	325
Передовой	2619	262	626
Борисовский	1580	158	160
Новленский	2500	250	309
им. Клубова	1000	100	186
им. Ильюшина	1460	146	254
Нефедово	1200	120	170
Николоторжский	870	87	174
Кирилловский район			
Труженик	690	69	100

объема сточных вод. Например, животноводческие комплексы – основные источники накопления большого количества навоза. От свиноводческого комплекса по откорму 108 000 голов в год ежесуточно поступает 300 т жидкого навоза, от комплекса по откорму 10 000 голов молодняка крупного рогатого скота – 250 т в сутки [62].

Поступление загрязняющих веществ от животноводческого производства в водные объекты происходит как в результате прямого сброса сточных вод после их очистки, так и в результате их смыва с сельскохозяйственных угодий.

При экстенсивном животноводстве все отходы являются составляющими естественных биохимических циклов. Интенсивное животноводство приводит к образованию такого их количества, которое обуславливает необходимость специальных мер по утилизации и обеззараживанию навоза. Наибольшее влияние на качество водных ресурсов оказывают содержащиеся в нем биогенные вещества. Ниже приведены усредненные данные (табл. 2.3) о количестве веществ, содержащихся в отходах от одного животного [62].

Таблица 2.3

**Количество различных веществ в отходах
от одного взрослого животного, (кг/сут)**

Животные	БПК ₅	ХПК	Калий	Азот	Фосфор	Взвешенные вещества
Корова	0,95	5,9	0,14	0,16	0,1	46,0
Свинья	0,23	0,55	0,011	0,027	0,011	3,9

Различные технологии утилизации навоза предусматривают разделение жидкой и твердой фазы. Жидкая фаза очищается и осветляется, а твердая, после обеззараживания, используется в виде удобрения.

В жидкой фракции после разделения остается до 30% загрязняющих веществ, а после отстаивания – от 1 до 3%.

Осредненные величины составляющих сточных вод комплекса крупного рогатого скота (числитель) и свинокомплекса (знаменатель), по данным [92], приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Химический состав сточных вод животноводческих комплексов

мг/л

Показатель	Навозосодержащие	Осветленные
Азот общий	700/2000	145/625
Азот аммонийный	600/700	150/500
Фосфор общий	400/700	200/150
Калий	800/450	450/250
pH	7,1	7,4/8,0

Расчет количества загрязняющих веществ, вносимых в водные объекты, может быть произведен с учетом рекомендаций [26].

К речным бассейнам привязана почти вся хозяйственная деятельность, влияющая на формирование загрязнений и нарушение естественного хода круговоротов веществ и энергии.

Ниже, в табл. 2.5, приведено распределение на водосборе озера Кубенского сельскохозяйственных угодий и ферм в зависимости от их удаленности от уреза водотока или водоема. Привязка к береговой линии производится по нижней границе участка.

Таблица 2.5

**Количество сельскохозяйственных угодий и ферм
в зависимости от расстояния от водных объектов (в %)**

Расстояние от водного объекта, м	Фермы	Пашня	Кормовые угодья
0 - 500	65	20	36
500 - 1000	27	46	14
1000 - 5000	8	27	45
более 5000	-	7	5

Легко увидеть, что большинство объектов находится в пределах пятисотметровой зоны и любые изменения в селитебной нагрузке или производственной деятельности будут активно влиять на качество водных ресурсов.

Существенная часть загрязняющих веществ поступает в водные объекты с распаханых и освоенных территорий водосбора. Антропогенное воздействие на почвенный покров при низкой агрокультуре, отсутствию контроля приводит к усилению процессов эрозии и дефляции, потере гумуса при экологически непродуманном осушении, переуплотнению от применения тяжелых машин и орудий, химическому загрязнению.

Почти повсеместно хранение удобрений и ядохимикатов не безопасно для природы. Экологически чистых удобрений, включая навоз,

практически нет. Применение минеральных удобрений и ядохимикатов на значительных площадях на почвах, утративших способность к их усвоению, ведет к загрязнению водных ресурсов. Экологические проблемы на севере усложняются тем, что при низких температурах химические соединения, ядохимикаты сохраняют активность значительно дольше, чем в аналогичных условиях более теплых регионов.

Три основных компонента минеральных удобрений – фосфор, азот, калий обладают различной миграционной способностью. Если азот и калий вымываются сравнительно легко, то фосфор, поскольку он образует в почве малорастворимые соединения, выносится только в процессе эрозии. Вместе с твердым стоком, например, с зяби, может быть вынесено более 90% общих потерь фосфора [128], поступающего затем в водные среды, что приводит к эвтрофированию водоемов. Известно, что фосфор в большей степени, чем азот, стимулирует развитие сине-зеленых водорослей. Ниже приведены оценки выноса составляющих минеральных удобрений (табл. 2.6) по данным [62].

Таблица 2.6

Ежегодный вынос веществ минеральных удобрений
(в % от внесенного количества)

Вещество	Среднее	Наибольшее
Азот	8 – 12	20 – 25
Калий	8 – 12	25 – 30
Фосфор	1 – 2	4 – 5

В результате обследования получены данные по водосбору озера о внесении минеральных удобрений в 1992 г. (табл. 2.7). Следует отметить, что уже тогда, из-за повышения цен на удобрения и ядохимикаты, их было внесено значительно меньше, чем в предыдущие годы.

Таблица 2.7

Объемы применения минеральных удобрений и ядохимикатов в хозяйствах бассейна оз. Кубенского

Название хозяйства	Наличие пашни, га	Внесено минеральных удобрений		Ядохимикаты, кг
		всего действующего вещества, ц	в т.ч. азотных, ц	
Вожегодский район				
Красная Явенга	1164	1292	840	123
Восход	1383	1272	763	152
им. Куйбышева	1256	1532	842	136
Смелая	969	1822	1184	144
им. Ленина	2075	1266	760	78
Родина	1497	2545	1654	166
Организатор	1453	2644	1536	180

Харовский район				
Победа	1092	1573	746	91
Родина	1574	2235	1312	132
Кумзерский	1700	1938	836	144
Большевик	1662	4338	1760	381
Россия	1870	2561	836	235
Путь Ленина	1852	2500	942	65
Харовский	2371	2509	1520	-
Коллективист	1339	1660	724	139
Рассвет	1307	2144	1436	146
Восход	990	604	342	164
Катрома	2240	4032	1840	185
Маяк	711	619	412	140
Сямженский район				
Заря	1738	1363	513	126
Коростелево	1241	888	547	74
Мир	2182	2490	902	156
Аврора	1254	458	143	122
Нива	898	750	550	68
Дружба	1590	4666	2008	144
им. Ленина	2317	353	96	173
им. Коробицина	1735	406	372	124
Восток	669	668	317	78
Усть-Кубинский район				
Залесье	2771	3386	1193	-
Лесные Поляны	949	746	321	-
Герой	3858	2567	1197	503
Уфтюгский	3351	2607	1384	-
Горка	1446	1212	342	-
Усть-Кубенский	3204	2135	574	-
Филисовский	1960	3752	1646	214
им. Ленина	2721	2654	732	-
Приозерский	987	1198	335	-
Вологодский район				
Нефедово	1866	1763	1150	80
им. Ильюшина	2174	4169	2722	-
им. Клубова	3517	4426	1272	12
Новленский	4902	9000	2910	418
Борисовский	2222	2664	898	-
Передовой	3966	4425	1680	1307
Красная Звезда	4243	9094	1969	4030
ВОМС	1176	3152	529	800
Кубенский	2082	2914	729	920
Сокольский район				
Новое	1717	3253	1190	438
Кирилловский район				
Труженик	1593	1720	934	144
Николоторжский	3318	4413	1664	360

Для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений на территории водосбора использовались: метаксен, диален, арцерит, симерон, прометрин, зелен, хардин, аминная смесь. В водные объекты они поступают с талым и дождевым стоком и могут долгое время сохранять свои токсичные свойства. Для рыб и животных,

как и для человека, нетоксичных пестицидов нет. Наиболее ядовиты хлорорганические соединения. Они аккумулируются в организме и при определенных концентрациях становятся смертельными. Для рыб и зоопланктона смертельная доза на 1 кг живого веса составляет 50–200 мг. Летальный исход для рыб наступает при концентрации хлорорганических ядохимикатов в воде 0,001 – 0,01 мг/дм³.

Всего на водосборе озера в 1992 г. было внесено более 12,3 тыс. т минеральных удобрений, что составляет в среднем около 1,3 ц действующего вещества на гектар пашни, и более 13 т ядохимикатов.

Принимая объем озера равным 1 км³, легко подсчитать, что этих ядохимикатов достаточно для создания в озере, при разовом поступлении в воду и равномерном их растворении, концентрации более 0,01 мг/л. К счастью, этого не происходит.

Пестициды вымываются из почвы с различной интенсивностью. В лесной зоне она изменяется от 0,7% в год для хлорорганических пестицидов до 4–6% – для фосфорорганических соединений. Неосвоенные территории, в т.ч. лесные площади, также вносят свой вклад в суммарное поступление биогенных веществ в водные объекты.

Значительное количество загрязняющих веществ поступает в водные объекты в результате потерь минеральных и органических удобрений на всех этапах технологической цепи – от выгрузки в хранилище, перевозок и до внесения в почву. Используя данные об эффективности технологий погрузки, хранения, доставки и внесения минеральных и органических удобрений, приведенных в [125], можно подсчитать, что технологические потери для реальных условий оцениваются величинами от 4–6% для минеральных удобрений и до 20–25% – для органических.

Определенный вклад в загрязнение поверхностных вод вносят мелиорированные земли. На водосборе озера превалирует, как и во всей гумидной зоне, осушение. Осушительная мелиорация предусматривает в первую очередь поддержание уровня грунтовых вод на осушаемой площади на оптимальной глубине, защиту от склонового стока с вышележащих частей водосбора и ускоренный отвод поверхностного стока. Для выполнения этих требований на пойменных массивах зачастую необходимо регулирование уровня режима поймодоний и паводков рек – водоприемников.

Известно, что в первые годы при осушении за счет сброса воды с осушаемых площадей несколько возрастает среднегодовой сток в водоприемник и становится более неравномерным его распределение по сезонам. В последующие годы величина среднегодового стока изменяется незначительно. В то же время изменяется объем водных масс, проходящих через дренированные почвы, увеличивается

концентрация химических компонентов дренажного стока. Абсолютные величины выноса химических веществ зависят от почвенных и климатических условий, от применяемых агромелиоративных приемов, доз и технологии внесения удобрений и пестицидов. В первые годы после введения в действие осушительной системы дренажные воды обогащаются веществами, образующимися вследствие разложения органических веществ, интенсивность которого увеличивается за счет более благоприятного водно-воздушного режима зоны аэрации осушаемых земель. По различным источникам, вынос азота в это время, особенно на торфяниках, достигает 20–30 кг/год га. Повышен и вынос фосфора – до 1–2 кг/год га. В последующие годы вынос биогенных веществ несколько снижается. Осредненные данные о концентрации некоторых химических веществ в дренажном стоке с осушительных систем [62] приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

**Химический состав дренажных вод
в осушительных системах Северо-Запада России, мг/дм³**

Период	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
Весенний	91	22	34	39	31	0,5	137	139
Летний	108	25	36	50	34	0,6	204	145
Осенний	116	35	34	46	36	0,5	243	145

На водосборе озера (по состоянию на конец 1992 г.) расположены сельхозугодья 49 хозяйств. В 35 из них имеются мелиоративные осушительные системы общей площадью 34161 га, что составляет примерно 2,2% водосборной площади и несколько более 19% всех сельскохозяйственных угодий (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Наличие осушенных земель на водосборе оз. Кубенского (1992 г.)

Название хозяйства	Площадь сельхозугодий, га	Площадь мелиоративных земель	Группа
Вожегодский район			
Красная Явенга	2456	-	I
Восход	2501	1133	V
им. Куйбышева	2141	747	IV
Смелая	1968	781	IV
им. Ленина	3838	-	I
Родина	2350	-	I
Организатор	3279	-	I
Харовский район			
Победа	2456	342	III
Родина	3381	-	I
Кумзерский	3538	809	IV
Большевик	3120	1678	V

Окончание табл. 2.9

Россия	4185	2216	V
Путь Ленина	3406	681	IV
Харовский	5009	286	II
Коллективист	2369	-	I
Рассвет	2313	-	I
Восход	1852	-	I
Катрома	5396	520	III
Маяк	2415	-	I
Сямженский район			
Заря	3620	70	II
Коростелево	2557	286	II
им. Корибицина	3925	-	I
Мир	5044	806	IV
Аврора	2277	910	IV
Нива	1820	-	I
Дружба	3180	664	IV
им. Ленина	4782	341	III
Восток	1353	575	III
Усть-Кубинский район			
Залесье	5272	-	I
Лесные Поляны	1747	-	I
Герой	6427	1342	V
Уфтюгский	5590	336	III
Горка	3082	-	I
Усть-Кубенский	4918	383	III
Филисовский	3419	668	IV
им. Ленина	4230	1375	V
Приозерский	1622	118	II
Вологодский район			
Нефедово	2949	413	III
им. Ильюшина	3523	466	III
им. Клубова	5841	1287	V
Новленский	6705	2038	V
Борисовский	3854	624	IV
Передовой	4955	1516	V
Красная Звезда	5312	3665	V
ВОМС	1709	1644	V
Кубенский	2970	1271	V
Сокольский район			
Новое	4180	1579	V
Кирилловский район			
Труженик	3386	943	IV
Николоторжский	5578	1648	V

Все хозяйства разбиты на 5 групп по степени влияния мелиоративного освоения территории. В качестве показателя антропогенной нагрузки за счет осушения условно принято количество осушенных гектаров без выделения площадей закрытого дренажа и осушения открытыми каналами. К первой из групп отнесены 13 хозяйств, не имеющих осушенных земель. Пятая группа – 12 хозяйств, в каждом из которых более 1000 га дренированных земель в соответствии с нижеприведенной градацией (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Распределение хозяйств по количеству осушенных сельхозугодий

Группа	I	II	III	IV	V
Площадь осушения, га	0	1 – 300	301 – 600	601 – 1000	> 1000
Количество хозяйств	14	4	8	10	12

Следует отметить, что распределение осушенных площадей по хозяйствам имеет выраженную положительную асимметрию. При средней площади осушенных земель в хозяйстве около 700 га несколько хозяйств имеют 2000–3000 га и более дренированных угодий.

2.3. Селитебные территории

Сток с застроенных площадей (селитебные, промышленные и зоны общего пользования) складывается в основном из ливневого, в подавляющем большинстве случаев неорганизованного стока, стока из коммунально-бытовой канализации и промышленных стоков.

Сведения, касающиеся стока с селитебных территорий, представлены сбросами производственных предприятий ЖКХ, а также предприятий сельхозпроизводства, в объем сбросов которых входят объемы хозяйственно-фекальных стоков. Однако конкретные цифры по этим стокам выделить невозможно.

Одним из весьма значимых источников загрязнения поверхностных водоемов является ливневый и талый сток, происходящий зачастую в форме залпового выброса.

Загрязненность поверхностного стока с селитебных, особенно городских, территорий зависит от многих факторов. С единицы площади городской территории смывается в 2–4 раза больше загрязняющих веществ, чем с единицы площади сельскохозяйственных угодий.

Ориентировочно судить о среднесрочных значениях некоторых веществ, поступающих с территории городов в водоприемники вместе с поверхностным стоком, можно по данным, приведенным в табл. 2.11 [59].

**Оценки смыва некоторых загрязняющих веществ
с городской территории**

Загрязнители	Поступление за год, кг/га
Взвешенные вещества	2000 – 2500
БПК ₅	140 – 200
Нефтепродукты	60 – 100
Азот общий	4 – 6
Фосфор общий	1,0 – 1,5
Растворенные минеральные вещества	400 – 600

Эти оценки относятся к крупным городам с многоэтажной жилой застройкой и высокой, более 100 чел./га, плотностью населения.

Ливневый сток с городских территорий содержит поразительно большие количества загрязняющих веществ даже при отсутствии поступлений бытовых и промышленных стоков в дренажную сеть.

Количество загрязняющих веществ, поступающих в реки и водоемы с ливневыми водами, стекающими с селитебных территорий, *меняется в широких пределах. На скорость их переноса влияет интенсивность осадков.* По данным [59], ливень со слоем осадков 12,5 мм смывает с поверхности дорог до 90% всех частиц. Этот же автор указывает, к примеру, что диапазон БПК ливневого стока с урбанизированных территорий изменяется от 10 до 500 мг/л, мутность – от 20 до 10000 мг/л, концентрация нефтепродуктов – от 0 до 110 мг/л, концентрация свинца – от 0 до 2 мг/л и т.д.

Особо следует отметить талый сток. В снежном покрове, формирующемся на водозаборе озера в течение достаточно продолжительного времени (4–5 месяцев), аккумулируется весьма большое количество загрязнителей. Конечно, талый сток происходит не с такой интенсивностью, как дождевой, однако большой валовой объем загрязняющих веществ в талом стоке оказывает существенное влияние на качество водных ресурсов.

В виде примера воздействия на качество вод р. Сухоны можно рассмотреть химические анализы воды, выполненные лабораторией Сокольской СЭН в начале снеготаяния (06.04.94 г.) для створов выше и ниже г. Сокол (табл. 2.12).

При этом, согласно имеющимся гидрометрическим данным, существенного увеличения расхода воды по р. Сухоне еще не было и изменение показателей качества воды можно полностью отнести к талому стоку с городской территории. Отмечается в некоторых случаях существенное увеличение концентрации загрязняющего вещества: свинца – в 15 раз, БПК – в 2 раза, индекс E.Coli возрос в 100 раз.

Таблица 2.12

**Показатели качества воды р. Сухоны в период талого стока
с территории г. Сокол (6 апреля 1994 г.)**

Показатели	Значения показателей	
	Выше города	Ниже города
БПК _{полн.} , мг/л	3,6	6,8
Взвешенные вещества, мг/л	0,4	1,4
Коли-индекс, экз/100 мл	2400	240000
Хлориды, мг/л	7,5	12,5
Общая минерализация, мг/л	319,2	342,8
pH	7,5	7,6
Нитраты, мг/л	2,6	2,9
Сульфаты, мг/л	40	40
Фенолы, мг/л	не обнаружено	не обнаружено
Нефть, мг/л		
Свинец, мг/л	0,024	0,383

По обобщенным данным (табл. 2.13), опубликованным в [122], можно получить представление о концентрации загрязняющих веществ в дождевом и талом стоке различных населенных пунктов.

Таблица 2.13

**Концентрация растворенных загрязняющих веществ стока талых
и дождевых вод с территории населенных пунктов**

Вид и размер населенного пункта	Талые снеговые воды		Дождевые воды	
	БПК _{полн.}	минерализация	БПК ₅	минерализация
Крупные и большие города	200	400	80	300
Средние города	150	350	60	250
Малые города и поселки городского типа	120	350	50	250

Диапазон колебаний концентраций загрязняющих веществ очень велик. Талые воды, особенно после малоснежной зимы и при бурном снеготаянии, более загрязнены, чем дождевые.

Ниже, в табл. 2.14, для представления о возможных порядках величин, приведены показатели загрязнения талых вод г. Череповца [75], полученные в результате разовых замеров зимой 1993–1994 гг.

Таблица 2.14

Показатели загрязнения талых сточных вод г. Череповца (мг/дм³)

Ингредиенты	Районы города		
	Индустриальный	Северный	Зареченский
Сухой остаток	888	367	323
Взвешенные вещества	982	546	847
Нефтепродукты	26,5	14,9	6,5
БПК ₅	15,3	12,2	17,7
ХПК	241	187	195
Азот аммонийный	13,4	1,6	1,57

Азот нитратный	3,0	2,0	2,5
Азот нитритный	0,14	0,11	0,14
Фосфаты	2,70	0,77	1,13
Сульфаты	114	94	59
Хлориды	313	48	62
Железо общее	1,59	1,21	1,20
Цинк	0,22	0,08	0,02
Медь	0,02	0,013	0,024
Ртуть	0,003	0,002	0,003
Фенолы	0,009	0,008	0,009
Формальдегид	0,34	0,31	0,16

В талом стоке города особенно высоко содержание взвешенных веществ, азотных соединений, тяжелых металлов и органических соединений. Высоки концентрации меди, ртути, цинка – в десятки, а то и сотни раз выше ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Несколько менее летом 1993 г. были загрязнены дождевые сточные воды г. Череповца (табл. 2.15) [75].

Таблица 2.15

Показатели загрязнения дождевых сточных вод г. Череповца (мг/дм³)

Ингредиенты	Районы города		
	Индустриальный	Северный	Зареченский
Сухой остаток	405	415	326
Взвешенные вещества	117	153	70
Нефтепродукты	1,86	1,57	0,12
БПК ₅	10,7	6,4	1,8
Фосфаты	0,17	0,16	0,11
Железо общее	0,47	0,71	0,37
Цинк	0,02	0,02	0,01
Медь	0,006	0,006	0,005
Ртуть	0,00006	0,00014	0,00008
pH	7,97	8,05	7,92

В результате сброса поверхностных сточных вод загрязненность природных водных объектов в г. Череповце довольно высока. Следует заметить, что этот город является крупным центром металлургии и химической промышленности.

2.4. Промышленное производство

Промышленность как участник водохозяйственного комплекса на водосборе озера представлена предприятиями различного профиля, сосредоточенными преимущественно в районных центрах – Харовске, Сямже, Устье Кубенском и, в качестве исключения, в центральных усадьбах хозяйств.

Согласно данным табл. 2.16, составленной на основании отчетности ТТП-ВОДХОЗ за 1993 г., промышленными предприятиями осуществляется наибольшая доля сбросов сточных вод – 67,7% от общего объема.

Такой объем сбросов делает влияние промышленного производства доминирующим и по большинству ингредиентов – основных показателей качества водных ресурсов бассейна оз. Кубенского.

Так, промышленные предприятия сбрасывают в водотоки и водоемы на территории водосбора 84,5% легкоокисляемой органики (БПК_{полн.}), 61% взвешенных веществ, 79,4% нитрат-ионов, 100% железа, 100% таннидов.

Анализ влияния стоков промышленных предприятий на качество вод озера показывает, что коэффициент сброса K_c для г. Харовска составил 0,008, п. Сямжи – 0,003, п. Устье Кубенское – 0,0006, что в баллах дает величину $I_c=0,4$ (см. п. 3.6). Это обстоятельство обусловлено разным сочетанием объемов сбросов, удаленностью от озера и естественной водностью реки-водоприемника. Например, п. Устье Кубенское, несмотря на относительно небольшую суммарную мощность сбросов с промышленных предприятий и значительную водность Нижней Кубены, будучи расположенным в непосредственной близости от озера, попадает в ту же градацию, что и находящийся далеко от озера г. Харовск с более развитой промышленной инфраструктурой.

Интерпретируя балльные оценки влияния сбросов промышленных предприятий на водные ресурсы, следует учесть выводы, сделанные при анализе самоочищающей способности р. Кубена – основного притока озера.

Установлено [87], что на р. Кубена экологическая ситуация в начале 1990-х гг. была достаточно напряжена. Вплоть до устья в ней уменьшаются перешагнувшие предел ПДК концентрации растворенных биогенных ингредиентов и нефтепродуктов. Исследования лаборатории ГосНИОРХ свидетельствуют о деградации биогеоценоза в приустьевой части р. Кубена. Натурные измерения, по данным ПИЦ «Вологодский», областного Центра санитарного эпидемиологического

Таблица 2.16

Сведения о сбросах. Показатели загрязняющих веществ на водосборе оз. Кубенского

Административно-территориальная единица	Объем сточных вод, м ³	Количество сбрасываемых загрязнений, т												
		Азот аммонийный	Алкилсульфонаты СПАВ	Алюминий	БПК ₅ топм	Взвешенные вещества	Железо общее	Нефть и нефтепродукты в растворенном и эмульгированном состоянии	Нитрат ион (NO ₃)	Нитрит ион (NO ₂)	Сульфаты анион	Таннины	Фосфаты	Хлориды анион
<i>Сямженский район</i>														
Город, село (селитебная зона)	53,2	1,13	0,021	-	2,013	0,576	0	0,028	0,011	0,031	12,372	-	0,19	2,682
Промышленность района	36,8	1,48	0,039	-	34,31	21,00	0,025	0,060	0,0740	0,0030	6,700	-	0,2150	9,010
Сельхозпроизводство	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Речной транспорт				-										
Маломерный флот				-										
Рекреация				-										
Сумма по району	90,0	-	0,06	-	36,32	21,58	0,025	0,088	0,085	0,034	19,07	-	0,405	11,692
Влдка, млн м ³	-	-	0,12	-	12,1	5,40	0,25	1,76	0,002	0,425	0,191	-	2,025	0,039
<i>Вожегодский район</i>	Вожегодский район на качество водных ресурсов озера Кубенского значимого влияния не оказывает													
<i>Харовский район</i>														
Город, село (селитебная зона)	2,1	0,024	0	-	0,95	1,4	0	0,005	0,001	0	0,88	0	0,004	0,13
Промышленность района	1555,9	12,69	0,304	-	56,04	32,625	2,362	2,201	11,857	0	6,27	0,756	1,471	155,75
Сельхозпроизводство	54,69	0,828	0,014		1,422	1,311	0	0,013	0,076	0,002	8,8	0	0,072	2,38
Речной транспорт				-										
Маломерный флот				-										
Рекреация				-										
Сумма по району	1612,69	13,542	0,318	-	57,557	36,336	2,382	2,219	11,934	0,002	15,95	0,756	1,547	158,26
Влдка, млн м ³	-	33,86	0,636	-	19,2	8,83	23,8	44,4	0,30	0,025	0,16	0,076	7,735	0,527

<i>Усть-Кубинский район</i>														
Город, село (селитебная зона)	17,63	0,438	0,023	-	4,23	18,96	-	0,100	0,002	0	0,96	-	0,033	0,45
Промышленность	96,15	0,369	0,003	-	2,65	2,58	-	0,009	0,013	0	2,242	-	0,018	1,42
Сельхозпроизводство	16,16	0,267	0,005	-	1,05	1,235	-	0,019	0,033	0,001	5,71	-	0,034	0,886
Речной транспорт				-										
Маломерный флот				-										
Рекреация				-										
Сумма по району	129,94	1,074	0,031	-	7,93	22,78		0,129	0,345	0,001	8,912	-	0,085	2,756
Впдк, млн м ³	-	2,685	0,062	-	2,64	5,695		2,58	0,008	0,012	0,089	-	0,425	0,009
<i>Вологодский район</i>														
Город, село (селитебная зона)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Промышленность района	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сельхозпроизводство	660,2	7,84	0,129	-	10,35	12,47	0	0,454	2,973	0,096	83,42		1,408	78,63
Речной транспорт				-										
Маломерный флот				-										
Рекреация				-										
Сумма по району	660,2	7,84	0,129	-	10,35	12,47	0	0,454	2,973	0,096	83,42		1,408	78,63
Впдк, млн м ³	-	19,6	0,258	-	3,45	3,12	0	9,08	0,074	1,2	0,83	-	7,04	0,26
<i>Кирилловский район на водные ресурсы озера Кубенского значимого влияния не оказывает</i>														
<i>Сокольский район на водные ресурсы озера Кубенского значимого влияния не оказывает</i>														
Итого по бассейну:														
- тонн	2495,83	25,066	0,548	-	110,072	92,16	2,387	12,019	15,036	0,133	127,354	0,756	3,445	251,33
- %	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:														
Города, села (селитебная зона)	75,93 3,04	1,592 6,4	0,044 8,2	-	4,23 3,8	20,94 22,7	0	0,133 1,1	0,014 0,9	0,031 23,3	14,212 11,2	-	0,227 6,6	3,2624 1,30
Промышленность районов	1688,85 67,7	14,539 58,0	0,346 64,3	-	93,0 84,5	56,20 61,0	2,387 100	2,27 18,9	11,94 79,4	0,003 2,2	15,212 11,9	0,756 100	1,704 49,5	166,18 66,1
Сельхозпроизводство	731,05 29,3	8,935 36,6	0,148 27,5	-	12,842 11,7	15,02 16,3	0	0,486 4,0	3,082 20,5	0,099 74,4	97,93 76,9	-	1,514 43,9	81,896 32,6
Речной транспорт				-										
Маломерный флот				-				9,13 76,0						
Рекреация				-										
Впдк, млн м ³		62,666	1,096	-	36,69	23,04	23,87	240	0,376	1,662	1,273	0,0756	17,225	0,838

надзора [87] и др., свидетельствуют о напряженных, зачастую критических периодах в гидрохимическом режиме водных объектов бассейна озера Кубенского. Необходим решительный поворот к недопущению сбросов неочищенных промышленных стоков в водотоки и снижению удельной локальной нагрузки на водные ресурсы.

Можно говорить о критическом уровне экологического неблагополучия для некоторых населенных пунктов с достаточно развитой промышленностью. Это можно показать на примере г. Харовска путем достаточно независимого подхода – сравнительной оценки загрязнений по объему чистой воды, необходимой для разбавления сбросных вод до уровня ПДК.

Суть оценки состоит в определении объема чистой воды, который необходим для разбавления (восстановления) воды до показателей качества, не превышающих уровень ПДК.

Обычно этот объем легко определяется по выражению:

$$W_{\text{пдк}} = \frac{W_i}{\text{ПДК}}, \quad (2.1)$$

где W_i – масса сбрасываемых веществ, т.

Далее сравнение (оценка) экологической напряженности может выполняться:

- а) по отношению к годовому стоку 95%-ной обеспеченности;
- б) по отношению к объему стока какого-либо лимитирующего периода (для рассматриваемого региона можно использовать 30-суточный сток зимней межени, приуроченный обычно к марту).

Аналитическое выражение следующее:

$$W_{\text{доп}} = W_{\text{пдк}} - W_{95\%} \quad (2.2)$$

где $W_{\text{доп}}$ – условный дополнительный объем чистых водных ресурсов.

В табл. 2.16 показаны (под строкой «Сумма по району») объемы воды, которые необходимо использовать для доведения i -ого ингридента до уровня предельно допустимой концентрации.

Рассмотрен загрязнитель, имеющий наименьшее значение ПДК, – нефть и нефтепродукты.

Для года 95%-ной обеспеченности в марте речной сток в створе г. Харовска составляет 8,2 млн м³ [94]. При условии равномерного в течение года сброса нефтепродуктов объем чистых вод, необходимых для разбавления нефтепродуктов, составит 3,7 млн м³, т.е. 45%. Таким образом, в крайне маловодную межень почти половина стока реки должна расходоваться на разбавление сбросов.

Учитывая, что кроме нефтепродуктов сбрасываются и другие химические вещества, объемы безвозвратного водопотребления и обязательный санитарный расход, экологическое состояние водных ресурсов в районе г. Харовска иногда могут быть экстремальными.

Касаясь случаев аварийных сбросов загрязняющих веществ, не вошедших в отчетность 2ТП-ВОДХОЗ, можно предположить, что не исключена возможность наличия в этом створе гораздо большей доли экологического изъятия вод р. Кубена.

2.5. Воздействие рекреации

Рекреационное использование природных ресурсов в последние годы исследуется учеными различных отраслей знаний. Отмечается «рекреационный взрыв», проявляющийся в постоянно возрастающем спросе на рекреационные услуги [2, 3]. Рациональное природопользование подразумевает оптимальное использование береговых зон рек, озер и водохранилищ. Именно эти достаточно ограниченные площади зоны испытывают усиливающиеся антропогенные нагрузки, ухудшающие состояние природно-территориальных комплексов. Сложность экосистемы «берег–водоем» требует рассмотрения воздействия рекреации на ее отдельные компоненты и проведения на основе обобщения оценки степени этого воздействия на систему в целом.

Для отдыха на реке, водохранилище или озере важны такие компоненты природной среды, как климатические условия, литолого-геоморфологические особенности территории, почвы, растительность. Погодные характеристики определяют структуру и сочетание отдельных видов отдыха. В табл. 2.17 приведена интегральная оценка компонентов природной среды при использовании водохранилищ для отдельных видов рекреации, полученная на базе многолетнего опыта полевых исследований и приведенная в работе [3] для разных экономических районов и природно-климатических зон страны.

Различные виды отдыха оказывают различное воздействие на отдельные компоненты природы. Наиболее сильно влияет (в порядке убывания) отдых с использованием автотранспорта, стационарный неорганизованный туризм, отдых с использованием маломерного флота и купание. Экологически чистыми признаны зимние лыжные прогулки, парусный, байдарочный спорт и виндсерфинг, сбор грибов и ягод, рыболовство с берега. При развитии рекреации на водоемах наиболее уязвимы элементы акваториальной экосистемы – качество водной среды, почвы, наземная и водная растительность.

Оценивая компоненты природной среды, определяющие рекреационный потенциал озера Кубенского, можно сказать, что оно

Таблица 2.17

Интегральная оценка значения компонентов природной среды для отдельных видов отдыха (в баллах) [3]

Вид отдыха	Климат		Поверхность воды			Литология и геоморфология	Гидрологические условия	Почва	Растительность	Биологические ресурсы	Сумма баллов
	Температурный режим	Осадки	Качество воды	Температурный режим	Режим уровня						
Стационарный неорганизованный	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	24
Купание	3	3	3	3	2	2	1	1	2	0	20
Прогулки на весельных лодках	2	3	2	2	2	1	1	0	1	0	14
Байдарочный спорт	2	3	2	2	2	1	1	0	0	0	13
Парусный спорт	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	12
Отдых с использованием маломерного флота	2	2	1	1	2	1	1	0	0	0	10
Рыболовство:											
– с берега	2	1	2	1	3	2	1	0	1	3	16
– с лодки	2	1	2	2	2	1	0	0	0	3	13
– со льда	2	1	2	1	2	0	0	0	0	3	11
Охота на водоплавающую дичь	1	1	2	1	2	0	2	0	0	3	14
Водные лыжи	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	12
Виндсерфинг	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	12
Сумма баллов	27	25	27	21	23	11	11	3	9	14	

Примечание: 0 - не имеет значения; 1-3 - значение минимальное, существенное и определяющее соответственно.

пригодно для всех видов отдыха. Снижают этот потенциал довольно однообразный низменный прибрежный рельеф, отсутствие (кроме Северо-Западной части побережья) естественных привлекательных лесных массивов, затрудненные подъезды к озеру, ограниченное количество мест, удобных для купания. Непосредственно вблизи озера и на его притоках расположено несколько десятков рекреационных учреждений. Большинство из них сезонного действия – бывшие пионерские лагеря, базы отдыха различных организаций и ведомств, базы охотников и рыболовов-любителей.

Рекреационная посещаемость озера Кубенского и его притоков была оценена нами по данным Областного комитета профсоюзов, опросов руководителей учреждений и ведомств, имеющих рекреационные учреждения. Оценка посещаемости озера рыболовами-любителями проведена по данным Вологодской лаборатории ГосНИОРХ [23]. Посещаемость озера Кубенского и его прибрежной полосы неорганизованными отдыхающими, к которым приравниваются и люди, собирающие ягоды и грибы, оценена очень приближенно по результатам опросов местного населения, работников пунктов ГАИ, диспетчеров и водителей пригородных автобусов.

Наибольшую долю в общую величину рекреационных посещений вносят рыбаки-любители (36 тыс. человеко-дней в год). Учреждения отдыха уступают по своему вкладу неорганизованным отдыхающим (14 и 20 тыс. человеко-дней, соответственно). Много это или мало?

В табл. 2.18, для сравнения, приведены данные о рекреационной посещаемости озера Кубенского и Иваньковского водохранилища, объем которого при НПУ (1,1 км³) близок к объему озера Кубенского.

Таблица 2.18

Рекреационная посещаемость озера Кубенского и Иваньковского водохранилища (человечно-дни)

Вид отдыха	Кубенское озеро	Иваньковское водохранилище
Круглогодичные учреждения отдыха	10 000	700 000
Сезонные учреждения	4 000	300 000
Неорганизованный отдых	20 000	400000
Рыболовы-любители	36 000	400 000
Всего	70 000	1 800 000
Пиковая нагрузка	~ 3 000 чел. в день	30 000 чел. в день

Легко убедиться, что нагрузка от рекреации на Ивановское водохранилище, служащее одним из источников водоснабжения г. Москвы, на порядок выше, чем на озеро Кубенское.

Если представить, что озеро или водохранилище посещаются с рекреационными целями только в выходные дни, приняв за их условное количество 100 дней в году, т.е. заведомо увеличить оценку суточной нагрузки, то получится, что средняя нагрузка на озеро в эти дни (~ 700 человек в день) будет более чем в 25 раз ниже посещаемости Ивановского водохранилища (18 тыс. чел. в день) на уровень 1975 г. [117].

Правда, следует отметить, что экосистема озера Кубенского уязвимее как из-за северного местоположения, так и из-за меньшей средней глубины.

Оценки пиковой суточной нагрузки составляют около 3 тыс. чел. в день для Кубенского озера и 30 тыс. чел. – для Ивановского водохранилища. Большая часть отдыхающих приходится на сборщиков ягод ков-любителей.

Вклад рекреации в загрязнение водных ресурсов подробнее изучено Ивановского водохранилища [3] приведен в табл. 2.19. Он дан в процентах от общей массы того или иного загрязняющего вещества.

Таблица 2.19

рекреации в загрязнении Ивановского водохранилища (в %)

№	ХПК	Нефтепродукты	СПАВ	Азот общий	Фосфор минеральный
	0,4	–	2,5	< 0,1	0,5

Исходя из структуры загрязнений, поступающих от разных видов рекреации, и сопоставляя рекреационные нагрузки на озеро Кубенское-Ивановское водохранилище, можно сделать вывод о том, что влияние этих загрязнений на качество вод озера Кубенского невелико и не превосходит точности оценок, достижимой при современной информации.

2.6. Оценка влияния судоходства

Озеро Кубенское является водохранилищем со специфическим режимом судоходства, цель которого – поддержка судоходных уровней на участках верхней и средней Сухоны. Его акватория, как и вся Северная шлюзованная система, относится к внутренним водным региональным значениям. Вплоть до 1990 г. объем перевозок по гидроузлу №7 (шлюз «Знаменитый») постоянно возрастал. В

последние годы, как отражение спада в промышленном и сельскохозяйственном производстве, наблюдается резкое снижение интенсивности грузопотока. Если в 1990 г. тоннаж всех видов грузов составил 2,75 млн т, то за 1993 г. было перевезено всего 0,98 млн т (табл. 2.20). Основную роль в этом снижении сыграло падение объемов перемещения минерально-строительных грузов. Почти в 3 раза уменьшился объем перевозок нефтепродуктов – с 44,6 тыс. т в 1990 г. до 15,3 тыс. т в 1993 г.

Таблица 2.20

Объем перевозок в створе гидроузла №7 (шлюз «Знаменитый»)

Вид груза	Количество в тоннах			
	1990 г.	1991 г.	1992 г.	1993 г.
Всего	2 751 232	2 410 059	1 346 891	98 112
Лес в плотках	39 086	6 634		
Лес в судах	265 417	265 785	281 401	17 499
Минерально-строительные	2 292 128	2 003 408	998 125	72 787
Металлы и металлолом	8 488			
Нефтегрузы	44 590	46 372	15 626	1 528
Каменный уголь	58 423	52 282	31 055	3 442
Продукты и промышленные товары	26 438	18 064	12 890	564
Прочие	16 162	17 514	7 794	2 281

Пропорционально уменьшилась нагрузка на гидротехнические сооружения и водный путь. Если в 1990 г. было произведено 4772 шлюзования и пропущено через створ гидроузла №7 более 12 тыс. судов,

Таблица 2.21

Работа гидроузла №7 в 1990 – 1993 гг.

Месяц	1990 г.		1991 г.		1992 г.		1993 г.	
	Количество шлюзований	Пропущено судов	Количество шлюзований	Пропущено судов	Количество шлюзований	Пропущено судов	Количество шлюзований	Пропущено судов
Май	445	977	-	-	-	-	-	-
Июнь	958	2299	203	424	409	752	113	213
Июль	1008	2384	951	2101	695	1381	425	801
Август	1022	2461	987	1972	673	1242	391	745
Сентябрь	989	2133	1004	2085	547	1039	102	85
Октябрь	350	683	526	1076	127	222	-	-
Итого	4772	10937	3671	7662	2447	4636	1031 (с 10.05 по 24.06 и с 9.09 по 3.11)	1844
Пропущено через плотинное русло	-	1283	-	1670	-	1476		2572
Всего судов		12220		9332		6112		4416

то в 1993 г. количество шлюзований составило немногим более тысячи, а количество пропущенных судов не превысило 4,5 тысячи (табл. 2.21).

Сократилось количество работающих судов. Так, например, если в 1992 г. в Сухонском речном пароходстве работало 141 самоходное судно, то в 1994 г. их количество уменьшилось до 39 (табл. 2.22).

Работа водного транспорта как участника водохозяйственного комплекса противоречит интересам рыбного хозяйства и рекреации. Волны от прохождения судов взмучивают воду на мелководье, разрушают берега, способствуют заилению нагульных и нерестовых площадей. Шум двигателей распугивает рыбу, работа моторов оглушает мальков.

Каждое речное судно является загрязнителем водной среды. На нем образуются хозяйственно-бытовые и производственные воды, включая подсланевые воды от машинных отделений. Имеются два способа обезвреживания судовых сточных вод: автономная очистка стоков непосредственно на судах или их накопление с последующей сдачей на соответствующие очистные сооружения. По технико-экономическим причинам в настоящее время целесообразнее сдача хозяйственно-бытовых вод на береговые приемные пункты с последующей передачей на очистные сооружения, а подсланевых вод – на плавучие *очистные станции*.

Нормативы для расчета количества загрязнений, скапливающихся на судах, принимаются в соответствии с письмами Минречфлота РСФСР от 24.04.84 №50 и от 10.08.88 г. №111. Они определяют типом судов, составом экипажа, количеством пассажиров, мощностью двигателей.

В последние годы на речном флоте предприняты меры по решительному снижению загрязнений, поступающих в водоемы и водотоки в процессе судоходства. Так, например, приказом по Сухонскому речному пароходству от 31.03.88 г. №38 предусматривается осуществление мероприятий по полному прекращению сброса с судов сточных вод к 1990 г.

С июля 1993 г. введены в действие новые «Правила по предотвращению загрязнения с судов внутреннего плавания» [88],

Таблица 2.22

Работающие суда Сухонского речного пароходства в 1992 г. и 1994 г.

Тип судов	1992 г.	1994 г.
Самоходные, всего	141	39
В т. ч.:		
– пассажирские	12	2
– толкачи и буксиры	75	23
– грузовые	15	6
– наливные	3	2
– рейдовый флот	28	6

предусматривающие оснащение любых самоходных, а также несамоходных судов, имеющих на борту двигатели внутреннего сгорания, сборными цистернами нефтесодержащих вод. Суда, имеющие на борту более 3 человек, должны быть оборудованы сточно-фоновой системой и сборными системами для сточных вод с последующей сдачей в приемные сооружения.

В бассейне реки Сухоны имеется значительное количество судов-сборщиков сточных вод различных пунктов приписки (табл. 2.23). Они могут быть самоходными или несамоходными. Например, по данным службы инженерного обеспечения Сухонского речного пароходства, в 1993 г. судами-сборщиками было собрано 2610 т хозяйственно-фекальных вод (табл. 2.24).

Таблица 2.23
Суда-сборщики сточных вод

Приписан	Тип
Порт Вологда	Т/х ОС-1
Сухонское пароходство	Т/х ОС-27
Порт Тотьма	Т/х ОС-31
Сухонское пароходство	НС-1
Порт Великий Устюг	НС-2
Сухонское пароходство	баржа № 3313

Таблица 2.24
Загрязняющие вещества, собранные в период навигации 1993 г. судами-сборщиками Сухонского речного пароходства

Вид загрязнения	Количество тонн	Ориентировочный расчет на 1994 г.
Хозяйственно-фекальные воды	2610	2212
Подсланевые воды	1218	1155
Сухой мусор	462	168
Откачено воды из судов	7948	
Продано нефтесодержащих вод	120	
Сдано осветленных вод	400	
Находится на хранении:		
– в НС-1,	218	
– в барже № 3313	80	

Емкости имеющихся судов-сборщиков, видимо, близки к объемам загрязнений, образующихся на судах. Ориентировочный расчет, выполненный по данным о составе флота в 1994 г., с учетом пропорционального снижения пассажирских перевозок и действующих нормативов [88], показал принципиальную возможность приема всех образующихся на судах пароходства загрязнений. Этому должно способствовать усиление контроля со стороны органов государственного санитарного надзора на водном транспорте и природоохранных органов.

Речной транспорт, как один из основных водопользователей, создал такую нормативную базу, которая не позволяет документально

обосновать загрязняющее действие судоходства в некоторых конкретных случаях. Нет нормативов, например, на поступление в воду загрязняющих веществ с выхлопом от стационарных двигателей некоторых типов судов («Ярославец», Т-63, Т-63М и др.), и оценить этот вид загрязнения можно очень ориентировочно. В течение навигации 1993 г. по озеру прошло 4416 судов (см. табл. 2.20). Приняв среднюю скорость передвижения судов по озеру за 8 км/час, а его длину – 60 км, получим, что каждое судно двигалось по озеру 7,5 часа. Предположив, что поступление нефтепродуктов с выхлопом от стационарных двигателей близко по величине поступлениям от загрязняющих веществ лодочных моторов (~0,1 л/час), получим примерно 3300 л нефтепродуктов, или, с завышением, около 3 т. Для разбавления этого количества до ПДК=0,05 мг/л потребуется примерно 60 млн м³ свежей воды.

Независимая примерная оценка может быть основана на учете количества перевозимых по воде нефтепродуктов. При их транспортировке теряется примерно 0,6% перевозимого объема. Смешанные с водой, в виде балластных и моченных вод эти объемы загрязнителя поступают на станции очистки. Если эффективность очистки 85%, то поступление нефтепродуктов в воду составит около 0,1% всего транспортируемого объема. В этом случае на уровень 1993 г., в течение которого по озеру перевезли 15280 т, получаем цифру 15 т. Для разбавления этих нефтепродуктов до ПДК потребовалось бы около 300 млн м³ свежей воды, что почти в два раза превышает оценку объема, необходимого для разбавления загрязнений от подводных выхлопов лодочных двигателей.

По данным Института водных проблем, на уровень 1975 г., когда не были еще предприняты меры по резкому снижению загрязнений воды от судоходства, его вклад в загрязнение Иваньковского водохранилища нефтепродуктами составлял 2% (табл. 2.25).

Таблица 2.25

**Вклад речного транспорта в загрязнение
Иваньковского водохранилища (в %) [3]**

БПК _{челн}		ХПК		Нефтепродукты	
1975 г.	Перспективы	1975 г.	Перспективы	1975 г.	Перспективы
0,3	1	0,2	0,7	2	–

Оценка влияния взмучивания отложений проходящими по озеру Кубенскому судами на качество его воды затруднена. Обследование санитарного состояния водоемов Северо-Двинской системы в

1983 г. [33] показало, что в мелководных озерах Кишемское и Благовещенское из-за взмучивания качество воды в летнее время было весьма неудовлетворительным. В оз. Кубенском такое ухудшение не обнаружено. Это можно объяснить, видимо, астатическим режимом его водных масс, обусловленным малой средней глубиной и относительно малой площадью судоходного фарватера по отношению ко всей площади озера.

Следовательно, оценка роли судоходства в ухудшении качества водных ресурсов озера Кубенского имеет значительный разброс и при существующей нормативной базе вряд ли может быть уточнена.

Вероятно, к оценке влияния судоходства на экосистему озера нужно подходить не с позиции нормативов, составленных явно в интересах мощного судоходного ведомства, а путем постановки специальных исследований. В 1970-х гг., во время работ по выявлению антропогенного влияния на оз. Белое, удалось получить значимые оценки влияния судоходства [12]. Один из главных механизмов – сильное взмучивание донных отложений судами с осадкой 3,5–4 м. Интенсивность прохождения их оценивалась как 5–6 судов в час. Зона судоходной трассы составляла 16% площади озера. На этой площади было отмечено самое низкое содержание органики в илах, обедненность бактериями, сапрофитами, диатомеями. Понижена численность и биомасса зообентоса. Отмечено и пятикратное превышение ПДК нефтепродуктов в этой зоне.

2.7. Влияние маломерных судов

Загрязняющее действие маломерных судов на водоемах нашей страны имеет существенное значение.

Количество подвесных лодочных моторов уже превышает несколько миллионов единиц, и проблема защиты водоемов от нефтепродуктов, поступающих в воду при их эксплуатации, приобретает такую же актуальность, как проблема защиты от воздействий выбросов автомобильных двигателей в условиях городской среды.

На водосборе озера Кубенского, по данным инспекции маломерного флота, было зарегистрировано 913 лодок с подвесными моторами. Непосредственно на акваторию озера приходилось около 500 лодок. В настоящее время частота выездов несколько сократилась, но остается достаточно интенсивной в сенокосное время, во время сбора грибов и ягод.

Известно, что при работе подвесных лодочных моторов в воду попадают летучие и нелетучие нефтепродукты, токсичные канцерогенные вещества. Расчеты показывают, что при работе двигателя

в течение 100 часов (средняя норма за навигацию) в воду поступает до 10 кг нефтепродуктов. Объясняется это тем, что в отличие от судовых дизельных двигателей лодочный мотор имеет подводный выхлоп. Кроме того, имеют место выбросы горючего как во время работы, так и при пуске двигателя. Вопрос о канцерогенных веществах, имеющихся в подводном выхлопе, пока не изучен. Величина ПДК для нефтепродуктов составляет 0,05 мг/л. Если все 913 лодок отъездят за сезон по 100 часов, то от них в водотоки и водоемы поступит 9,13 т нефтепродуктов. Разделив это количество на ПДК, получим объем более 180 млн м³. Столько воды необходимо для разбавления нефтепродуктов, поступающих на водосбор от маломерных судов, до предельно допустимой концентрации. Это составляет примерно 5% объема среднегодового притока в озеро, но в то же время около 18% емкости озера при НПУ.

Принято считать, что для экосистемы водоема терпимо, если одна лодка приходится на 0,5–0,7 га акватории. Для всех 500 лодок, находящихся на озере, эта площадь составит 350 га, что примерно равно 1% площади озера при НПУ.

Однако следует иметь в виду, что в летний период в местах массовых стоянок лодок загрязнения могут превышать допустимые концентрации.

2.8. Рыболовство и воспроизводство рыбных ресурсов

Самым требовательным участником водохозяйственного комплекса в отношении качества, количества воды и уровня режима водных объектов выступает рыбное хозяйство. Озеро Кубенское является водохранилищем с сезонным регулированием с целью создания попусков в Верхнюю Сухону для поддержания на всем ее протяжении судоходных глубин.

Факторы, от которых зависит рыбопродуктивность водохранилищ, довольно разнообразны. Известным ихтиологом П.В. Тюриным [115] выделено 14 из них, оказывающих наибольшее влияние (табл. 2.26).

Показателем рыбопродуктивности водоема может служить объем рыбопродукции, оценка которого возможна по результатам вылова промысловыми артелями и рыбаками-любителями. Следует иметь в виду, что этот показатель не учитывает изменений в технологии лова и влияния социальных факторов.

В среднем рыбопродукция водохранилищ России с учетом любительского лова оценивается значением 10–12 кг/год га, изменяясь

**Важнейшие факторы, оказывающие влияние на уровень
рыбопродуктивности водохранилищ**

Факторы	
благоприятные	неблагоприятные
<i>Характер поверхности водосбора</i>	
Преобладают сельскохозяйственные угодья	Преобладают болота, песа, пески
<i>Площадь водного зеркала, км²</i>	
Менее 100–500	Более 1000
<i>Кэффициент развития береговой линии</i>	
Более 5	Менее 2 – 3
<i>Площадь с глубинами более 20 м</i>	
Нет или незначительна	Преобладает
<i>Водообмен (проточность)</i>	
Менее 3–5 раз в год	Более 20 – 25 раз в год
<i>Мутность воды, г/м³</i>	
Менее 100	Более 1000
<i>Разрушение берегов</i>	
Нет или очень слабое	Сильное или на большом протяжении
<i>Заболочиваемость мелководий</i>	
Нет или очень слабая	На больших площадях
<i>Развитие в осушаемой зоне луговой растительности</i>	
Хорошее	Нет или очень слабое
<i>Развитие водной растительности</i>	
Умеренное	Очень слабое или очень сильное
<i>Состояние уровня в течение года</i>	
Стабильное, колебание уровня менее 0,5 – 1 м	Колебания значительные
– во второй половине лета и осенью	
Сработка более 1 м	Сработки нет
– зимой	
Сработки нет	Сработка незначительная
<i>Суточные и недельные колебания в период нереста ценных пород рыб</i>	
Нет	Превышают 10 см
<i>Заморы рыбы</i>	
Нет	На больших площадях
<i>Ихтиофауна исходного стада</i>	
Преобладают ценные виды рыб	Преобладают малоценные и сорные виды рыб
<i>Загрязнение вредными стоками промышленных предприятий, отходами лесосплава, нефтью и т.п.</i>	
Нет или незначительное (локальное)	Сильное на больших площадях

от водоема к водоему в широких пределах – от 1 до 50 кг/год га. Для озера Кубенского эта величина колеблется по годам и близка к 8–10 кг/год га за период до 1991 г., но она несколько меньше в настоящее

время из-за снижения интенсивности лова по причинам экономического и социального характера.

Значительная часть факторов, отмеченных П.В. Тюриным (см. табл. 2.26), благоприятствует развитию ихтиофауны в озере. Преобладающая часть площади водосбора, непосредственно примыкающая к береговой линии, занята сельскохозяйственными угодьями. Площадь водного зеркала при уровнях, близких к НПУ, не превышает 500 км², имеются удобные места для нерестилищ. Отсутствуют большие глубины, а водообмен составляет немногим более 4 раз в год. Мутность воды невелика, а процесс разрушения берегов давно стабилизировался и ограничивается в основном переработкой пляжей. Заблачиваемость мелководий умеренная, заливные луга отличаются хорошим травостоем. Зарастаемость акватории озера водной растительностью довольно велика – порядка 30%, но летом именно на этих площадях, называемых рыбаками «шаляпами», предпочитает держаться рыба. О роли высшей растительности в жизни экосистем различных водоемов в литературе имеются неоднозначные высказывания.

Официальных сведений о заморах рыбы на озере нет, но по некоторым гидрохимическим пробам [94] отмечался недостаток растворенного кислорода в период ледостава.

Одна из основных научных проблем в настоящее время – обеспечение устойчивого использования биоресурсов при условии сохранения биологического разнообразия. Изменения видового разнообразия ихтиофауны в северных водоемах происходят чаще всего за счет выпадения видов или внутривидовых форм в группе сиговых и лососевых рыб или в результате интродукционной работы. В качестве показателей состояния и динамики структуры в гидробиологии и ихтиологии применяется индекс видового разнообразия Шэннона – Уивера [133] и скорость изменения этого показателя во времени dH / dt .

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i,$$

где S – общее число видов в пробе;

$$P_i = \frac{n_i}{N} - \text{доля } i\text{-ого вида от общей численности всех видов в}$$

пробе;

n_i – численность i -ого вида;

N – общая численность особей всех видов в пробе.

При замене численности на соответствующие биомассы:

$$P_i = \frac{B_i}{B}$$

Шенноном функция H была применена в теории информации как мера информации. Позднее ее стали применять в качестве показателя разнообразия экологических систем. По аналогии с теорией информации разнообразие измеряется в битах. Приведем пример расчета (табл. 2.27), взятый из работы [37].

Таблица 2.27

Пример расчета индекса Шеннона – Уивера

$p_i, \%$	36,2	20,5	2,4	4,8	1,2	13,3	9,6	6,0	2,4	3,6	100
$p_i \log_2 p_i$	0,53	0,47	0,13	0,21	0,08	0,39	0,32	0,24	0,13	0,17	2,67

В первой строке таблицы помещены данные о соотношении видов в пробе p_i . Их сумма равна 100%. Во второй строке – величины произведений $p_i \log_2 p_i$. Их сумма с обратным знаком дает величину индекса видового разнообразия $H=2,67$, учитывающего число видов в сообществе, степень их доминирования или степень неопределенности состояния системы.

Легко убедиться, что, когда доли каждого из видов примерно одинаковы, неопределенность стремится к максимуму. При наличии доминирующего вида, когда доли других членов стремятся к нулю, показатель H стремится к нулю, т.е. уменьшение неопределенности можно увязать с увеличением степени организованности популяции.

Функция Шэннона – Уивера принимает значение, равное нулю при $S=0$, и стремится к бесконечности при $S \rightarrow \infty$.

Ученые Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, на основании многолетних наблюдений за объемом промыслового вылова рыбы в озере и структурой видового состава, получили зависимости, характеризующие динамику промышленных уловов по годам, индекс видового разнообразия и скорости изменения этого индекса во времени [74].

На рис. 2.1 отражена динамика уловов в период с 1938 г. по 1991 г. – в тоннах и величины коэффициента видового разнообразия H – в битах.

Если исключить данные за 1938 – 1948 гг., амплитуда колебаний уловов не превышает 2,5 раза. Показатель видового состава за это же время изменяется несколько меньше. Его амплитуда не превышает 1,5 раза.

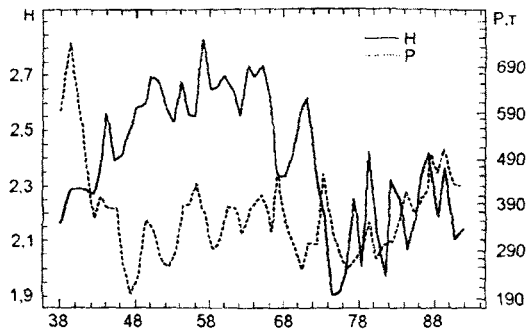


Рис. 2.1. Динамика уловов (P) по годам и изменение параметра H уловов в оз. Кубенском за период 1938 – 1991 гг.

На рис. 2.2 представлен график изменения скорости показателя видового разнообразия dH/dt по годам в зависимости от величины H, полученной по уловам за каждый год. От начала наблюдения до 1960 г. рыбное стадо озера характеризовалось большим разнообразием видов в уловах и близкой их долей в общем количестве. Затем, видимо, увеличилась в выловах доля леща как доминирующего вида, показатель видового разнообразия H уменьшился до 2,1–2,2, система прошла период очередной стабилизации, и величина H опять начала уменьшаться.

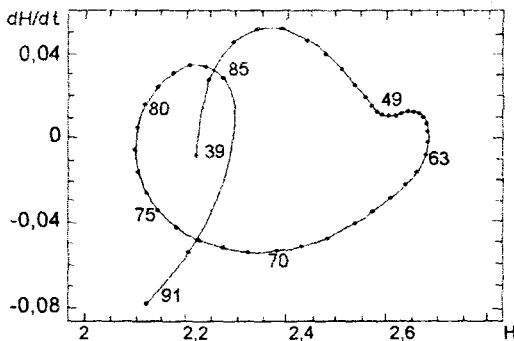


Рис. 2.2. Фазовый портрет рыбного населения оз. Кубенского (по результатам промысла) [74]

Цифрами у точек обозначены годы;

dH/dt – скорость изменения видового разнообразия, бит/год;

H – индекс видового разнообразия, характеризующий состояние системы.

Отдавая себе отчет в том, что система учета уловов далека от совершенства и, конечно, не полностью отражает соотношение видов в самом рыбном сообществе, отметим несомненные достоинства представления характеристик состояния популяции как сложной системы в определенном фазовом пространстве при наличии такого управляющего фактора, как вылов, описываемый в тех же терминах (общее количество, доля каждого из видов и т.д.). На фоне колебаний значений параметров, отражающих состояние популяции, вызванных естественными причинами, можно сформулировать задачу по обеспечению оптимального развития популяции с максимальной полезностью для промысла.

Зависимости $P = f_1(t)$, $H = f_2(t)$ и $\frac{dH}{dt} = f_3(t, H)$ обладают и некоторыми прогностическими возможностями в смысле определения положения системы в фазовом пространстве на ближайшее будущее на основе обратной связи в системе мониторинга.

Возвращаясь к факторам, влияющим на рыбопродуктивность озера как водохранилища с ограниченным сезонным регулированием, (см. табл. 2.26), можно сказать, что информативными представляются параметры уровня и теплового режимов и степени загрязнения тех или иных участков акватории озера.

Обитающих в озере рыб по срокам нереста можно разделить на две группы. К одной из них, наиболее значительной, принадлежат весенне-нерестящиеся рыбы: лещ, щука, судак, окунь, плотва, ерш, язь, густера, уклея, елец, карась, пескарь и налим, нерестящийся зимой. Нерест другой группы рыб – осенне-нерестящихся видов – нельмы и сига-нельмушки проходит в притоках озера, в основном в рр. Кубена и Б. Ельма. Следовательно, практически все промысловые виды рыб на акватории озера нерестятся весной. Наиболее уязвимы они, с точки зрения выживаемости вида, в период нереста и зимовки.

Наблюдения, проводившиеся [23, 74] за размерно-возрастным, весовым составом, численностью популяций основных промысловых рыб, свидетельствуют о наличии в истории жизни озера периодов, характеризующихся появлением низкоурожайных поколений рыб, а также поколений высокой и особо высокой урожайности. Ниже, в гл. 4, приведены результаты исследования зависимости показателей воспроизводства рыбных запасов от абиотических факторов, в т.ч. и от особенностей уровня режима в контексте выработки управленческих решений по его регулированию.

Что касается влияния последствий загрязнения вод озера, то, по материалам траловых съемок, произведенных специалистами Вологодской лаборатории ГосНИОРХ [22], за период 1990 – 1991 гг. на участках акватории, примыкающих к устьям рр. Порозовица и Кубена, численность большинства рыб – наименьшая. На этих же участках наблюдалось снижение численности и биомассы кормовых организмов, в первую очередь бентоса. По сообщениям рыбаков, уловы рыбы в закидных неводах в указанный период уменьшились в 2–2,5 раза именно в северной и юго-восточной частях озера. По этой причине Нефедовской бригаде Гослова Кубенского рыбзавода приходилось выезжать на притонения в центральную и юго-западную части озера, а зимний сетный промысел, который они раньше вели в северной части озера, с 1986 г. был прекращен как нерентабельный. В качестве причины указывается влияние загрязненных вод, поступающих из рр. Кубена и Порозовица. Косвенным подтверждением этого могут служить результаты наблюдений за электропроводностью водных масс озера, проведенных Институтом озераведения РАН [68]. Наибольшие ее величины приурочены как раз к местам впадения рр. Кубена, Порозовица, Уфтыга. Возможно, что это – результат процесса разложения загрязняющих органических веществ, поступающих в озеро со стоком водотоков.

3. ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.1. Поступление загрязняющих веществ с атмосферными осадками

Поступление загрязняющих веществ из атмосферы зависит в основном от объема осадков. Зонально их минерализация возрастает с севера на юг, но решающее значение в ее распределении имеет наличие крупных населенных пунктов, плотность населения, концентрация промышленных предприятий.

В последние 20–25 лет замечена тенденция увеличения кислотности дождей, выпадающих в северо-западной части Европы.

Характеристикой кислотности служит водородный показатель $pH = -\lg \text{H}^+$, где H^+ – концентрация ионов водорода.

В речных водах его значение колеблется от 6,5 до 8,5, в атмосферных осадках – от 4,6 до 6,1, в болотных водах – от 5,5 до 6,0. Этот показатель для речных вод подвержен сезонным колебаниям [40].

Выступая мерой активности ионов водорода, pH принадлежит к основным параметрам, характеризующим протекание химических и биологических процессов в природных водных системах. Нейтральное состояние наблюдается при pH близком к 7. Кислотность воды увеличивается при значениях меньше 7. Если pH превышает 7, возрастают щелочные свойства.

Кислотные дожди не являются новым феноменом и отмечались в промышленных районах Англии уже в начале XX века. Экологическое значение кислотных дождей, pH которых снижается до 4, что связывают с выбросом в атмосферу все возрастающего количества окислов серы и азота, с достаточной полнотой еще не изучено. Наибольшее влияние они должны оказывать на слабоминерализованные водоемы, что проявилось, например, в конце 1960-х гг. на многих озерах и реках Скандинавии. В незагрязненных системах Швеции за 5 лет (1965 – 1970 гг.) pH снизился на 0,15 единицы, т.е. кислотность возросла в 1,4 раза, и это имеет прямое отношение к закислению атмосферных осадков [105].

Кроме pH , полезно знать общую минерализацию осадков. Для малообжитых районов центральной и северо-западной части территории России она оценивается величиной 5–10 мг/дм³. Густонаселенные районы и особенно окрестности крупных городов характеризуются величинами порядка 20–30 мг/дм³.

Для водосбора озера Кубенского при годовом количестве осадков около 800 мм и их минерализации, допустим, 15 мг/дм³ получим величину порядка 120 кг/год га, что конечно же в несколько раз меньше,

чем выносятся водотоками. В формировании качества воды водоемов и водотоков особое значение имеет поступление основных биогенных элементов – фосфора и азота. Его оценку можно получить по картам, построенным на основе данных 40 метеостанций северо-запада России за период 1976 – 1985 гг. (фрагменты карт приведены в [125]).

Водосбор озера Кубенского попадает между изолиниями 5 и 6 кг/год га по количеству азота, поступающего с осадками. Выпадение общего фосфора примерно оценивается величиной 0,2 кг/год га.

Отмечается сезонная динамика поступления биогенных веществ с осадками. Наибольшее количество нитратного азота – 42,0% – приходится на апрель – август. На осеннее время, сентябрь – октябрь, – 24,2% и на ноябрь – март – 33,8%. Поступление фосфора в количестве около 65% отмечается в апреле – августе. В сентябре – октябре его поступает почти 9% и в ноябре – марте – примерно 26%.

3.2. Вынос биогенных веществ с неосвоенных площадей

Количество биогенных веществ, попадающих в почву из атмосферы, соизмеримо с оценками их выноса с лесных, целинных и других неосвоенных территорий.

Из лесного растительного опада на территории центра и северо-запада России выносятся в год 0,5–0,6 кг/га азота и 0,03–0,06 кг/га фосфора (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Количество азота и фосфора, поступающего в водные объекты из лесного растительного опада [62]

Место наблюдения	Удельное содержание, кг/га	
	азота	фосфора
Карелия	1,8	0,06
Костромская область	0,5	0,03
Ленинградская область	1,1	0,04
Московская область	1,3	0,05
Новгородская область	1,5	0,05
Псковская область	2,5	0,04

В зависимости от характеристик элементов ландшафта оценки выноса талыми снеговыми и дождевыми водами между лесом, болотами и пашней для фосфора изменяются на порядок. Для азота – в 3–5 раз (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Количество биогенных веществ, выносимых талыми снеговыми и дождевыми водами (кг/год га) [62]

Элементы ландшафта	Фосфор общий	Азот общий
Леса, болота	0,05–0,10	1–2
Луга, малоосвоенные земли	0,1–0,5	2–3
Пашни обрабатываемых земель	0,5–1,0	3–5

Следует иметь в виду, что много фосфора выносится в гидрографическую сеть с продуктами водной эрозии почв. В водных объектах поступление продуктов эрозии формирует в значительной мере химический состав водных масс и режим осадконакопления в качестве донных отложений.

Процессы миграции загрязняющих веществ, в том числе и биогенных, в значительной мере зависят от факторов, определяющих формирование поверхностного и внутрпочвенного стока. Уклон местности, густота гидрографической сети, почвенный покров, распределение лесов и других естественных угодий определяют, в каком объеме жидкие осадки и тающие снега трансформируются в склоновый и русловой сток.

3.3. Качество воды и гидрологический режим

Качество воды (КВ) является одним из результатов жизнедеятельности озерной экосистемы и представляет собой совокупность свойств, определяющих пригодность водных ресурсов для конкретных видов водопользования, и условия существования водных экосистем.

Если управление водными ресурсами в количественном смысле имеет длительную предысторию и развитый инструментарий, то управление качеством воды и экологическим состоянием водоемов и водосборов находится в стадии формирования.

Химический состав водных ресурсов – одна из составляющих их качества. Определение количественных показателей химического состава и свойств воды необходимо для решения широкого спектра водохозяйственных задач. Выше мест действующих или проектируемых сбросов сточных вод эти показатели носят название фоновых характеристик химических веществ. При этом за оценку фоновой концентрации вещества (C_{ϕ}) принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница возможных средних значений концентраций этого вещества, «рассчитанная по результатам гидрохимических наблюдений для наиболее неблагоприятных гидрологических условий или наиболее неблагоприятного в отношении качества воды времени года» [26].

Поскольку ряды наблюдений за гидрохимическими характеристиками, как правило, отсутствуют или очень коротки, возникают значительные трудности получения их статистически достоверных оценок даже вблизи створов, по которым имеется комплекс наблюдений за стоком и гидрохимией. В расчетном створе могут быть три ситуации: 1) имеется достаточно длительный ряд наблюдений для определения параметров

с достаточной точностью, 2) ряд наблюдений невелик и, наконец, 3) наблюдения в створе отсутствуют.

Не вдаваясь в подробности технологии отборов проб воды и особенностей статистической обработки результатов анализов этих проб для каждого конкретного сечения, можно сказать, что основным для получения оценки C_{ϕ} является способ, использующий зависимости между расходом Q и концентрациями химических веществ в данном створе C_{ϕ} типа: $C_{\phi} = f(Q)$. Значимость и вид этих статистических связей могут быть установлены известными способами.

При отсутствии значимых зависимостей $C_{\phi} = f(Q)$ выборка концентраций составляется на основе данных по последнему году, а из предыдущих лет берутся только те значения C_{ϕ} , которые несущественно отличаются от концентраций этого вещества за основной год, допуская при этом некоторый субъективизм.

Обработка массивов данных по химизму воды и сопряженных с ними расходов показала, что их распределения далеки от нормального и имеют асимметричную форму. Это затрудняет применение линейной корреляции, зачастую диктует необходимость подбора линеаризирующих функций.

В условиях недостатка информации по гидрохимии для построения связей $C_{\phi} = f(Q)$ приходится использовать фазово-разнородные расходы, совокупность которых отражает интегральное распределение стока в данном створе внутри года.

Оценка же C_{ϕ} , при наличии значимой зависимости $C_{\phi} = f(Q)$, получается путем решения этого уравнения подстановкой значения расхода определенной обеспеченности, полученного по кривым соответствующих фазово-однородных расходов (минимальных или максимальных), отражающих их распределение в многолетней перспективе.

Кривые обеспеченности фазово-разнородных расходов или кривые продолжительности суточных расходов имеют твердо установленные концы, т.е. известные за многолетие или в данном году абсолютный максимум и минимум. Это обусловлено технологией их построения. Распределения, применяемые для описания колебаний фазово-однородных расходов, как правило, не ограничены в области максимумов (например, трехпараметрическое гамма-распределение, биномиальное, нормальное и др.). Легко показать, что если коэффициенты асимметрии приводимого ряда, в данном случае C_{ϕ} , и ряда – аналога (Q) не равны между собой, то зависимость между ними будет криволинейной.

Особенности распределений гидрологических характеристик и оценок химического состава воды позволяют попытаться создать методику расчета некоторых фоновых характеристик для створов, по которым отсутствуют данные наблюдений.

При этом характеристики стока, т.е. обеспеченные расходы за периоды минимального стока, могут быть вычислены в соответствии со СНиП [70]. Характер кривой обеспеченности суточных расходов может быть определен на основе обобщений Д. Л. Соколовского [106] или путем аппроксимации асимметричным распределением, использованным для этих целей В.А. Урываевым в виде двойной показательной функции:

$$P = 1 - 10^{-m} \left(\frac{k_{\max} - k}{k - k_{\min}} \right)^n, \quad (3.1)$$

где: P – обеспеченность в долях от единицы;
 k_{\max} – начальная ордината или средний максимум;
 k_{\min} – конечная ордината или средний минимум;
 m, n – параметры, определяемые по номограмме.

В этой части имеются некоторые трудности с определением параметров для конкретных неизученных створов, но они представляются преодолимыми благодаря, например, работам В.Г. Андреянова [10] и Д.Л. Соколовского, выполненным для территориального обобщения кривых продолжительности суточных расходов.

Кроме того, зависимость (3.1), при двойном логарифмировании, для рек нашей зоны хорошо сглаживается, что дает возможность идентифицировать ее параметры на эмпирическом материале.

По классификации Д.Л. Соколовского реки исследуемой зоны в зависимости от озерности относятся к IV–VI типу режима внутригодового распределения.

Исходя из асимметричной формы кривых распределения стоковых характеристик и гидрохимических параметров, уравнения связи между ними в общем виде должны быть криволинейными. Их аналитическое выражение, получаемое при построении двумерной плотности распределения, очень громоздкое и содержит, например, в случае несимметричной гамма-корреляции шесть параметров, которые необходимо определять по эмпирическим данным. В этой ситуации следует подыскать аппроксимацию с минимумом параметров и простой структурой. Во многих случаях связи между стоком и гидрохимическими характеристиками, а также между ними самими хорошее совпадение с эмпирическими точками дает зависимость показательного вида:

$$C_{\phi} = aQ^b. \quad (3.2)$$

При этом знак параметра b может быть не только отрицательным, но и положительным, т.к. различные компоненты химического состава воды имеют разный характер изменения концентраций в зависимости от стока.

Теснота связей $C_{\phi} = f(Q)$, как правило, оставляет желать лучшего, что наводит на мысль об использовании т.н. «единого решения» для уравнения регрессии, т.е. поиск связи не между соответственными, а между ранжированными выборками [127]. В гидрометеорологии для решения подобных задач при наличии криволинейных зависимостей используется графический или графоаналитический методы. Первый не зависит от вида распределения коррелируемых величин, а второй разработан в основном для биномиального и логнормального распределения [106].

Применение этих способов в массовом порядке требует разработки специального математического обеспечения. В настоящей работе использована авторская программа COMPLEX, составленная совместно с Ю.Л. Скворцовым, для статистической обработки гидрометеорологической информации с учетом требований СНиП [70]. Это дает возможность выполнить в значительном объеме корреляционный анализ, найти оценки статистических параметров распределения как стоковых, так и гидрохимических характеристик.

Поиск зависимостей между явлениями или признаками обычно сводится к следующему:

- качественному выявлению наличия зависимости;
- установлению формы корреляционной связи, т.е. вида регрессии;
- установлению аналитического уравнения связи, с помощью которого можно аппроксимировать данную зависимость;
- определению параметров зависимости и оценке ее точности.

На первом этапе в качественном отношении подтверждается либо отвергается предположение о наличии взаимосвязи переменных, а также же анализируется качество исходной информации.

Синхронность (асинхронность) изменения отдельных компонентов химического состава поверхностных вод исследуемой территории в соответствии с изменениями характеристик стока – факт, который подтверждается во многих литературных источниках [38, 39, 68]. Ранее, в работе [87] нами, на основании данных о гидрохимическом режиме рек Сухона, Кубена, Сямжена на даты взятия проб воды за период 1989 – 1991 гг. (см. табл. 3.3 – 3.5), прослежена динамика изменения показателей гидрохимического режима и степень ее синхронности с динамикой стоковых характеристик. При этом использована как стандартная информация, опубликованная в Государственном водном кадастре «Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши» (т. 1 (28), вып. 8, 23), так и ведомственные данные – ЦСЭН и Вологодского областного комитета экологии.

Таблица 3.3

Средние расходы воды р. Сухона у д. Рабаньга
и показатели гидрохимического режима у д. Кузнецово в 1991 – 1993 гг.

Дата	Характеристики / имя файла							
	Расход воды, м ³ /с	100 Q	Взвешенные вещества, мг/л	БПК полн., мг/л	Минерализация, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Нитраты, мг/л
	QH	Q ₀	VV	ВПК	SOS	Cl	SO	NO
02.1991 г.	74,8	1,34	1	3,7	240,4	8,1	20	0
03.1991 г.	64,9	1,54	4	3,4	248,4	7,65	10	0,89
1.04.1991 г.	57,7	1,73	-	4,4	284	10,2	40	2,66
9.04.1991 г.	-	-	-	6,4	256	9,7	40	2,66
16.04.1991 г.	-	-	-	10,8	-	-	-	5,98
18.04.1991 г.	-	-	-	10,4	-	-	-	5,98
24.04.1991 г.	240	0,42	4,8	10,2	-	-	-	3,1
05.1991 г.	516	0,19	1,2	10,5	103,6	4	10	-
06.19.1991 г.	449	0,22	1	7,3	120,4	3,5	10	0
07.1991 г.	158	0,63	-	6,2	124,8	4,01	5	0
08.1991 г.	158	0,63	12,2	7,8	152,8	4,45	20	0
09.1991 г.	127	0,79	4,6	7,6	154	4,95	10	0
10.1991 г.	137	0,73	9,2	12	153,6	5,1	10	0
11.1991 г.	118	0,85	3	11,5	231,2	10,8	30	1,77
12.1991 г.	90,6	1,1	5,8	12,1	210	7,73	20	0,58
01.1992 г.	65	1,54	0,8	1,9	235,6	6,3	20	2,21
02.1992 г.	55	1,82	2,4	3,1	266	9,5	20	3,1
03.1992 г.	30	3,33	-	1,3	290,8	12	40	0
9.04.92 г.	50	2	5,4	2,3	171,8	11	40	9,75
13.04.1992 г.	70	1,43	5,6	1,6	154,4	10	10	7,53
05.1992 г.	520	0,19	7,6	3	106	3	29	0
06.1992 г.	318	0,31	-	2,4	127,6	4	10	0
07.1992 г.	123	0,81	15,2	3,1	132,6	3,5	10	0
08.1992 г.	108	0,93	16	2,6	147,6	4	30	0
09.1992 г.	90	1,11	5,2	5	173,6	5,05	10	0
10.1992 г.	66	1,52	63	2,2	188,4	6,06	40	0
11.1992 г.	45	2,22	0,8	2,7	256,4	9,8	40	0
12.1992 г.	45	2,22	3,8	3,7	271,2	11,2	-	10,6
01.1993 г.	28	3,57	-	4,7	387,2	11,7	40	2,66
02.1993 г.	20	5	2,2	5,1	324,8	10,7	40	7,3
12.04.1993 г.	108	0,93	1,6	4,5	259,2	16	40	5,3
26.04.1993 г.	-	-	-	3,4	281,2	8,5	20	0
05.1993 г.	480	0,21	0,6	3,9	109,6	3,5	10	0
06.1993 г.	284	0,35	4,2	2,5	131,6	4	40	0
07.1993 г.	100	1	-	4,4	138,4	4,45	40	0,44
08.1993 г.	197	0,51	9,2	2	176,8	4	40	0
09.1993 г.	266	0,38	59,4	2,75	90	4,5	20	0
10.1993 г.	195	0,51	-	3,95	163,2	5	40	0
11.1993 г.	150	0,67	-	3,3	182,8	7	40	0,08
12.1993 г.	-	-	23,6	3,8	278,8	5	40	0
05.1994 г.	459	0,22						

Таблица 3.4

**Характеристики водного режима р. Кубена у д. Троице-Енальское
и гидрохимического режима выше д. Кубинская**

Дата	Характеристики / имя файла								
	Расход воды, м ³ /с	100 Q	Взвешенные вещества, мг/л	БПК полн., мг/л	Минерализация, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Нитраты, мг/л	Азот суммарный, мг/л
	QHк	Q _{0к}	VVк	ВПКк	SOSк	Clк	SOк	NOк	SNOк
12.02.1990 г.	5,02	19,9	4,7	0,62	349,1	22,3	49,2	0,62	0,882
19.04.1990 г.	177	0,56	-	0,62	73,4	2,7	8,7	0,07	0,21
25.04.1990 г.	60,9	1,64	4,8	0,62	65,3	2,8	8,7	0,17	0,32
13.05.1990 г.	14,5	6,9	8,4	0,46	116,4	2,3	14,5	0,1	0,25
13.07.1990 г.	4,69	21,3	5,8	1,29	232	3,8	32	0,13	0,258
29.08.1990 г.	3,08	32,5	5,1	2,93	258,2	2,7	24,9	0,26	0,122
11.09.1990 г.	4,78	20,9	5	1,24	257,6	3,3	35,5	0,12	0,362
25.10.1990 г.	17,4	5,75	8,5	0,31	124,3	5,7	16,3	0,05	0,253
30.01.1989 г.	3,61	27,7	6	0,5	231,8	2,1	30,5	0,52	0,793
25.04.1989 г.	137	0,73	2,3	3,78	85,3	0,8	18,4	0,03	0,242
27.04.1989 г.	135	0,74	22,4	-	86,3	1,1	12,8	0,01	0,222
8.05.1989 г.	33,8	2,96	2,2	0,7	88,4	1	13,6	0,1	0,562
23.07.1989 г.	8,46	11,8	11,2	0,99	162,7	2,1	13,6	0	0,18
3.08.1989 г.	5,19	19,27	3	2,25	191,3	1,1	16	0,07	0,45
1.10.1989 г.	12,4	8,06	1	0,66	187,8	1	22,2	0,14	0,33
5.02.1991 г.	1,62	61,7	4,5	0,46	280,4	9,1	38,9	0,24	0,353
7.04.1991 г.	4,87	20,5	1,8	3,1	168,7	5,9	24,9	0,16	0,375
17.04.1991 г.	109	0,92	7,5	2,58	82,9	4,3	10	0,04	0,165
10.05.1991 г.	50,9	1,96	15,4	0,86	68,5	3,3	11	0,01	0,274
10.08.1991 г.	4,05	24,7	5,4	2,06	288,9	7,3	33,2	0,11	0,182
25.09.1991 г.	6,09	16,4	15,9	-	264,6	6,5	29,4	0,13	0,442
18.10.1991 г.	5,77	17,33	1,2	6,53	199,3	4,1	33	0,16	0,74

Таблица 3.5

**Характеристики водного и гидрохимического режимов
р. Сямжена у с. Сямжа**

Дата	Характеристики / имя файла								
	Расход воды, м ³ /с	100 Q	Взвешенные вещества, мг/л	БПК полн., мг/л	Минерализация, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Нитраты, мг/л	Азот суммарный, мг/л
	QHс	Q _{0с}	VVс	ВПКс	SOSc	Clс	SOс	NOс	SNOс
5.03.1989 г.	2,1	47,6	-	1,9	261,6	5,6	43,9	0,35	0,61
16.04.1989 г.	25,1	3,98	18	1,89	131,8	3,7	19,2	0,26	0,808
27.04.1989 г.	164	0,61	15,7	1,9	69,1	1	16,8	0,02	0,261

5.05.1989 г.	140	0,71	12,3	1,09	81,1	1,4	16,8	0,02	0,251
26.07.1989 г.	19,3	5,18	4,3	1,9	185,3	1,5	20	1	0,32
7.08.1989 г.	8,86	11,3	4,8	1,91	149,3	3,1	14,4	0,06	0,3
4.11.1989 г.	30,2	3,31	0,8	1,9	85	2,7	14,2	1	0,22
18.02.1990 г.	4,01	24,9	1,8	1,88	203,6	6,3	25,9	0,64	0,764
6.04.1990 г.	46,6	2,14	13	1,92	86	4,6	12,6	0,32	0,542
19.04.1990 г.	183	0,55	8,4	1,88	54,3	2,6	8,7	0,05	0,263
25.04.1990 г.	64,7	1,54	8,2	1,89	62,3	2,7	9,7	0,05	0,16
1.07.1990 г.	13	7,69	-	1,9	73,6	3,4	10,7	0,03	0,12
1.09.1990 г.	8,45	11,8	-	1,88	141,5	3,2	14,4	0,07	0,362
25.10.1990 г.	24,2	4,13	4,6	-	99,1	7,4	14,4	0,05	0,172
5.03.1991 г.	3,48	28,7	6,4	2,41	253,8	5,7	34,9	0,35	0,852
15.04.1991 г.	154	0,65	6,7	2,47	74,9	3,5	13	0,18	0,31
17.04.1991 г.	210	0,48	-	2,45	70,7	4,1	10	0,14	0,325
21.04.1991 г.	132	0,76	-	2,55	68,4	4,9	12	0,05	0,41
2.06.1991 г.	28,5	3,51	10,8	-	99,9	3,5	12,5	1	0,21
8.07.1991 г.	3,52	28,4	1,7	1,89	128,1	5,2	27,9	0,05	0,182
28.10.1991 г.	7,18	13,9	2,2	-	93,2	3,9	18,7	0,08	0,6

На рис. 3.1–3.4 в качестве иллюстраций приведены изменения концентраций некоторых химических элементов и стока по р. Сухоне.

На оси абсцисс (рис. 3.1) нанесены номера дней года, начиная с 1 января, у точек обозначения даты взятия проб воды. На оси ординат откладываются на соответствующую дату значения расходов воды и величины следующих химических характеристик: кислорода, взвешенных

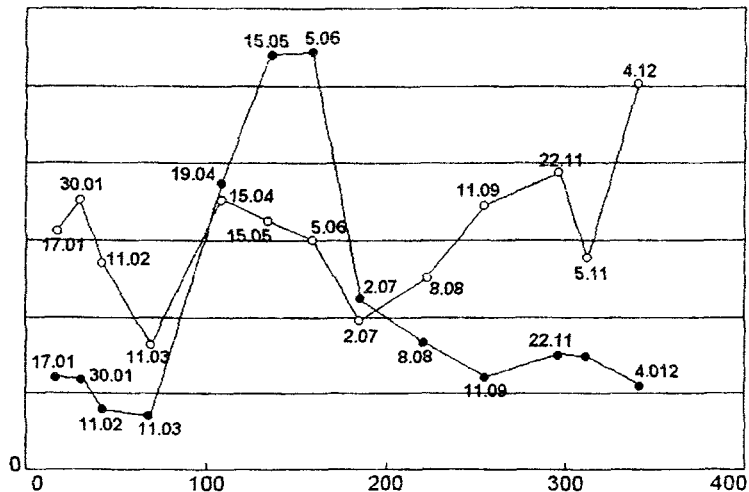


Рис. 3.1. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и концентраций растворенного кислорода (р. Сухона – г. Сокол. 1991 г.)

веществ, гидрокарбонатного иона, общей минерализации. Они масштабированы исходя из условия отражения амплитуды их изменений в поле рисунка.

Предварительный анализ свидетельствует о том, что степень синхронности (асинхронности) колебаний стока и концентраций химических элементов достаточно заметная. Это относится к концентрации взвешенных веществ (рис. 3.2), иона гидрокарбоната (рис. 3.3), общей минерализации (рис. 3.4), сульфатов, хлоридов. Теснота зависимости взаимного изменения стока и растворенного кислорода меньше (см. рис. 3.1). В межливневый период иногда наблюдается рост концентрации при снижении величин расхода. Возможно, в эту зависимость следует ввести третью переменную – температурный параметр. Простой визуальный анализ таких совмещенных кривых дает возможность обнаружить грубые ошибки.

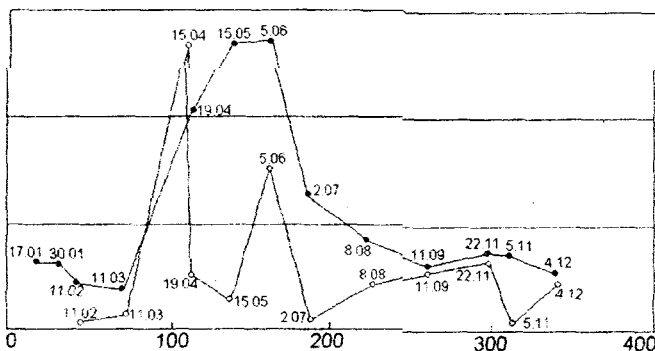


Рис. 3.2. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и взвешенных веществ (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)

Интересные результаты анализа данных, полученные базовой лабораторией МУП «Вологдаводоканал» в результате технологического контроля в створах водозаборов на оз. Кубенском и р. Вологде, опубликованы в работе [39]. Показана периодичность изменений содержания кальция, магния, хлоридов, сульфатов, ХПК, мутности и цветности в соответствии с гидрологическим режимом водоемисточников. В то же время отмечается отсутствие статистически значимой зависимости между показателями водности этих источников водоснабжения и таких ингредиентов, как биогенные загрязнения, нефтепродукты, СПАВ, фенолы, свинец, марганец, кадмий, мышьяк и т.п., что, по мнению авторов [39], указывает на антропогенно-техногенное происхождение загрязнений этими веществами.

В целом же результаты предварительного анализа положительны и позволяют приступить к исследованию коррелятивных связей и оценке переменных в многолетнем разрезе.

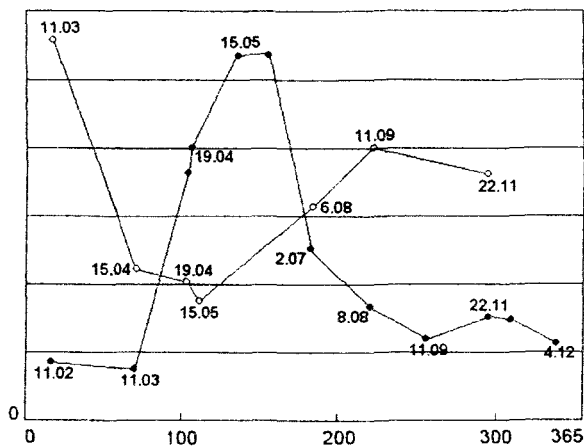


Рис. 3.3. Совмещенные кривые среднесуточных расходов воды и концентраций иона гидрокарбоната (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)

Как отмечалось выше, одна из особенностей имеющейся в настоящее время информации о качестве воды поверхностного стока такова: как правило, выполняется ряд отборов проб в различные сезоны. Это приводит к тому, что приходится при обобщении результатов анализов оперировать фазово-разнородными величинами.

Внутри каждого года они распределены асимметрично. Подобная же картина имеет место при описании внутри годового распределения стока.

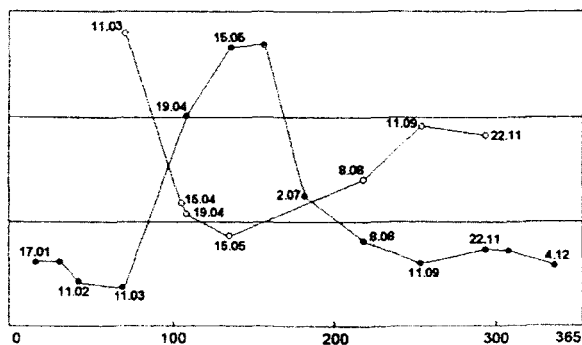


Рис. 3.4. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и общей минерализации (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)

Для ее описания в гидрологии традиционно используются кривые продолжительности или обеспеченности средних суточных расходов, показывающие продолжительность стояния в течение года расходов, превышающих или равных данному.

На рис. 3.5 приведена, в качестве примера, кривая обеспеченности суточных расходов р. Сухоны в створе д. Рабаньга за период 1990 – 1992 гг., построенная по расходам, при которых брались пробы для анализов по определению качества воды, т.е. по 36 точкам.

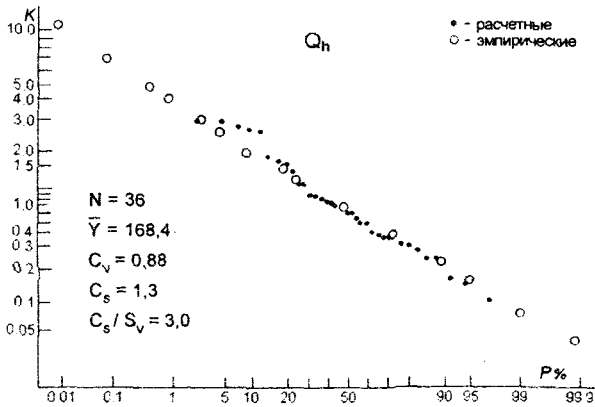


Рис. 3.5. Кривая обеспеченности среднесуточных расходов р. Сухоны – в/п Рабаньга за период 1990 – 1992 гг. (при $n = 36$)

Ее параметры: среднее, коэффициенты вариации и асимметрии приведены в табл. 3.6 в столбце Q_h .

Таблица 3.6

Параметры среднееголетних кривых распределения гидрохимических характеристик р. Сухоны в створе д. Кузнецово и стока в створе д. Рабаньга

	Q_h	Q_{h_1}	Q_0	SOS	CI	SO	NO	VV	BPK
\bar{X}	168	159	1,19	198	7,0	25,9	4,0	9,8	5,1
C_v	0,88	0,96	0,88	0,36	0,46	0,51	0,79	1,59	0,63
C_s	1,3	1,6	1,9	0,54	0,72	-0,1	0,72	2,9	1,0
C_s/C_v	3	2	2	2	3	2	2	3	3
n	36	96	36	37	37	36	18	36	36

На рис. 3.6 представлена кривая распределения, построенная по той же выборке, но с привлечением еще 60 расходов, при которых нет данных по гидрохимии. Эти расходы набраны из среднеемесячных величин за годы с минимальным и максимальным годовым стоком, что

позволило охватить амплитуду его изменений за весь период гидрологических наблюдений на данном посту.

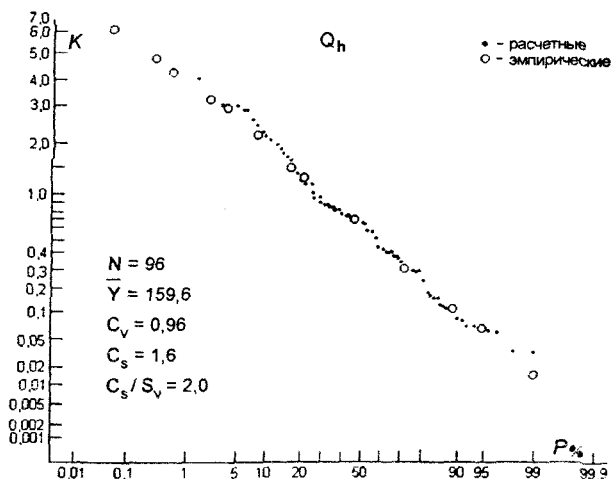


Рис. 3.6. Кривая обеспеченности среднесуточных расходов р. Сухоны – в/п Рабаньга за период 1942 – 1994 гг.

Параметры кривой представлены в табл. 3.6 под индексом Q_n . Как и следовало ожидать, ее коэффициент вариации несколько выше первой, а соотношение C_s/C_v уменьшилось.

Подобным образом были обработаны ряды наблюдений за стоком и гидрохимическими характеристиками в створах р. Сямжена – с. Сямжа и р. Кубена – оз. Кубенское. Параметры этих кривых приведены в табл. 3.7, 3.8. Легко увидеть, что уже по оценкам средних значений и коэффициентов вариации можно судить о степени соответствия химического состава воды в том или ином створе требованиям водопотребителей или различных нормативных документов.

Таблица 3.7

Параметры среднеголетних кривых распределения стоковых и гидрохимических характеристик р. Сямжена в створе с. Сямжа

	Q_{nc}	Q_{nc1}	Q_{nc}	$SOsc$	Clc	SOc	NOc	VVc	$BPkc$
\bar{X}	60,6	26,6	9,61	118	3,81	17,7	0,15	7,48	1,98
C_v	1,16	1,6	1,31	0,52	0,43	0,50	1,1	0,70	0,17
C_s	1,0	2,6	1,8	1,3	0,3	1,8	1,7	0,61	-0,4
C_s/C_v	2	3	2	3	2	3	3	2	2
n	21	93	21	21	21	21	18	16	18

Таблица 3.8

**Параметры среднеголетних кривых распределения
стоковых характеристик р. Кубена у с. Троице-Енальское
и гидрохимических характеристик у д. Кубинская**

	Qhk	Qhk ₁	Q ₀ k	SOSk	Clk	SOk	NOk	VVk	ВРКк
\bar{X}	36,6	18,8	14,7	176	4,33	22,6	0,15	6,77	1,63
C_v	1,45	1,71	0,98	0,49	1,06	0,50	1,0	0,81	0,95
C_s	1,65	3,0	1,6	0,26	3,1	0,61	2,1	1,6	1,9
C_s/C_v	3	4	2	2	3	3	2	2	3
n	22	94	22	22	22	22	21	21	20

Более подробная характеристика возможных величин концентраций тех или иных химических веществ содержится в табл. 3.4 – 3.11. Отметив на этих таблицах, например, величины ПДК для каждого из загрязнителей, можно получить объективную картину вероятности их превышения в течение среднего для многолетия года.

Таблица 3.9

**Ординаты среднеголетних кривых распределения
гидрохимических характеристик р. Сухоны
в створе д. Кузнецово и стока в створе д. Рабаньга**

Параметр	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
Qh	725	448	343	216	126	71	41	29
Qh ₁	703	463	359	220	114	50	20	10
Q ₀	4,8	3,3	2,6	1,6	0,9	0,4	0,2	0,1
SOS	400	329	204	240	189	146	114	98
Cl	17,5	13,1	11,2	8,6	6,4	4,7	3,6	3,0
SO	66,5	51,1	43,8	36,0	23,7	16,2	11,0	8,8
NO	14,9	10,3	8,3	5,5	3,2	1,7	0,9	0,5
VV	74,4	36,9	24,5	11,5	4,5	1,5	0,5	0,2
ВРК	16,3	11,2	9,1	6,4	4,3	2,9	2,0	1,6

Таблица 3.10

**Ординаты среднеголетних кривых распределения
стоковых и и гидрохимических характеристик р. Сямжена у с. Сямжа**

Параметр	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
Qhc	322	201	149	82,8	36,7	12,9	3,6	1,3
Qhc ₁	204	101	66,7	31,3	12,0	4,0	1,2	0,6
Q ₀ c	58,5	34,9	24,8	12,8	4,9	1,4	0,3	0,1
SOSc	324	235	197	146	105	74,5	54,5	45,2
Clc	8,6	6,9	6,0	4,7	3,6	2,6	1,9	1,6
SOc	47,1	34,5	29,2	21,9	15,8	11,4	8,4	7,0
NOc	0,80	0,50	0,30	0,20	0,1	0,048	0,024	0,015
VVc	24,6	17,6	14,5	10,0	6,3	3,7	2,0	1,4
ВРКс	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,7	1,6	1,5

Таблица 3.11

**Ординаты среднемноголетних кривых распределения
стоковых характеристик р. Кубена у с. Троице-Енальское
и гидрохимических характеристик у д. Кубинская**

Параметр	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
Qhk	255	131	89,5	44,5	18,7	7,0	2,5	1,3
Qhk _г	154	73,8	47,9	21,5	7,7	2,3	0,6	0,3
Q _г k	66,7	43,7	33,6	20,5	10,3	4,4	1,7	0,8
SOSk	435	337	291	224	162	113	78,3	61,9
Clk	22,3	12,9	9,5	5,6	2,9	1,5	0,7	0,5
SOk	60,0	44,0	37,3	28,0	20,3	14,6	10,8	9,1
NOk	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,04	0,01	0,008
VVk	25,3	17,5	14,0	9,3	5,4	2,8	1,4	0,8
BPKk	7,6	4,6	3,4	2,1	1,2	0,6	0,3	0,2

Эти ординаты представляют собой многолетние характеристики гидрохимических параметров в створах, построенные только на основе данных за период наблюдений. В климатологии и гидрологии существует процедура улучшения оценок параметров распределения путем их приведения, если это возможно, к более длительному периоду.

Первый шаг в осуществлении этой процедуры – вычисление парных коэффициентов линейной корреляции между расходами воды и гидрохимическими характеристиками. Для этого, при $n = 32$, членом выборки и более, его величина должна быть более 0,35, при $n = 19$ членам – более 0,45 [106].

Значения коэффициентов приведены в табл. 3.12 – 3.14, часть из них оказалась значимой на 5%-ном уровне. По этим таблицам легко обнаружить пары выборок, зависимости между которыми могут служить целям приведения параметров к многолетию или предвычисления одних гидрохимических характеристик по другим – с более длительными рядами, или по стоковым характеристикам.

Таблица 3.12

Коэффициенты корреляции между расходом воды в створе р. Сухона – д. Рабаньга и у д. Кузнецово и гидрохимическими характеристиками

	Qh	VV	BPK	SOS	Cl	SO	NO
Qh	1	-0,04	0,18	-0,69	-0,62	-0,33	-0,37
VV		1	-0,23	-0,23	-0,25	0,19	0,15
BPK			1	-0,10	-0,06	-0,30	-0,20
SOS				1	0,77	0,47	0,07
Cl					1	0,44	0,55
SO						1	0,10
NO							1

Таблица 3.13

**Коэффициенты корреляции между расходом воды
и гидрохимическими характеристиками р. Сямжена – с. Сямжа**

	Qhc	VVc	BPKc	SOSc	Clc	SOc	NOc	SNOc
Qhc	1	0,45	0,19	-0,65	0,53	-0,48	-0,34	-0,30
VVc		1	-0,23	-0,30	-0,37	-0,27	-0,12	0,13
BPKc			1	0,03	0,45	-0,03	0,14	0,22
SOSc				1	0,41	0,88	0,68	0,64
Clc					1	0,42	0,33	0,40
SOc						1	0,56	0,58
NOc							1	0,79
SNOc								1

Таблица 3.14

**Коэффициенты корреляции между расходами воды р. Кубена
у с. Троице-Енальское и гидрохимическими характеристиками
у д. Кубинская**

	Qhk	VVk	BPKk	SOSk	Clk	SOk	NOk	SNOk
Qhk	1	0,36	0,042	-0,69	-0,28	-0,59	-0,43	-0,36
VVk		1	-0,42	-0,23	-0,07	-0,30	-0,27	-0,29
BPKk			1	0,035	-0,13	0,13	-0,18	0,10
SOSk				1	0,61	0,92	0,65	0,40
Clk					1	0,69	0,64	0,46
SOk						1	0,68	0,55
NOk							1	0,72
SNOk								1

Методику получения кривых распределения концентраций загрязняющих веществ рассмотрим на примере обработки данных по сухому остатку в створе р. Сухоны – д. Кузнецово. Расходы воды для зависимостей взяты по гидрометеорологическому посту у д. Рабаньга.

Оценка коэффициента линейной корреляции между расходами и сухим остатком (SOS) отрицательная и довольно высокая ($r = -0,69$).

Для удобства при последующей обработке преобразуем ряд расходов в обратные величины:

$$Q_0 = \frac{100}{Q_i}$$

Кривая обеспеченности этой вспомогательной характеристики приведена на рис. 3.7. Уравнение линейной корреляции имеет вид:

$$SOS = 56,3Q_0 + 121.$$

Построив корреляцию между величинами Q_0 и SOS (см. рис. 3.8), убеждаемся, что желаемой полной линеаризации не произошло. Пять точек выпали за пределы коридора 25%-ной ошибки.

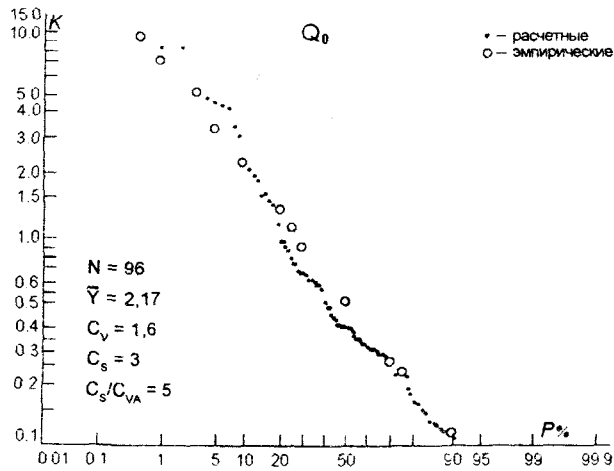


Рис. 3.7. Кривая обеспеченности $Q_0 = 100:Q$ для створа р. Сухоны – в/п Рабаньга (при $n = 96$)

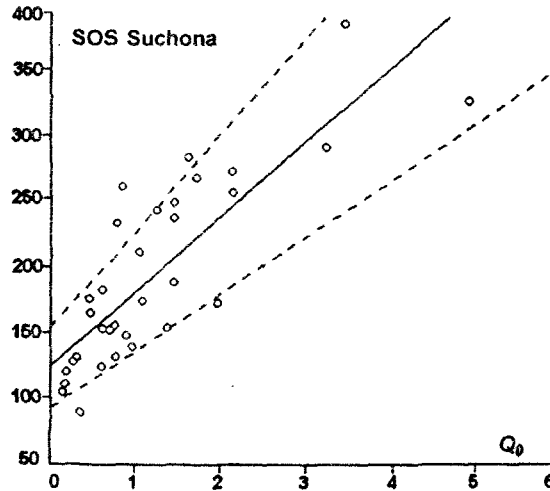


Рис. 3.8. График зависимости сухого остатка от величины, обратной расходу воды $SOS = f(Q_0)$

Проделав процедуру приведения параметров распределения к многолетию, описанную подробно ранее [86], получаем оценки среднего и коэффициента вариации (первая строка табл. 3.15).

По этим параметрам, используя таблицы трехпараметрического гамма-распределения [106], вычисляем ординаты кривой обеспеченности (см. первую строку табл. 3.16).

Таблица 3.15

Параметры распределения сухого остатка, приведенные к многолетию
(р. Сухона – д. Кузнецово)

Уравнение зависимости	\bar{Y}_N	Cv_N	r
$y=56,3x+121$	243	0,48	0,83
$y=187x^{0,37}$	202	0,69	0,86
$y=188x^{0,42}$	209	0,77	0,98

Таблица 3.16

Ординаты кривых распределения, полученные разными способами
(р. Сухона – д. Кузнецово)

Уравнение зависимости	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
$y=56,3x+121$	597	464	401	310	225	157	110	54
$y=187x^{0,37}$	655	471	388	270	172	100	57	38
$y=188x^{0,42}$	751	525	424	285	170	92	48	29

Для осуществления приведения к многолетию с учетом криволинейности по этим же соответственным величинам методом наименьших квадратов строим график связи вида: $Y = ax^b$ (рис. 3.9).

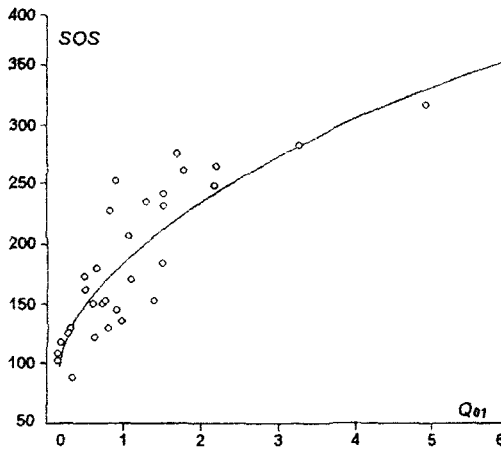


Рис. 3.9. Зависимость $SOS = aQ_0^b$ для р. Сухоны – в/п Рабаньга между соответственными величинами

При этом коэффициент линейной корреляции вычисляется между логарифмами x и y . В данном случае его величина составила 0,86 (см. табл. 3.15). Учитывая, что в качестве аргумента имеем $100/Q$, получим выражение зависимости сухого остатка от расхода:

$$SOS = 1028 Q^{-0,37}.$$

Оценки параметров кривой обеспеченности, полученные с использованием этого уравнения, приведены во второй строке табл. 3.15. Ординаты кривых обеспеченности, вычисленные по ним, представлены во второй строке табл. 3.16.

Применение криволинейной регрессии между ранжированными величинами тех же выборок иллюстрируется рис. 3.10.

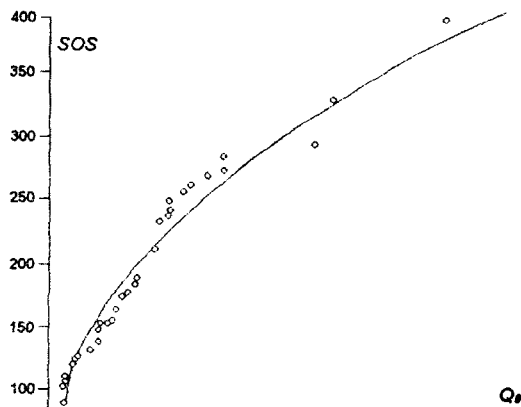


Рис. 3.10. Зависимость $SOS = a Q_n^b$ между ранжированными величинами

Легко увидеть, что теснота связи заметно улучшилась, а аппроксимирующая кривая удачно описывает эмпирическую зависимость. Оценка коэффициента линейной корреляции между логарифмами X и Y составила 0,98. Уравнение связи приняло вид: $SOS = 1301 Q_n^{-0,42}$.

Оценки среднего и коэффициента вариации, приведенные к многолетию, помещены в табл. 3.15, ординаты кривой обеспеченности, вычисленные по ним, – в табл. 3.16 (третья строка).

Подобные вычисления для этого створа были выполнены по данным о концентрации ионов хлора, сульфатов, нитратов. Их результаты, т.е. ординаты кривых распределения, приведены в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции r . Сухона – д. Рабаньга

Характеристика	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
SOS	751	525	424	285	170	92	47,6	28,9
Cl	33,8	22,5	17,6	11,0	5,9	2,7	1,1	0,6
SO	173	108	79,9	44,7	19,9	7,1	2,0	0,7
NO	15,9	10,4	8,0	4,8	2,4	1,0	0,4	0,2

Аналогичные квантили для створов р. Кубена – оз. Кубенское и р. Сямжена – с. Сямжа содержатся в табл. 3.18 и 3.19.

Таблица 3.18

Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции р. Кубена – оз. Кубенское

Характеристика	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
SOS	552	438	384	303	228	166	122	101
CI	15,4	10,9	9,0	6,5	4,5	3,1	2,2	1,8
SO	67,4	52,1	45,2	36,0	27,6	21,2	16,7	14,4
NO	0,89	0,62	0,50	0,34	0,20	0,11	0,06	0,04

Таблица 3.19

Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции р. Сямжена – с. Сямжа

Уравнение		Обеспеченность, %							
		1	5	10	25	50	75	90	95
$y=69x^{0,30}$	SOS	371	292	257	208	163	129	104	91,0
$y=2,23x^{0,32}$	CI	11,5	9,4	8,4	6,8	5,4	4,1	3,2	2,8
$y=11,1x^{0,27}$	SO	50,0	40,2	35,9	29,6	23,8	19,3	15,9	14,1
$y=0,04x^{0,62}$	NO	1,07	0,69	0,54	0,36	0,22	0,14	0,08	0,06

Параметры уравнений кривых связи между характеристиками, с использованием которых получены многолетние кривые распределения этих характеристик, помещены в табл. 3.20. Здесь же, в последнем столбце приведены оценки коэффициента линейной корреляции между логарифмами ранжированных членов выборки X и Y.

Таблица 3.20

Параметры уравнений связи $Y = ax^b$ гидрохимических характеристик с расходом Q для ранжированных величин ($X = 100:Q$)

Река – пункт	Характеристика	Параметры уравнения		r
		a	b	
Сухона – Кузнецово	SOS	188	0,42	0,98
	CI	6,6	0,52	0,95
	SO	23,2	0,68	0,90
	NO	1,1	1,99	
Кубена – Кубенское	SOS	73,4	0,37	0,98
	CI	10,8	0,47	0,96
	SO	10,1	0,33	0,97
	NO	0,026	0,67	0,93
Сямжена – Сямжа	SOS	69,7	0,30	0,96
	CI	2,23	0,32	0,97
	SO	11,1	0,27	0,95
	NO	0,04	0,62	0,95

Предлагаемая методика, изложенная выше, может быть использована для получения приведенных к многолетнему гидрохимических характеристик во всех створах, по которым есть данные наблюдений за ними и на которых ведут наблюдения за стоком или они расположены относительно недалеко от гидрометрических постов с достаточно длительными рядами наблюдений. Вероятно, подобная обработка гидрохимических данных даст возможность их обобщения по водотокам и водосборам с использованием параметров уравнений их зависимости от расходов или индексов, с ними связанных.

При организации мониторинга качества воды подобные кривые распределения могут служить прогнозируемыми функциями распределения тех или иных гидрохимических характеристик или входа в возможные стохастические модели процессов загрязнения или самоочищения водотоков.

Подобные зависимости имеют место и между отдельными гидрохимическими характеристиками, что видно хотя бы по оценкам коэффициентов линейной корреляции между ними (см. табл. 3.12–3.14). Использование таких зависимостей могло бы иметь место для контроля за возможными грубыми ошибками лабораторной обработки анализируемых проб воды.

Оценка гидрохимической информации показала, что в створах, где имеются многолетние комплексные данные по гидрохимии и стоку есть смысл построения сезонных или помесечных кривых распределения гидрохимических характеристик и установления их связи со стоком. При таком подходе основное внимание можно будет сосредоточить на лимитирующих по качеству воды периодах и позволит избежать отрицательного влияния на тесноту связей несоответствий внутригодового хода стока и концентраций тех или иных веществ. Эти зависимости могли бы служить вероятностной характеристикой данного стока по каждому из ингредиентов растворенного стока. Существенные отклонения от них могут служить сигналом каких-то нарушений условий формирования этого стока или изменения режима антропогенного загрязнения.

В целом же изученность гидрохимических характеристик водоемов и водотоков бассейна озера Кубенского, наблюдение за которым ведутся многочисленными организациями различных ведомств, следует оценить как недостаточную. Особенно снижает качество результатов и возможности их обобщения отсутствие нацеленности мониторинга на прогнозы параметров гидрохимического режима, четкого выделения естественной и антропогенной составляющей характеристик качества водных ресурсов.

3.4. Качество воды во время обратного течения р. Сухоны

Выше, в п. 1.5 подробно рассмотрены гидрологические аспекты возникновения, развития и всего процесса обратного течения реки Сухоны в озеро Кубенское во время весеннего половодья. Выполнен количественный анализ причин и некоторых следствий обратного течения. Вычислены многолетние гидрологические (гидравлические) характеристики обратного стока на основе специальных измерений отдела гидрологии Института «Вологдагипроводхоз» в 1980 – 1986 гг.

С использованием метода, предложенного Ленинградским филиалом Института «Гидропроект» [67], выполнен расчет вероятной дальности проникновения в озеро вод верхней Сухоны во время обратного стока [87].

Установлено, что при среднемноголетнем расходе обратного стока 114 куб. м/с и входной скорости течения 0,21 м/с проникновение сухонских вод в озеро возможно до 2,0 км, а при расходе 10%-ной обеспеченности зона влияния обратного течения может составить 2,5–3,0 км от истока р. Сухоны (створ д. Прилуки). Это соответствует расстоянию между входным створом и началом подводящего канала Кубенского водовода, что дает возможность предположить ухудшение здесь качества вод.

С использованием натуральных измерений мутности р. Сухоны был проведен расчет объемов обратного твердого стока, поступающих в озеро. Эта величина в среднемноголетнем разрезе составила 1,4 тыс. т [87].

Для определения значений показателей качества вод озера и Верхней Сухоны в период обратного течения и, соответственно, последствий для работы водозабора озеро Кубенское – г. Вологда весной 1994 г. выполнен отбор проб и гидрохимический анализ качества вод на участке г. Сокол – подводящий канал водовода. Пробы воды на хим- и баканализ отобраны в пунктах:

- 1) р. Сухона – д. Когаш (водозабор г. Сокола);
- 2) р. Сухона – п. Шера (в створе шлюза «Знаменитый»);
- 3) р. Сухона – д. Прилуки (входной створ в озеро);
- 4) оз. Кубенское – начало подводящего канала в 0,5 км от уреза воды;
- 5) исток р. Б. Пучкас в створе насосной станции водозабора.

Первые четыре пункта характеризуют изменение количественных показателей качества воды во время обратного течения на участке г. Сокол – водозабор г. Вологды.

В пятой точке отбор проб выполнен с целью выявления возможного изменения показателей качества вод оз. Кубенского в районе во-

дозабора для г. Вологды в случае формирования обратного течения в озеро по протоке Большой Пучкас.

Полевые работы были проведены в период с 18.04 по 20.04.1994 г. Обратное течение р. Сухоны началось 11 апреля, что при времени добегания водной массы на участке Устье Вологодское – озеро Кубенское не более 6 суток дает гарантию достижения загрязненными водами створа истока р. Сухоны. Гидравлические характеристики обратного стока на 18.04.1994 г. в створе шлюза «Знаменитый»: $V_{\text{пов}} = 0,5 \text{ м/с}$, уровень по рейке верхнего бьефа составил 108,7 м БС, расход воды $Q = 89,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для большей корректности анализа полученных данных и всей ситуации в целом рассмотрены показатели качества воды за периоды трех фаз:

- до начала обратного течения;
- во время обратного течения;
- по окончании обратного течения.

До начала обратного течения (анализ 6 апреля) показатели качества стока из озера практически по всем ингредиентам не выходят за пределы ПДК. Выше г. Сокола, у водозабора, превышение ПДК отмечается только по нефтепродуктам – в 3 раза. Ниже г. Сокола (д. Кузнецово) концентрации загрязняющих веществ несколько возрастают, что можно объяснить поступлением загрязненного талого стока с территории города. При этом отмечается превышение содержания свинца до 1,3 ПДК.

После начала обратного течения Сокольской лабораторией ЦСЭН были отобраны дублирующие пробы воды выше и ниже города в упомянутых пунктах. Данные лабораторных анализов проб воды, взятых 18.04.1994 г. Сокольским ЦСЭН, свидетельствуют о резком ухудшении качества воды р. Сухоны. У д. Кузнецово (выше города при обратном течении) взвешенные вещества превысили ПДК в 10 раз, нитриты – в 1,2 раза, концентрация свинца уменьшилась и составила 0,11 мг/л, а в створе Сокольского водозабора (ниже города при обратном течении) концентрация свинца возросла до 0,9 (1,2 ПДК). Появляются фенолы в концентрации 2,1 ПДК. Концентрация взвешенных веществ достигает 3,0 ПДК. Аналогичные либо близкие результаты аналитического контроля получены для створа д. Когаш 18.04.1994 г. По данным лаборатории МП «Горводоканал» г. Вологды: взвешенные вещества – около 2,0 ПДК, свинец не обнаружен, но зафиксированы нефтепродукты – 4,0 ПДК.

Результаты анализов воды по пробам, взятым в пунктах 1–4 (см. выше, с.133), выполненных одной лабораторией – МП «Горводоканал», свидетельствуют об ухудшении качества воды р. Сухоны по мере перемещения от г. Сокола к подводящему каналу.

Перемещение наносов по руслу р. Сухоны происходит во взвешенном состоянии, сальтацией и влечением по дну. При этом, как правило, на дне образуются различные русловые формы – рифели, гряды, доны. Размеры таких форм изменяются от нескольких сантиметров до нескольких километров. По поверхности гряд чаще всего передвигаются формы длиной от 1–2 м до самых мелких рифелей, длина которых не превышает 10–20 см. Формирование русловых форм определяется основными гидравлическими характеристиками потока – скоростью, направлением течения, интенсивностью пульсации. При установившемся режиме потока на дне реки сохраняется набор русловых форм из материала донных отложений. При достаточно быстрой смене направления течения реки на противоположное, как это имеет место на р. Сухоне, начинается интенсивная перестройка русловых мезо- и микроформ. Этот процесс дополнительно вовлекает значительное количество взвешенных наносов, которые, благодаря относительно небольшому расстоянию до озера, достигают его за время продолжения обратного течения [87]. Измерение концентрации взвешенных наносов по длине реки в сторону озера подтверждает это предположение. Величины концентрации изменялись от 7,7 мг/л до 19,5 мг/л на участке от г. Сокола до водозабора для г. Вологды. Учитывая высокую адсорбционную способность взвешенных частиц, можно говорить и об увеличении транспорта соединений тяжелых металлов в озеро, до этого консолидированных в толще донных отложений. Не исключено, что при этом происходит вторичное загрязнение вод Верхней Сухоны ингредиентами, вымываемыми из донных отложений при обратном течении.

В качестве иллюстрации можно привести резкое возрастание концентрации марганца – с 0,078 до 0,8 мг/л. Здесь, конечно, можно говорить о совпадении двух процессов – вовлечения в русловый поток взвешенных, адсорбирующих марганец, и усиления окислительно-восстановительного процесса, обуславливаемого высоким содержанием растворенного кислорода в талых водах. К природным источникам марганца можно также отнести прилегающие заболоченные пойменные территории, характерные кислой реакцией среды, где интенсивно протекают процессы микробиологического восстановления марганца до двухвалентного, в результате чего подвижность марганца повышается, особенно в виде органоминеральных комплексов [64].

Обращает на себя внимание факт обнаружения в воде довольно редкого металла – молибдена. В пункте д. Когаш его концентрация составила 0,008 мг/л (6,7 ПДК), в начале подводящего канала – 0,035 мг/л (29,2 ПДК). Это очень большая величина. Факты обнаружения молибдена в воде, поступающей на очистные сооружения системы водоснабжения г. Вологды, отмечаются в плановых пробах лаборатории МП «Горводоканал» в концентрациях 0,005–0,008 мг/л. Поскольку по значению кларка в земной коре молибден находится на седьмом месте от конца после золота, трудно предположить природное происхождение этого микроэлемента.

По всему транзитному участку р. Сухоны прослеживаются нефтепродукты в концентрации около 4,0 ПДК, за исключением точки отбора у начала подводящего канала. По мере приближения к озеру снижается показатель СПАВ – с 0,34 мг/л у г. Сокола до 0,09 мг/л у истока подводящего канала. Отмечается некоторое повышение аммония солевого – до 1,5 ПДК, БПК_{полн.} изменяется от 3,8 до 5,4 мг O₂/л.

Санитарно-бактериологическое исследование проб воды р. Сухоны и озера Кубенского 18–20.04.94 г. свидетельствует о допустимом либо умеренном загрязнении; при этом ЛКП изменяется в пределах 4600–23000, ОМЧ – 50–300, хотя на участке реки от истока до г. Сокола (д. Кузнецово) ситуация несколько хуже: ЛКП – 240000, коли-индекс 240000. Большинство показателей качества воды относительно рыбохозяйственных требований находятся в пределах изменений фоновых значений.

Рекогносцировочное обследование протоки Большой Пучкас показало, что течение по ней наблюдалось в сторону р. Сухоны даже в период наиболее интенсивного обратного течения по основному руслу – 18.04–20.04.1994 г.

Качество воды в истоке протоки Б. Пучкас в створе здания насосной станции по большинству показателей не выходит за пределы требований ГОСТ «Вода питьевая». Визуальное наблюдение за ареалом распространения обратного стока показало, что воды р. Сухоны не достигали этого пункта и, видимо, не влияли на изменение качественных показателей воды.

Анализ проб воды р. Сухоны по окончании обратного течения, взятых лабораторией Сокольского ЦСЭН 31.05.1994 г. в створе водозабора и ниже г. Сокола у д. Кузнецово [87], показывает: а) качество вод р. Сухоны (фактически – озера) выше города по большинству показателей не выходит за пределы допустимых, отмечается некоторое превышение по нефтепродуктам – 0,16 мг/л и свинцу – 0,04 мг/л; б) р. Сухона в пределах черты города испытывает нагрузку от сточных вод. Происходит

увеличение концентрации нефтепродуктов до 0,32 мг/л, свинца – до 0,07 мг/л. Санитарно-бактериологические показатели (ЛКП – 24000, ФПК – 9300) не изменяются.

Таким образом, рассматривая результаты работы по анализу качества воды оз. Кубенского в районе водозабора в период обратного течения р. Сухоны в апреле 1994 г., можно сделать следующие выводы:

1. При обратном течении р. Сухоны во время весеннего половодья водные массы достигают начала подводящего канала водозабора, расположенного в 2,0 км от истока реки.

2. Факт движения вод р. Сухоны по протоке Большой Пучкас в сторону водозабора не установлен. Рекогносцировочное обследование в весенний период, опрос жителей свидетельствуют о постоянном направлении стока Большого Пучкаса в р. Сухону.

3. Воды, проникающие в озеро со стороны р. Сухоны и достигающие места водозабора, характеризуются как загрязненные и по гидрохимическим показателям не отвечают требованиям к озеру как к водоему высшей рыбохозяйственной категории.

4. По окончании обратного течения р. Сухоны качественные показатели вод озера Кубенского возвращаются к исходным.

5. В целях введения в научный и управленческий оборот накопленной обширной информации о динамике химического состава поверхностных вод водосбора р. Сухоны, включая бассейн озера Кубенского, необходимы ее статистическая обработка совместно с данными по гидрологическому режиму в пунктах наблюдений и территориальное обобщение для получения оценок фоновых значений концентраций элементов химического стока.

3.5. Особенности условий водозабора для г. Вологды

Согласно проекту Ленинградского института «Водоканалпроект» [22] в юго-восточной части побережья озера Кубенского построен узел водозаборных сооружений в составе: насосной станции первого подъема; самотечной сифонной линии из двух стальных труб диаметром 1400 мм и длиной 2,1 км; железобетонного приемника; подводящего канала длиной 5,4 км, расположенного вдоль береговой кромки. Головная часть канала длиной 0,7 км выполнена в акватории озера (рис. 3.11).

Расчетный расход канала 5,4 м³/с, заложение откосов 1:5, ширина по дну 5 м. Уклон канала между его началом (отметка дна 105,50 м БС) и водоприемником (отметка дна 104,50 м) должен обеспечивать проектную скорость течения 0,11 м/с.

Рабочий уровень принят с отметкой 107,2 м БС, что по расчетам «Ленводоканал-проекта» соответствует 95%-ной обеспеченности. При таких параметрах канала бесперебойная подача воды к насосной станции первого подъема должна быть обеспечена.

В жизни оказалось не совсем так. Если учесть факт наличия значительного уклона водной поверхности южной части озера, то оказывается, что расчетные минимальные зимние уровни в районе водозабора имеют несколько более низкие отметки, чему соответствуют и меньшие объемы воды в озере. В табл. 3.21 приведены отметки проектных минимальных зимних уровней в створе начала подводящего канала (числитель) и их величины той же обеспеченности с учетом уклона водной поверхности (знаменатель).



Рис. 3.11. Схема расположения сооружений водозабора для г. Вологды

Таблица 3.21

Уровни воды озера Кубенского в створе начала водоподводящего канала

Наименование уровней	Отметки воды различной обеспеченности, м БС	
	95%	97%
Минимальные зимние	107,20 / 107,00	107,15 / 106,94

Величины эти требуют уточнения, т.к. получены на ограниченном материале путем линейной интерполяции между в/п Коробово и верхним бьефом гидроузла № 7 (шлюз «Знаменитый»).

Недостатки водозабора проявляются во время зимней межени. Так, например, в 1993 г., во время изысканий для выполнения проекта по ликвидации критической ситуации на водозаборе [91], было установлено, что подводящий канал в процессе эксплуатации не очищался от наносов и ила. Отметки его дна значительно превышают проектные. Максимальное заилиение обнаружено в голове канала, расположенной

в акватории озера. Основная причина – воздействие волн на движение донных отложений. Во время ветра северо-западных румбов, называемого на озере «дольник», т.к. он дует по его продольной, почти шестидесятикилометровой, оси, в районе водозабора могут образовываться волны высотой до 1,5 м и более.

Пропускная способность канала снизилась уже в период открытой воды, а после образования льда толщиной 0,4 м в январе 1993 г. движение воды по каналу прекратилось. Углубление канала было выполнено путем экскавации со льда, и в феврале режим подачи воды улучшился. Однако и после этой расчистки имели место случаи, когда подача воды по каналу была меньше производительности насосной станции. Интенсивность забора воды в те периоды, когда станция работала, составила 1,71 м³/с. Сток из озера в р. Сухону был почти на порядок больше – около 16 м³/с.

Ситуация могла бы повториться и в зиму 1999 – 2000 гг., когда уже 5 ноября 1999 г. отметка уровня на в/п шлюза «Знаменитый» составила 107,24 м, но на этот раз водохозяйственными организациями еще с осени было проведено углубление канала до отметки 105,5 м БС в его головной части.

Как говорилось выше, естественный уловенный режим озера в определенный период – от начала спада половодья и почти до ледостава – искажен работой гидроузла № 7 (шлюз «Знаменитый») Северо-Двинской водной системы. Его плотина, как известно, служит для улучшения судоходных условий на верхней Сухоне, где одним из лимитирующих факторов на участке длиной около 7,3 км является перепад в створе заходных буев с отметкой дна около 106,3 м БС. Критическая для судоходства отметка водной поверхности в этом створе, по данным службы Вологодского района водных путей, составляет 107,4 м.

Разборная водоудерживающая плотина оказывает регулирующее действие на верхний бьеф при перепаде уровней на ней не менее 0,1 м. Когда в предзимний период напор становится меньше, плотина разбирается, шлюзование прекращается и судоходство осуществляется по основному руслу над основанием плотины, имеющим отметку верхней части порога 104,97 м. Лимитирующим в створе плотины в этот период считается уровень с отметкой водной поверхности 106,1 м. Если перепад между верхним и нижним бьефом в этот период сохраняется более 0,1 м, то разборка плотины производится при наступлении среднесуточной температуры воды 0,5°. Навигация может продолжаться до наступления ледовых явлений, если нет ограничений по глубине судового хода над порогом основания плотины.

В предзимний период после разборки плотины уровень озера в основном определяется естественными факторами. Данные многолетних наблюдений Вологодского района водных путей за уровнем на шлюзе «Знаменитый» и Гидрометслужбы – на в/п Коробово позволяют выявить его особенности.

В среднем за многолетие дата разборки плотины, как по причине падения напора до величины 0,1 м, так и связи с возможностью начала льдообразования, приходится на 14 октября. Наиболее ранняя дата наблюдалась 12 сентября 1979 г., наиболее поздняя – 31 октября 1970 г. Средняя дата образования устойчивого ледостава падает на 14 ноября. Раньше всего за многолетие ледостав отмечен 14 октября 1973 г. Позже всего – 12 декабря 1976 г.

В предзимний период определяются предпосылки зимнего уровня озера и во многом – характер зимовки озерной экосистемы.

За многолетний период отметка среднего уровня на день укладки плотины (14 октября) составляет в створе шлюза «Знаменитый» 108,47 м, на в/п Коробово – 108,92 м. До начала формирования устойчивого ледостава уровни, как правило, снижаются. В среднем величина сработки запасов составляет 0,15 м, что соответствует объему 50–60 млн м³. Если исходить из сложившегося водопотребления г. Вологды, это может удовлетворить более чем годовую потребность в воде.

В особо маловодные годы уровни на время разборки плотины и на дату образования ледостава сближаются. В этих случаях сработка уровня озера между этими датами невелика и составляет от 7 см в год 75%-ной обеспеченности до 2 см в год 95%-ной обеспеченности.

В табл. 3.22 приведены некоторые многолетние характеристики уровня озера по в/п Коробово и в/п шлюза «Знаменитый», полученные путем статистической обработки рядов наблюдений за период с 1970 г. по 1992 г. включительно.

Таблица 3.22

Уровни на начало ледостава и минимальные суточные уровни различной обеспеченности за зимнюю межень (м БС)

Обеспеченность, %	оз. Кубенское – в/п Коробово			р. Сухона – шлюз «Знаменитый»		
	Уровень на начало ледостава	Минимальный за зиму	Амплитуда сработки, м	Уровень на начало ледостава	Минимальный за зиму	Амплитуда сработки, м
50	108,14	106,81	1,33	108,67	107,87	0,80
75	107,72	106,64	1,08	108,31	107,76	0,55
80	107,66	06,61	1,05	108,27	107,73	0,54
90	107,50	106,54	0,96	108,11	107,65	0,46
95	107,34	106,50	0,94	108,01	107,56	0,45

Очевидно то, что более высокие уровни начала ледостава сопряжены в многолетнем разрезе с более благоприятными минимальными уровнями зимней межени. Данные таблицы позволяют судить и о динамике уклона водной поверхности между в/п Коробово и водным створом шлюза «Знаменитый» в районе истока р. Сухоны и водозабора. Если при уровнях на начало ледостава перепад в отметках водной поверхности у в/п Коробово и в створе шлюза составляет 50–70 см, то в период минимальных межениных уровней он превышает 1 м. Следовательно, в это время уклон водной поверхности в районе водозабора оценивается величинами, характерными для верхней части р. Сухоны.

На значительной доле акватории нижней части озера к концу зимы лед лежит на земле. Сток происходит в довольно узкой протоке, соединяющей верхнюю часть озера и устье р. Кубена с истоком р. Сухоны (см. рис. 1.6).

Амплитуда сработки уровня водной поверхности снижается с уменьшением водности. На озере это заметно несколько меньше, чем в створе шлюза. Поступление подземного стока непосредственно в озеро и в его притоки сдерживает скорость сработки.

По данным многолетних наблюдений норма зимнего притока в озеро составляет 1,16 л/с с км², что соответствует расходу в истоке р. Сухоны около 17,4 м³/с. В особо маловодные зимы, обеспеченностью 95% и более, зимний приток снижается до 0,6–0,7 л/с с км² [94]. Наименьший приток в озеро наблюдается обычно тогда, когда сработаны предзимние запасы и установился режим динамического равновесия: приток равен стоку из озера.

Так, например, в зиму 1992 – 1993 гг. такой режим установился уже к концу января. При этом уровень воды в северной половине озера опускался в несколько раз медленнее, чем в южной его части. По данным нивелировки горизонтов воды, выполненной специалистами «Вологдаинжпроекта» 14.01.1993 г. и 16.02.1993 г. в створе водоподводящего канала и на в/п Коробово, в южной части озера уровень между нивелировками снизился за месяц на 0,28 м, а на в/п Коробово за это же время остался практически без изменений.

С точки зрения информационного обеспечения каких-либо воздействий на уровенный режим южной части акватории озера существующая сеть водомерных постов представляется недостаточной. Видимо, следует продолжить наблюдения за уровнем воды, ранее выполнявшиеся «Вологдагипроводхозом» в истоке р. Сухоны – у д. Прилуки, а также организовать водомерные наблюдения в створе головной части подводящего канала водозабора.

Как отмечалось выше, гидрологический режим Верхней Сухоны характеризуется практически ежегодным формированием обратного течения во время подъема весеннего половодья. Это явление обусловлено более ранним началом интенсивного подъема уровня на реках Вологда и Лежа и малыми уклонами главной реки – Сухоны. Малые уклоны местности вблизи д. Устье Вологодское способствовали образованию сложной конфигурации гидрографической сети (рис. 3.12), что приводит к уменьшению транзитной способности русла и поймы р. Сухоны в этом районе.

На основе специальных наблюдений на водомерных постах «Вологдаинжпроект» (р. Сухона – д. Починок и д. Устье Вологодское, р. Лежа – д. Лобково) и материалов многолетних наблюдений поста Гидрометслужбы у д. Рабаньга была прослежена динамика уровней на подъеме весеннего половодья путем построения совмещенных графиков хода отметок уровней в Балтийской системе высот [87].

Один из таких графиков представлен на рис. 3.13. Подобные построения позволяют по перепаду отметок уровней между постами легко установить, что обратное течение на р. Сухоне зарождается на участке д. Починок – д. Рабаньга, может быть, в черте г. Сокола, где р. Сухона принимает левобережные притоки – рр. Бохтога и Глушица. Затем за счет более быстрого подъема уровня воды в районе д. Устье Вологодское, в результате поступления полых вод на подъеме рр. Вологда и Лежа, течение в районе устья р. Лежа прекращается. Часть талых вод р. Вологда направляется в сторону оз. Кубенского, а другая их часть и, видимо, сток р. Лежа следуют по р. Сухоне обычным путем.

Анализ материалов наблюдений и расчеты показывают [87], что обратный сток в среднемноголетнем разрезе начинается 14 апреля.

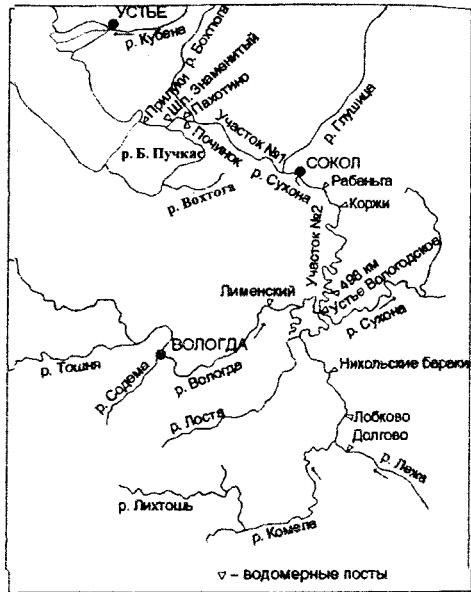


Рис. 3.12. Гидрографическая сеть в районе формирования обратного стока р. Сухоны в оз. Кубенское

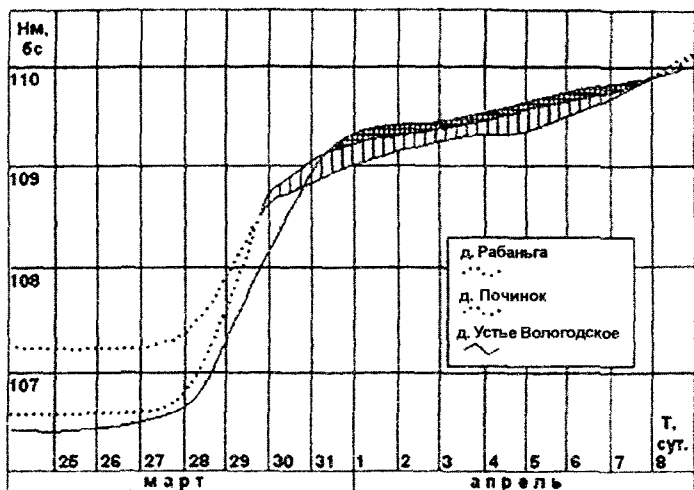


Рис. 3.13. График хода уровней на подъеме весеннего половодья на в/п р. Сухоны (весна 1983 г.)

Наиболее ранняя дата – 1.04.1968 г., поздняя – 3.05.1974 г. Средняя продолжительность обратного стока составляет 8 суток, при этом в озеро поступает около 80 млн м³ воды. В среднем один раз в сто лет этот объем может превышать 290 млн м³.

Используя натурные данные о скорости течения в период обратного стока и методику Н.А. Давтян, применявшуюся «Ленгидропроектом» для определения зоны проникновения в озеро вод р. Кубена [67], было установлено [87], что при среднемноголетнем расходе обратного течения 114 м³/с, средней скорости 0,21 м/с, загрязненные стоками с территорий гг. Вологды и Сокола сухонские воды проникают в озеро на расстояние до 2 км, а при расходах 10%-ной обеспеченности – до 2,5 – 3 км, т.е. попадают в зону работы водозабора для г. Вологды.

3.6. Ранжирование степени антропогенного воздействия

Выше, в гл. 2, были кратко рассмотрены требования участников водохозяйственного комплекса, стихийно сформировавшегося на водосборе озера. Отмечена сложность получения комплексной оценки влияния антропогенной нагрузки на водные экосистемы, одним из продуктов жизнедеятельности которых является качество воды. При этом неизбежно возникает трудность сопоставления результатов деятельности

отдельных предприятий, хозяйств, видов землепользования и водопользования.

Опыт обобщения конкретных сведений об антропогенной нагрузке на водные объекты и работа по определению сравнимых индексов этой нагрузки, которые могли бы отражать степень воздействия каждого загрязнителя, привели к осознанию необходимости оценки таких важных факторов, как размещение экологически опасных объектов на водосборе, его освоенность, геоморфология, заселенность и т.д.

Допустимо множество систем некоторых показателей, с помощью которых можно оценить степень экологической значимости воздействия различных факторов. Для ранжирования степени антропогенного воздействия точечных и площадных объектов за основу нами принят подход, аналогичный примененному ранее для оценки экологической опасности использования земель и опробованный на данных по некоторым хозяйствам Белоруссии [102]. Этот подход позволяет свети влияние отдельных факторов к балльным оценкам.

Система показателей включает безразмерные оценки физико-географических характеристик и социально-экономических особенностей, присущих каждому конкретному бассейну или территории (табл. 3.23).

Таблица 3.23

**Показатели факторов экологической опасности
использования земель**

Элементы, составляющие экологическую опасность	Значение фактора в долях единицы
А. Природная (естественная) составляющая	
Освоенность территории, %:	
более 90	1,0
80-90	0,9
70-80	0,7
60-70	0,5
менее 60	0,3
Распаханность территории, %:	
более 75	1,0
65-75	0,9
55-65	0,8
45-55	0,7
менее 45	0,5
Лесистость территории (с учетом лесов Государственного лесного фонда), %:	
менее 10	1,0
10-20	0,9
20-30	0,7
30-40	0,5
более 40	0,3

Удельный вес земель с уклоном более 2° (напряженность рельефа), %:	
более 40	1,0
30 – 40	0,9
20 – 30	0,8
10 – 20	0,7
менее 10	0,5
Густота гидрографической сети, км/км ² :	
более 2,5	1,0
1,0 – 2,5	0,9
0,6 – 1,0	0,8
0,3 – 0,6	0,6
менее 0,3	0,4
Удельный вес угодий среднестабилизирующего назначения (многолетние насаждения, леса, кустарники, луга, многолетние травы), %:	
менее 25	1,0
25 – 35	0,9
35 – 50	0,7
50 – 70	0,5
более 70	0,3
Б. Антропогенная (социально-экономическая) составляющая	
Индекс плотности населения, чел/км ² × число сел:	
более 200	1,0
150 – 200	0,9
100 – 150	0,8
50 – 100	0,7
менее 50	0,5
Степень концентрации животноводства, усл. гол/100 га сельхозугодий:	
более 200	1,0
160 – 200	0,8
125 – 160	0,6
100 – 125	0,4
менее 100	0,2
Коэффициент размещения экологически опасных объектов:	
0,9 – 1,0	1,0
0,8 – 0,9	0,9
0,5 – 0,8	0,7
0,2 – 0,5	0,5
менее 0,2	0,2
Пестицидная нагрузка, кг/га в год:	
более 5,0	1,0
3,0 – 5,0	0,8
1,5 – 3,0	0,6
0,5 – 1,5	0,4
менее 0,5	0,2
Химическая нагрузка, кг д. в. /га в год:	
более 400	1,0
300 – 400	0,9
200 – 300	0,7
100 – 200	0,5
менее 100	0,3

Интервал изменения каждой из характеристик разбивается на 5 групп, каждой из которых назначается индекс в интервале от 0 до 0,1. Чем больше его величина, тем сильнее отрицательное воздействие данного фактора.

Методика удобна тем, что как количество, так и диапазон изменений факторов может изменяться, отвечая целям исследований и наличию информации.

Кроме оценки ведущих факторов, влияющих на экологическое состояние территории, необходимо учитывать и особенности размещения экологически опасных объектов по отношению к гидрографической сети, населенным пунктам, водоохраным зонам. Значения коэффициента размещения приведены в табл. 3.24.

Таблица 3.24

Значение коэффициента размещения экологически опасных объектов

Фактор и его составляющие	Численное значение
Размещение на территории водосборного бассейна:	
- на водоразделе	0,1
- на склоне (между водораздельной линией и долиной реки)	0,3
- в пределах речной долины	0,9
Размещение по отношению к водоохранной зоне водотоков и водоемов:	
- вне пределов водоохранной зоны	0,2
- в пределах частичной охраны	0,8
- в пределах строгой охраны	0,9
- в прибрежной полосе	1,0
Размещение по отношению к населенным пунктам:	
- вне санитарно-защитных, зеленых и других зон	0,2
- на окраинной части зон	0,8
- в непосредственной близости к селам	1,0
Размещение по отношению к другим охраняемым объектам:	
- вне буферных зон охраны	0,1
- в пределах буферных зон	0,5
- в пределах защитных зон	0,9

В рамках исходной информации о деятельности предприятий сельскохозяйственного производства, вносящих значительный вклад в ухудшение качества вод на водосборе озера, и фактическом качестве вод озера, можно принять, что метод оценки адекватно отражает изменчивость экологического воздействия указанных загрязнителей в пространстве, дает возможность относительной оценки воздействия указанных загрязнителей на водные ресурсы бассейна озера Кубенского.

Интерпретация получаемых относительных балльных оценок возможна на базе имеющейся конкретной информации об экологическом состоянии той или иной локальной территории.

Некоторый недостаток в характере исходных данных об инфраструктуре сельскохозяйственных предприятий обусловлен тем, что основные показатели их структуры и деятельности (численность

жителей, число населенных пунктов, водопотребление и водоотведение, концентрация животноводства, химическая нагрузка на ландшафт) отнесены к территориям, заключенным в рамки административных границ хозяйств. В то же время показатели экологической опасности, характеризующие физико-географические особенности территорий, на которых осуществляется деятельность хозяйств, вычисляются, как правило, по водосборам отдельных водотоков. В этой связи возможна некоторая погрешность в оценке полученных результатов.

В качестве факторов, влияющих на экологическое состояние и относящихся к природной составляющей (табл. 3.25), рассмотрены:

- освоенность территории как отношение площади всех сельхозугодий к площади хозяйства, %;
- распаханность как отношение площади пашни к площади хозяйства, %;
- лесистость, %;
- густота гидрографической сети, км/кв. км;
- сельхозугодья нераспаханные, %

В качестве факторов экологической опасности, относящихся к антропогенной составляющей нагрузки на экосистему (табл. 3.26), оценены:

- количество населенных пунктов данного хозяйства, шт.;
- количество голов крупного рогатого скота (КРС), шт.;
- число условных голов КРС на 100 га сельхозугодий;
- плотность населения, чел./кв. км.

Представленные факторы антропогенной нагрузки, с учетом различных вариантов экологической напряженности как в конкретном, так и в опосредованном виде, дают достаточно четкую картину относительной экологической опасности того или иного загрязнителя для водных ресурсов бассейна озера Кубенского.

Свертка балльных оценок экологической опасности в единый показатель производится следующим образом. Для обеих групп факторов экологической опасности – природного и антропогенного происхождения – рассчитаны коэффициенты суммарной экологической опасности – \mathcal{E}_n (см. табл. 3.25) и \mathcal{E}_a (см. табл. 3.26) – по формуле:

$$\mathcal{E} = 100(K_1 K_2 \dots K_n)^{1/n}, \quad (3.3)$$

где: K_n – значение экспертной оценки факторов из их общего числа n (в долях от 1).

Индекс антропогенной нагрузки I для каждого объекта получаем как сумму \mathcal{E}_n и \mathcal{E}_a .

Расчет индексов экологической опасности (природная составляющая)

Название хозяйства	Река	Показатели факторов экологической опасности (природная составляющая)										
		Фактические значения					Значения факторов в долях от единицы					
		Освоенность, %	Распаханность, %	Лесистость, %	Густота гидрографической сети	С/х угодья нераспаханные, %	Освоенность, %	Распаханность, %	Лесистость, %	Густота гидрографической сети	С/х угодья нераспаханные, %	Эп
Вожегодский район												
Красная Явенга	р. Явенга	14,9	7,1	85,6	0,21	92,9	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,108
Восход	р. Кубена	26,4	14,6	73,6	0,36	85,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
им. Куйбышева	р. Явеньга	25,3	14,9	74,7	0,21	85,1	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,108
Смелая	р. Вотча	21,9	10,8	78,1	0,30	89,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
им. Ленина	р. Кубена на устье Ембы	20,6	11,1	79,4	0,49	88,9	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,108
Родина	р. Иващковица	20,6	13,1	79,4	0,40	86,9	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Организатор	р. Емба	20,2	9,0	79,8	0,49	91,0	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Харовский район												
Победа	р. Сить	21,7	9,6	78,3	0,36	90,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Родина	р. Иващковица	14,3	6,7	86,0	0,40	93,3	0,3	0,5	0,3	0,6	0	0,162
Кумзерский	р. Вондожь	22,2	10,6	77,8	0,64	89,4	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,216
Большевик	р. Вондожь	22,5	12,0	77,5	0,64	88,0	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,216
Россия (Север)	р. Пундуга	24,7	11,0	75,3	0,2	89,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,081
Путь Ленина (Колос)	р. Сить	21,2	11,6	78,8	0,24	88,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,081
Харовский	р. Кубена	16,7	7,9	83,3	0,44	92,1	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Коллективист	р. Кой	24,7	13,9	75,3	0,28	86,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,081

Продолжение табл. 3.25

Рассвет	р. Кубена на устье р. Кой	21,7	12,3	65,1	0,44	87,7	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Восход	р. Кубена на устье р. Кой	26,1	14,0	73,9	0,44	86,0	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Катрома	р. Катрома	20,9	8,7	72,1	0,12	91,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,081
Маяк	р. Кубена на устье р. Кой	19,3	5,7	80,7	0,44	86,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Сямженский район												
Заря	р. Ночница	25,2	12,0	74,8	0,30	86,8	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Коростелево	р. Щиченга на устье Бохтюги	30,6	14,9	69,4	0,66	84,3	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,216
им. Коробицина	-	-	-	-	0,65	-	-	-	-	-	-	-
Мир	р. Б. Пунгул	24,3	10,5	75,7	0,42	86,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Аврора	-	23,5	12,9	76,5	0,42	89,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Нива	р. Сяма	23,5	11,7	76,5	0,18	88,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Дружба	р. Сямжена	20,9	10,5	79,1	0,44	89,6	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
им. Ленина	р. Кубена	25,2	12,2	74,8	0,44	87,0	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Восток	р. Кубена	33,2	16,4	66,8	0,44	93,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Усть-Кубинский район												
Залесье	р. Кубовка	21,5	11,3	78,5	0,64	89,8	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,216
Лесные Поляны (Север)	р. Ухтомица	18,6	10,1	81,4	0,32	91,5	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Герой (Бережное)	р. Уфтюга	34,8	20,9	85,2	0,30	86,1	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Уфтюгский (Заря)	р. Подлесная	27,4	16,4	72,6	0,30	89,0	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162

Горка	р. Томаш	21,5	10,1	78,5	0,46	88,6	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Усть-Кубенский	р. Кихть	34,3	22,4	65,7	0,65	88,1	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,162
Филисовский (Маяк)	р. Кубена	29,0	16,6	71	0,44	87,6	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
им. Ленина (Русь)	р. Кубена	39,4	25,3	60,6	0,44	85,9	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Приозерный	оз. Кубенское	29,7	18,1	70,3	0,30	88,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Вологодский район												
Нефедово	оз. Кубенское	24,4	15,5	75,6	-	91,1	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,216
им. Ильюшина	оз. Кубенское	23,2	14,3	76,8	1,71	91,1	0,3	0,5	0,3	0,9	0,3	0,243
им. Клубова	оз. Кубенское	30,2	18,2	69,8	0,40	88,0	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Новленский	р. Ельма	35,9	26,2	64,1	0,16	90,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,081
Борисовский	оз. Кубенское	44,4	25,6	55,6	0,20	81,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,162
Передовой	оз. Кубенское	57,3	45,9	42,7	0,30	88,6	0,3	0,7	0,3	0,6	0,3	0,227
Красная Звезда	р. Вольма	75,7	60,5	24,3	27,0	84,8	0,7	0,8	0,7	1,0	0,3	2,352
ВОМС	р. Вольма	82,3	56,6	17,7	2,0	74,3	0,9	0,8	0,9	0,9	0,3	3,502
Кубенский (Фетинино)	оз. Кубенское	50,7	35,5	49,3	-	84,8	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,162
Сокольский район												
Новое	оз. Пучкас	49,6	20,4	50,4	3,11	70,8	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,162
Труженик	оз. Благовещенское	16,2	8,6	83,8	-	92,4	0,3	0,3	0,3	0,9	0,3	0,146
Кирилловский район												
Николоторжский	р. Порозовица	29,1	7,3	70,9	-	88,2	0,3	0,3	0,3	0,9	0,3	0,146

Таблица 3.26

Показатели факторов экологической опасности (антропогенная составляющая)

Название хозяйства	Фактические значения								Значения факторов в долях от единицы					Σа
	Население, тыс. чел.	Количество населенных пунктов, шт.	Количество КРС, голов	Нагрузка усл. гол./100 га	Индекс плотности населения	Коефф. размещен эколого-опасных объектов	Пестицидная нагрузка ц/га	Химическая нагрузка ц дв/га	Индекс плотности населения	Степень концентрации животноводства	Коефф. размещ эк.-оп. объектов	Пестицидная нагрузка	Химическая нагрузка	
Вожегодский район														
Красная Явenga	0,832	19	650	26,5	96,0	0,5	0,10	1,1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,056
Восход	0,545	12	820	32,8	69,0	0,2	0,11	0,92	0,7	0,2	0,2	0,2	0,3	0,034
им. Куйбышева	0,447	12	2000	93,4	63,5	0,2	0,11	1,22	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,056
Смелая	0,393	10	740	37,6	43,8	1,0	0,15	1,88	0,5	0,2	0,3	0,2	0,5	0,060
им. Ленина	1,012	29	1125	29,3	157,6	0,2	0,038	0,61	0,9	0,2	0,2	0,2	0,3	0,048
Родина	0,694	12	1140	48,5	73,0	0,2	0,11	1,70	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,056
Организатор	0,760	23	1450	44,2	107,8	0,2	0,12	1,89	0,8	0,2	0,2	0,2	0,3	0,038
Харовский район														
Победа	0,592	23	789	32,1	120,0	0,74	0,08	1,44	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,224
Родина	0,769	36	600	17,7	117,0	0,63	0,084	1,42	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,224
Кумзёрский	0,654	39	409	11,6	160,0	0,63	0,085	1,14	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,196
Большевик	0,738	26	1950	62,5	138,0	0,87	0,23	2,61	0,8	0,2	0,9	0,2	0,7	0,403
Россия (Север)	0,806	32	1420	33,9	152,0	0,63	0,126	1,37	0,9	0,2	0,7	0,4	0,5	0,504
Путь Ленина (Колос)	0,637	26	975	28,6	103,0	0,5	0,04	1,35	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,224

Харовский	0,934	44	3950	78,8	137,0	0,2	-	1,48	0,8	0,2	0,2	0,2	0,5	0,064
Коллективист	0,936	15	686	28,8	146,0	0,63	0,10	1,24	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,224
Рассвет	0,480	15	976	42,2	67,6	-	0,11	1,64	0,7	0,2	0,7	0,2	0,5	0,196
Восход	0,302	9	690	37,2	38,4	0,55	0,16	0,61	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
Катрома	0,713	23	480	8,89	63,6	0,55	0,08	1,8	0,7	0,2	0,7	0,2	0,5	0,196
Маяк	0,377	20	580	24,0	60,2	0,63	0,20	0,87	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Сямженский район														
Заря	0,710	14	1199	33,1	68,4	0,63	0,07	0,78	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Коростелево	0,338	6	730	28,5	24,2	0,63	0,06	0,71	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
им. Коробицина	0,425	13	545	13,9	36,2	0,63	0,071	0,23	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
Мир	0,547	20	1157	22,9	26,6	0,63	0,06	1,14	0,5	0,2	0,7	0,2	0,5	0,140
Аврора	0,353	6	540	23,7	21,8	0,63	0,097	0,36	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
Нива	0,391	8	540	29,7	40,7	0,63	0,08	0,84	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
Дружба	1,007	11	3155	99,2	73,0	0,63	0,09	2,93	0,7	0,2	0,7	0,2	0,7	0,274
им. Ленина	0,603	21	890	18,6	66,6	0,63	0,075	0,15	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Восток	0,287	4	440	32,5	28,2	0,63	0,12	1,0	0,5	0,2	0,7	0,2	0,5	0,140

Усть-Кубинский район														
Залесье	1,003	7	1000	190	110,4	0,55	-	1,22	0,8	0,2	0,7	0,2	0,5	0,224
Лесная Поляна (Север)	0,333	12	1030	59,0	42,5	0,2	0,5	0,79	0,5	0,2	0,7	0,2	0,3	0,084
Герой (Бережное)	1,207	32	-	52,9	209,0	0,7	0,13	0,66	1,0	0,2	0,7	0,2	0,3	0,168
Уфтюгский (Заря)	0,759	19	2220	39,7	96,9	0,7	0,5	0,78	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Горки	0,525	26	1120	36,3	95,4	0,55	0,5	0,84	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Усть-Кубенский	0,685	17	1340	27,2	81,2	0,55	0,5	0,67	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Филисовский (Маяк)	0,630	28	1500	43,9	150,0	0,55	0,14	1,91	0,9	0,2	0,7	0,2	0,5	0,252
им. Ленина (Русь)	0,553	10	1050	24,8	51,5	0,55	0,5	0,98	0,7	0,2	0,7	0,2	0,3	0,118
Приозерный	0,565	26	800	49,3	269,0	0,60	0,5	1,21	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	0,280
Вологодский район														
Нефедово	0,826	37	1200	40,7	253,0	0,60	0,043	0,94	1,0	0,2	0,7	0,2	0,3	0,168
им. Ильюшина	1,208	40	1460	41,4	318,0	0,60	0,5	1,92	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	0,280
им. Клубова	0,958	39	1000	17,1	193,0	0,66	0,003	1,26	0,9	0,2	0,7	0,2	0,5	0,252
Новленский	1,623	52	2500	37,3	451,0	0,66	0,5	1,84	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	0,280
Борисовский	0,761	22	1580	41,0	193,0	0,66	0,5	1,20	0,9	0,2	0,7	0,2	0,5	0,252
Передовой	3,615	51	2619	52,8	2132,0	0,66	0,33	1,12	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	0,280
Красная Звезда	3,905	34	20417	384,3	1892,0	0,66	0,95	2,14	1,0	1,0	0,7	0,4	0,7	3,920
ВОМС	0,610	2	640	37,4	58,7	0,66	0,68	2,68	0,7	0,2	0,7	0,4	0,7	0,549
Кубенский (Фетинино)	0,813	5	442	14,9	69,4	0,66	0,44	1,40	0,7	0,2	0,7	0,2	0,5	0,196
Сокольский район														
Новое	-	-	2096	50,1	-	-	0,26	1,89	0,6	0,2	0,2	0,2	0,5	0,048
Кирилловский район														
Труженик	0,938	31	690	20,3	157,0	0,20	0,09	1,08	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,016
Николоторжский	1,343	51	870	15,6	357,0	0,20	0,108	1,33	1,0	0,2	0,4	0,4	0,5	0,320

Ранжируя его значения, можно получить сравнительную оценку степени экологической опасности для водных ресурсов окружающей среды сложившейся хозяйственной структуры.

Значения I для водосбора озера Кубенского изменяются от 6,27 до 0,16. Статистический анализ распределения индексов загрязнения показывает, что в основной массе их величины мало отличаются от средней по водосбору, равной по всей совокупности значений 0,52.

Обращает на себя внимание факт резкой положительной асимметрии их распределения. Члены выборки 44 и 45, соответствующие хозяйствам «Красная Звезда» и «ВОМС», превышают среднее значение в несколько раз. Исключив из анализа значения I по этим двум хозяйствам, мы получаем снижение среднего до 0,32, а коэффициента вариации – до 0,34 против 1,9.

Система балльных оценок в физико-географических и климатических условиях Вологодской области потребовала определенной корректировки и идентификации значений индекса загрязнения водных ресурсов водосбора озера Кубенского применительно к реальному уровню экологической опасности, создаваемому существующими загрязнителями.

Рассматривая данные гидрохимических анализов проб воды водных объектов бассейна озера, выполненных лабораториями различных ведомств – областного комитета экологии, областного СЭН, ПИЦ «Вологодский» [87], можно сделать вывод о том, что локальные загрязнения сосредоточенными источниками сточных вод оказывают негативное влияние на качество вод местных водоприемников. Исследования на территории водосбора и акватории озера качества поверхностных и подземных вод (скважины и колодцы водоснабжения) свидетельствуют о возникновении во многих случаях критических ситуаций. Как правило, вода водотоков при расположении достаточно крупных животноводческих комплексов в их водоохранной зоне либо на склоне долины не отвечает требованиям ГОСТ «Вода питьевая». Чаще всего превышение показателей качества до 15–20 ПДК фиксируется по азоту аммонийному, железу, взвешенным веществам, хлоридам. Резко возрастают значения БПК, ХПК, говоря о мощном биогенном загрязнении. Исследования стоков от животноводческих комплексов и ферм, проведенные ПИЦ «Вологодский», показывают расхождения между значениями БПК и ХПК в десятки, а то и сотни раз. С точки зрения влияния на местные водные ресурсы значительное число хозяйств по уровню нагрузки следует отнести к критическому либо чрезвычайному.

В используемой нами методике, базирующейся на сравнительной экологической диагностике локальных территорий, отсутствует механизм трансформации локальных и площадных загрязнений, отражающий в нашем конкретном случае взаимосвязь между степенью экологической опасности природопользования (землепользования) этих территорий и качеством вод озера. Это – сложная, многофакторная зависимость, определяемая, с одной стороны, объемом и масштабом загрязнений и реальными процессами восстановления качества природных вод (самоочищения) – с другой.

Уровень самоочищающей способности неоднороден в различных частях водосбора в силу многообразия сочетаний факторов экологической опасности и факторов самоочищения. Для оценки этих процессов был введен дополнительный индекс – коэффициент K_c , связанный со степенью влияния загрязнений, поступающих в водоток в данном створе притока, на качество водных ресурсов озера Кубенского, определяемый по выражению:

$$K_c = \frac{W_c}{W_r L}$$

где: W_c – суммарный объем сброса загрязненных вод в местный водоток, тыс. куб. м;

W_r – объем годового стока реки водоприемника, млн куб. м;

L – удаленность водоприемника от озера Кубенского, км.

Из структуры формулы следует, что, при прочих равных условиях, по мере приближения к озеру точки сброса величины коэффициента возрастают. Строго говоря, в знаменателе этого выражения должен бы быть коэффициент пропорциональности, учитывающий неравнозначность влияния на качество вод озера удаленности створа поступления загрязнений в водоток от озера (L) и объема годового стока (W_r).

Расчеты (табл. 3.27) показывают, что колебания K_c достаточно велики. Его абсолютные величины изменяются в пределах 10^2 – 10^4 , а максимальные значения приурочены к крупным животноводческим комплексам, расположенным непосредственно у озера.

Интересно, что, по данным Ю.А. Изразля [48], эффекты самоочищения р. Селенги на участке Улан-Удэ – Байкал (около 130 км) составляют для различных ингредиентов величину порядка 10^2 – 10^4 . Это может означать, что единичный источник на р. Селенге в районе г. Улан-Удэ загрязняет озеро в 10^2 – 10^4 раз меньше, чем такой же источник, расположенный на берегу озера.

Расчетные величины K_c переведены в баллы аналогично другим факторам экологической опасности (см. табл. 3.27).

Таблица 3.27

Расчеты параметров локальной экологической нагрузки

Локальная экологическая нагрузка						
Расстояние до устья р. Кубена или озера, км	Объем водоводения W_c , тыс. м ³ /год	Длина водоприемника L, км	Объем годового стока W_r , млн м ³ /год	$K_c = \frac{W_c}{W_r \times L \times 100}$	i_c	$I_z = \text{Эп} + \text{Эа}$
Вожегодский район						
304	5,10	24	56,5	0,030	0,4	0,164
280	23,00	88	574,0	0,014	0,4	0,142
304	15,20	24	56,5	0,088	0,4	0,164
321	6,20	47	193,0	0,010	0,4	0,222
213	11,0	23	49,2	0,10	0,4	0,156
216	9,10	13	17,6	0,24	0,8	0,218
288	8,60	75	426,0	0,007	0,2	0,200
Харовский район						
114	16,52	15	21,1	0,69	0,8	0,386
155	16,90	29	76,9	0,14	0,8	0,386
186	26,50	59	249,2	0,06	0,4	0,412
135	14,21	59	249,2	0,04	0,4	0,619
140	51,20	30	81,9	0,45	0,8	0,585
104	19,00	83	460,5	0,04	0,4	0,309
96	827,00	-	2430,0	0,35	0,8	0,226
141	8,59	22	47,0	0,13	0,8	0,305
119	18,17	-	2296,0	0,007	0,2	0,358
119	8,26	-	2230,0	0,003	0,2	0,246
130	10,30	70	376,5	0,021	0,4	0,277
119	9,30	-	1978,0	0,004	0,2	0,280
Сямженский район						
189	39,00	10	11,04	1,9	0,9	0,280
115	25,00	32	93,9	0,23	0,8	0,300
97	24,00	35	110,3	0,22	0,8	0,322
187	32,00	35	112,0	0,15	0,8	0,302
187	25,00	20	41,0	0,33	0,8	0,246
186	18,00	53	233,0	0,04	0,4	0,246
146	43,00	112	895,0	0,03	0,4	0,436
133	40,00	235	0,50	0,01	0,4	0,280
174	11,00	197	892,0	0,003	0,2	0,302
Усть-Кубинский район						
127	2,15	10	10,2	0,16	0,8	0,440
64	7,06	35	97,4	0,11	0,8	0,246
75	7,70	75	405,0	0,025	0,4	0,330
8	14,00	8	71,9	2,5	0,9	0,280
76	9,43	20	39,4	0,31	0,8	0,280
56	11,91	18	33,4	0,64	0,8	0,280
14	26,07	354	538,0	0,05	0,4	0,414
6	23,30	354	3538,0	0,1	0,8	0,280
6	6,64	озеро	812,0	0,14	0,8	0,442
Вологодский район						
1,0	7,70	озеро	812,0	0,9	0,8	0,384
1,0	40,00	озеро	812,0	4,9	0,9	0,523
10	14,50	озеро	812,0	0,17	0,8	0,414
20	56,00	60	271,0	1,0	0,8	0,361
1,0	-	озеро	812,0	-	-	0,414
1,0	140,00	озеро	812,0	17,0	1,0	0,507

10	104,00	16	26,4	39,3	1,0	6,270
10	46,00	16	85,4	5,4	0,9	4,050
10	252,00	озеро	812,0	3,1	0,9	0,358
Сокольский район						
20	20,00	20	10,1			0,210
Кирилловский район						
	7,70		9,08			0,162
	24,70		9,0			0,456

Таким образом можно отразить степень воздействия на качество водных ресурсов в зависимости от водности водотоков на территории хозяйства, а также водности транзитных водотоков. Хозяйства Харовского, Вожегодского и Сямженского районов, находясь на значительном удалении от озера, характеризуются достаточно низкими значениями I, в то же время являются мощными локальными загрязнителями.

Можно предположить, что для рассматриваемого региона диапазон изменения индекса загрязнения адекватно отражает и диапазон влияния на загрязнение водных ресурсов озера. По уровню нагрузки предлагается выделить 4 градации I:

– **Опасный:** I более 1. Это уровень нагрузки от площадных загрязнителей, дающих показатели качества воды местных водных ресурсов, иногда превышающие ПДК в десятки раз в сочетании с опасно близким расположением либо к озеру, либо к притокам, непосредственно впадающим в озеро.

– **Критический:** I более 0,42. Это нагрузка от хозяйств с аналогичным воздействием на местные водотоки, но расположенных на водосборах притоков 2-3-го порядка, в средней части водосбора озера.

– **Значительный:** I более 0,26. Это средние по влиянию загрязнители, формирующие показатели качества воды, иногда превышающие ПДК в 2-3 раза. Расположены на достаточном удалении от непосредственных притоков озера.

– **Допустимый:** I менее 0,25. Нагрузка от этих хозяйств, приводящая к эпизодическим превышениям ПДК основных показателей качества воды, сглаживается значительным удалением как от озера, так и от транзитных водотоков.

Относительная оценка уровня антропогенной нагрузки на водные ресурсы со стороны сельскохозяйственного производства позволила достаточно объективно, основываясь на фактических характеристиках хозяйств и окружающей их природной среды, «рассортировать» их по степени экологической опасности для водных ресурсов бассейна озера Кубенского. Ее результаты приведены в табл. 3.28.

Оптимальный уровень антропогенной нагрузки на водные ресурсы озера, обусловленный деятельностью сельхозпроизводителей

Уровень нагрузки	Индекс возможного загрязнения I	Номера хозяйств согласно списку табл. 3.26
1. Опасный	Равный и более 1,0	44, 45
2. Критический	Более 0,42	11, 39, 12, 43, 29, 37, 49, 26
3. Значительный	Равный и более 0,26	36, 41, 21, 22, 23, 42, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 40, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 38, 46, 13
4. Допустимый	Равный и менее 0,25	30, 5, 3, 7, 14, 1, 25, 17, 4, 6, 47, 24

В хозяйствах, где складывается особо неблагоприятная экологическая обстановка (первая и вторая группы в табл. 3.28), в первую очередь необходимо проведение природоохранных работ. В частности, по отношению к хозяйствам, имеющим крупные животноводческие комплексы и фермы, ПИЦ «Вологодский» рекомендует выполнить ряд мер, направленных на снижение попадания стоков в водоемы и водотоки.

Как отмечалось выше, методика имеет прогнозные возможности. Задаваясь параметрами динамики антропогенной нагрузки – изменением распаханности, внесением удобрений и пестицидов, плотностью населения или даже изменением гидрографической сети в процессе мелиорации земель, – можно получить прогнозную величину как индекса I для каждого хозяйства, так и суммы их значений или осредненной по бассейну. Этот индекс может служить составляющей модели, отражающей изменение качества воды озера или его участков.

4. ОСНОВЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

4.1. Задачи управления водными ресурсами водосборов

Давно известно, что водный фактор в значительной мере определяет использование ресурсного и хозяйственного потенциала территории. Пример Вологодской области служит подтверждением этого постулата. Располагая значительными водными ресурсами (среднеголетний модуль годового стока на значительной части ее территории превышает 9 л/с км^2), область обременена проблемой недостатка качественной питьевой воды, проблемами, связанными с загрязнением поверхностных вод. Например, такая значительная река, как Сухона, почти на всем протяжении несет воды с повышенным содержанием фенолов, формальдегида, нефтепродуктов и др. загрязняющих веществ. По данным [39], в районе Сокольского промышленного узла в ее водах были зафиксированы: величина БПК_{полн} равная $42 \text{ мгO}_2/\text{л}$, коли-индекс – 23800, ХПК – $280 \text{ мгO}_2/\text{л}$, концентрация метанола – $2,2 \text{ мг/л}$.

Водосбор оз. Кубенского является верхней частью бассейна р. Сухоны, в пределах которого расположена большая часть Вологодской области и ее центр – г. Вологда.

Своеобразие гидрологического режима Верхней Сухоны таково, что во время весеннего половодья направление течения значительной ее части меняется на обратное и воды ее верхних притоков – рр. Вологда, Лежа – направляются в оз. Кубенское, создавая проблемы качества воды для централизованного водоснабжения г. Сокола и в районе водозабора на озере для г. Вологды.

Весной же из-за целого ряда причин на р. Сухоне, и особенно на участке пригородов и самого г. Великий Устюг, с определенной повторяемостью происходят заторы льда, вызывающие поднятия уровней воды до отметок, при которых происходит затопление сельхозугодий, селитебных и промышленных территорий.

В летний период из озера через гидроузел № 7 Северо-Двинской водной системы производят попуски озерных вод для поддержания суходонных глубин в русле р. Сухоны. В зимнюю межень озеро служит источником централизованного водоснабжения г. Вологды. Свои требования к водным ресурсам предъявляют рыболовство, рекреация.

Притоки озера, может быть, за исключение р. Кубена, являются малыми реками и представляют собой те верхние звенья речной системы, которые определяют особенности химического состава воды, гидрологический и гидрохимический режимы, условия существования гидробионтов.

Малой рекой [9] можно считать интуитивно выделяемый этносом территории водный объект длиной 10–200 км и площадью водосбора 10–10000 км² с особым характером гидрологических процессов, отражающих преимущественное воздействие местных факторов на формирование стока.

Одна из малых рек бассейна, левый приток р. Сухоны – р. Пельшма в своем нижнем течении выступает водоприемником очистных сооружений Сокольского промузла и из-за плохого функционирования очистных сооружений превращена в коллектор сточных вод, влияние которых на качество воды р. Сухоны прослеживается на всем ее протяжении ниже устья Пельшмы.

Ниже, в табл. 4.1, приведены данные департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды администрации Вологодской области на 2001 г. о некоторых случаях экстремально высокого содержания загрязняющих веществ в водах р. Пельшма в створе 1 км ниже сброса сточных вод с очистных сооружений, эксплуатируемых ОАО «Сокольский ЦБК».

Таблица 4.1

Содержание загрязняющих веществ и растворенного кислорода в водах р. Пельшма

Дата	Загрязняющие вещества, превышение ПДК, разы				Растворенный кислород, мг/л
	БНК ₅	Лигносulfонаты	Фенолы	ХПК	
16.01.01	107	208	93	80	0
15.02.01	276	454	35	188	0
12.03.01	98	356	92	57	0
11.04.01		24	34		
18.04.01		19			
24.05.01	17	154		18	
08.06.01	52	225		34	0

Водосборная площадь р. Пельшма на створ сброса сточных вод составляет 303 км². Естественный средний годовой сток за многолетний период характеризуется величиной около 3,2 м³/с. В летнюю и зимнюю межень сток уменьшается до 0,1–0,3 м³/с. Учитывая, что в настоящее время сброс сточных вод превышает 1,2–1,5 м³/с, совершенно очевидно, что на значительном протяжении реки в эти периоды текут практически не разбавленные, почти не очищенные сточные воды. В результате один из притоков р. Сухоны (площадь водосбора на устье р. Пельшма равна 514 км², среднегодовой расход 5,4 м³/с) превращается на значительное время года в безжизненную сточную канаву на протяжении более 20 км.

Большинство населенных пунктов русского Севера расположено на берегах водотоков и водоемов, что при нерациональном природопользовании вызывает появление мест с обостренной экологической

обстановкой – так называемых точек экологической тревоги. Непосредственно к речным долинам приурочена почти вся хозяйственная деятельность, с которой связано формирование загрязнений и нарушений естественного хода круговоротов веществ и энергии. В табл. 4.2 приведены данные о вероятности попадания сельскохозяйственных объектов, расположенных на водосборе озера Кубенского, в ту или иную градацию расстояний от водотоков.

Таблица 4.2

Размещение сельскохозяйственных угодий и ферм в зависимости от расстояния от водотоков бассейна оз. Кубенского, в %

Расстояние от водотоков, м	Фермы и летние лагеря КРС	Пашня	Кормовые угодья
0–500	65	20	36
500–1000	27	46	14
1000–5000	8	27	45
Более 5000	-	7	5

Легко увидеть, что большинство объектов находится в пределах пятисотметровой зоны и любое изменение в селитебной нагрузке или производственной деятельности будет активно влиять на качество водных ресурсов.

В рамках обеспечения устойчивого развития страны, региона, бассейна экологическое управление может выступать в качестве инструмента по отыскиванию различных способов влияния на природные и антропогенные системы с целью обеспечения их экономически выгодного функционирования с соблюдением максимального экологического выигрыша. В то же время следует отдавать себе отчет в том, что охрана природы – одна из составляющих частей природопользования или, в части водных ресурсов, водопользования. В нашей стране все еще нет единой системы планирования водного хозяйства. Водохозяйственные мероприятия предусматриваются в составе различных отраслей на территориях, границы которых зачастую не имеют ничего общего с естественными водоразделительными линиями.

Созданные ранее бассейновые схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов, как например, для бассейна р. Северной Двины [112], в современных условиях практически не используются, поскольку нет инструментария воплощения в жизнь заложенных в них идей, нет мониторинга их выполнения, не определены критерии, подлежащие отслеживанию для оценки степени приближения к поставленным целям.

Вместе с тем очевидна необходимость расширения статуса речного водосбора как территориальной единицы для всей сферы

природопользования и водопользования в особенности. Он представляет собой, ввиду своей природной целостности, жесткости выделения на местности и особой роли в структуре биосферы, наиболее подходящий объект для системного подхода к изучению и управлению процессами, происходящими в его границах.

Исходя из бассейнового принципа и междисциплинарного подхода к решению комплексных экологических проблем можно выделить круг задач управления и планирования, решение которых позволило бы контролировать и качество водных ресурсов, и их режимные количественные (уровни, расходы, объемы) характеристики.

Этим вопросам посвящено в последнее десятилетие значительное количество публикаций. В современном представлении оперативное влияние на процессы, относящиеся к водопользованию, должно осуществляться с помощью системы поддержки принятия решений [44, 61, 125, 13 и др.].

Рассматривая водосбор р. Сухоны в целом и одну из его составляющих – бассейн озера Кубенского, можно определить структуру и полноту наполнения такой системы, источники необходимой информации, а также имеющиеся в настоящее время разработки по отдельным направлениям, на основании которых осуществимы прогнозные расчеты для обоснования решений, влияющих на количественные и качественные параметры водных ресурсов. Подробное рассмотрение сведений о человеческой деятельности по их использованию на водосборе р. Сухоны позволяет понять, что для правильного водопользования в рамках этой водной системы требуется интегрированный подход, учитывающий с необходимой полнотой взаимодействия человека и водосбора как природного образования со всеми его водоемами, водотоками, абиотическими и биологическими компонентами.

В то же время, с точки зрения рационального и комплексного использования водных ресурсов, система приоритетов для бассейна р. Сухоны, на наш взгляд, должна выглядеть так:

- обеспечение хозяйственно-питьевых нужд населения, рыбного хозяйства и рекреации качественной водой, соответствующей требованиям к ее химическому составу и санитарно-эпидемиологическим показателям;
- обеспечение минимизации ущерба от затопления селитебных, промышленных и сельскохозяйственных территорий;
- поддержание нормального экологического состояния озера Кубенского, его притоков, р. Сухоны и ее притоков;
- обеспечение промышленности и сельского хозяйства качественной водой;

- обеспечение функционирования водного транспорта на восточном участке Северо-Двинской водной системы;
- обеспечение экологической безопасности руслоуглубительных работ с учетом их влияния на русловые процессы, на рыбопродуктивность;
- решение проблем, связанных с добычей песчано-гравийной смеси из русел водотоков.

4.2. Научная разработанность проблемы

Наилучшим путем решения проблем планирования и управления в сфере водного хозяйства сложных водных систем в настоящее время признан процесс создания системы поддержки принятия решений (СППР) управления с применением математических моделей отдельных экосистем и их совместного функционирования. При этом экосистемы наиболее удобны в качестве основных объектов исследования при решении задач управления качеством воды.

При необходимости можно создать информационное обеспечение, охватывающее весь водосборный бассейн, используя математические модели гидрологического режима, модели распространения и трансформации загрязнений, модели экосистем. Опубликованы результаты исследований, проведенных под руководством Л.А. Руховца [13], по созданию экономико-математических моделей природоохранной деятельности предприятий-водопользователей, например, на основе стратегии поведения предприятия по максимизации чистой прибыли при наличии ресурсных, технологических и экологических ограничений.

Известны модели экосистемы Ладожского озера [44], экосистемы р. Невы и Невской губы [61], модели эвтрофирования водосмов [125]. В значительной мере разработаны основы управления водными экосистемами озер и водохранилищ [15], использования экономических механизмов в задачах сохранения водных ресурсов больших озер [13]. На основании усовершенствованной версии экспертно-информационного моделирующего комплекса «Невская губа» создана и описана в [44] система поддержки принятия решений управления водными ресурсами региона, информационно-моделирующий комплекс бассейна произвольной реки.

Эти программные комплексы – результат многолетнего труда крупных творческих коллективов российских ученых, разработки которых находятся на мировом уровне. В то же время в ряде вузов страны введен курс «Основы управления водными ресурсами». Его предмет – принципы изучения и подходы к решению задач управления экологическими процессами на основе математического моделирования экосистем суши [32].

В настоящее время, когда в качестве субъектов управления зачастую выступают конкретные лица, имеющие право принимать решения и их реализовывать, следует отметить, что для природопользования и, в частности, для водопользования важны как регулирование, так и управление. И первое, и второе являются воздействием на объект с целью приведения его в заданное (желательное) состояние.

По определению, управление – функция организованных систем различной природы, обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержку режима деятельности, реализацию их программ и целей [51]. В соответствии со «Словарем иностранных слов» «регулировать – подчинять определенному порядку, правилу, упорядочивать, делать что-либо для получения нужных показателей, нужной степени чего-то».

Считается, что при управлении превалируют организационно-правовые методы, т.е. непосредственно исполнительская деятельность, а при регулировании – нормативные методы. В литературе [113] среди методов, например, государственного регулирования выделены контрольно-учетные и запретительные способы – учет, статистическая отчетность, проверки и иные формы контроля, запреты, ограничения, система ГОСТов, СНИПов и т.д.

Поэтому, говоря о научном обосновании принятия управленческих решений, следует рассматривать механизм взаимосвязи между научным исследованием и управленческой практикой. На рис. 4.1 приведена схема, позволяющая выделить его составляющие.

Четыре блока, расположенные в верхней части левой половины схемы вместе со своими взаимосвязями, представляют собой классическую схему мониторинга. Понятие мониторинга окружающей среды было впервые введено Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН и с тех пор постоянно развивается. Уточняя определение мониторинга, Ю.А. Израэль выделил прогнозную составляющую и ввел в определение термина «мониторинг окружающей среды» антропогенный фактор как основную причину этих изменений.

«Мониторинг – это система наблюдений, позволяющая выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности (мониторинг антропогенных изменений окружающей среды)» [42].

Позднее, в 1990 г., он уточняет: «... мониторинг в конечном счете служит управлению состоянием окружающей среды и в конечном итоге – экономикой, самой жизнью, обеспечивает биологическую устойчивость и, что очень важно подчеркнуть, социально-экономическую устойчивость (так как служит управлению)».

Схема позволяет увидеть, что на основании наблюдений (блок 1) вырабатывается прогноз будущего состояния системы на какой-то

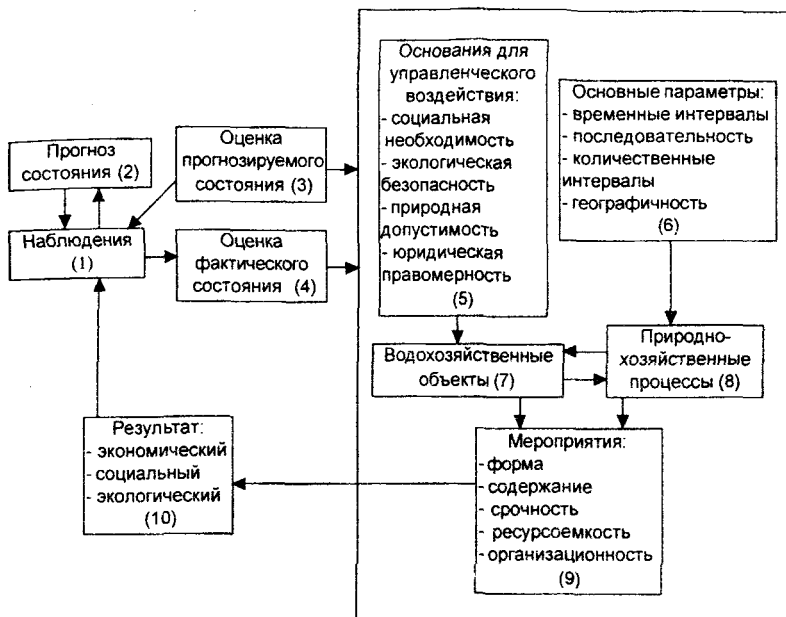


Рис. 4.1. Схема взаимосвязи между научным исследованием и практикой при управлении водными экосистемами

момент времени. Затем, по мере наступления срока прогноза, выполняется оценка прогнозного состояния, сравнение его параметров с данными наблюдений (3). Это дает возможность корректировать как методику прогноза, так и управленческие воздействия.

При этом постоянно, по данным наблюдений, ведется оценка фактического состояния системы (4). Результаты этой оценки и прогнозные параметры подаются в систему управления.

Для управленческих воздействий требуется определение признаков, которые указывают их необходимость (5). Основные из них следующие [79]:

- социальная необходимость;
- экологическая безопасность;
- экономическая эффективность и финансовая обеспеченность;
- природная допустимость;
- техническая обеспеченность;
- юридическая обусловленность.

Если результаты оценки признаков положительны, планируются и проектируются дальнейшие действия.

Параметры воздействий должны быть регламентированы во времени и пространстве (6). Требуется установить этапы действий, продолжительность, интенсивность, а также их географические характеристики.

Изменения, вносимые воздействиями, обеспечиваются мероприятиями (блок 9), направленными на достижение необходимых результатов (10) путем улучшения параметров использования водных ресурсов, не приводящего к резким изменениям устойчивости экосистем.

По форме это могут быть юридически-правовые, административно-организационные, хозяйственно-экономические, технологические и др. действия. Их содержание должно отвечать ожидаемым результатам мероприятия и может иметь водохозяйственную, русловыправительную, берегозащитную, природоохранную и прочую направленность.

По длительности осуществления они могут быть чрезвычайными (действия при чрезмерных ситуациях), оперативными (регулирование попусков, водозаборов и т.д.), планируемыми с разными периодами осуществления и разной степенью необходимости.

Ресурсоемкость мероприятий должна сопоставляться как с ожидаемыми результатами (10), так и с возможностями водохозяйственных и территориально-хозяйственных комплексов, возможностями привлечения инвестиций различного характера.

Организационность мер воздействия подразумевает определение уровня принятия решений: ведомственный, районный, муниципальный, областной, федеральный и выше.

Результат (10), полученный путем воздействия обоснованных с различных сторон (5, 6) мероприятий (9), может иметь ряд подпадающих анализу составляющих. Основные из них:

- экономический результат;
- социальные последствия;
- экологические последствия.

Блок (5) схемы подразумевает управленческие действия, осуществляемые организационно-правовыми методами. Блок (6) и частично (9) – действия регулирования, т.е. нормативные методы.

Система мониторинга (блоки 1–4) должна позволить на основании данных наблюдений определить результативность принятых мер. Схема его функционирования во времени наглядно представлена на рис. 4.2. Она заимствована из книги В.А. Королева [50], посвященной мониторингу геологической среды, и объединяет в последовательности наблюдения, оценку результатов наблюдений, прогнозные рекомендации и их реализацию через управленческие воздействия.

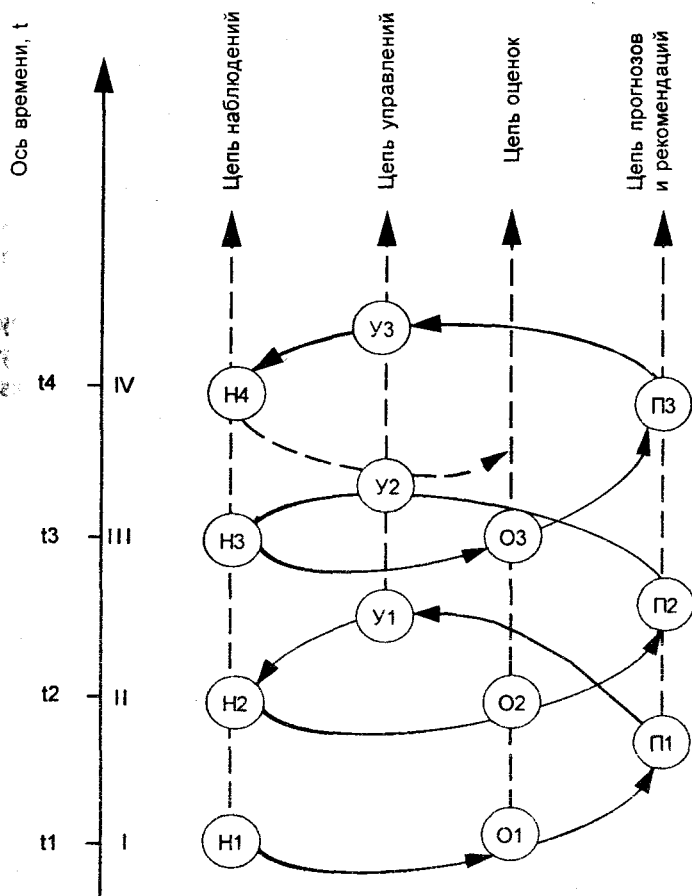


Рис. 4.2. Схема функционирования мониторинга во времени

Примечание: H_i – наблюдения; O_i – оценка наблюдений; P_i – прогноз и рекомендации; Y_i – управляющие решения; римские цифры – номера циклов.

При создании системы поддержки принятия решений управления водными ресурсами исследователи должны работать в тесном контакте с лицами, принимающими решения (ЛПР) по этим вопросам, поскольку ЛПР являются элементом системы. Они формулируют цели, доводя их до элементов системы в той или иной форме.

На рис. 4.3, по аналогии с [55], представлено сравнение схем деятельности исследователя, создающего и внедряющего систему поддержки принятия решений, и ЛПР.

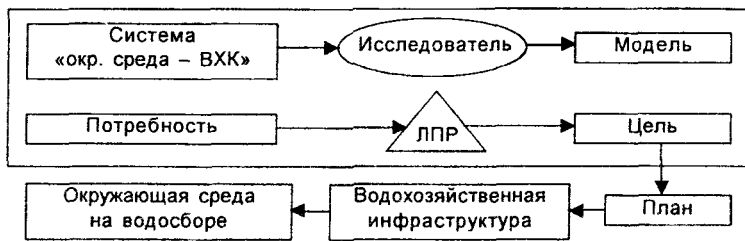


Рис. 4.3. Сравнение деятельности исследователя и ЛПР

Они не только тесно взаимодействуют, но и дополняют друг друга. Используя общие методы исследования, они могут совместно осуществлять некоторые этапы формирования целей. В то же время различия очевидны: исследователь изучает взаимодействие составляющих водохозяйственного комплекса (ВХК) с окружающей средой и создает модели существенных сторон (процессов) этого взаимодействия. ЛПР, на основе знаний об этом взаимодействии и потребностей участников водохозяйственных комплексов, формируют цель, создает (возможно, с участием исследователя) план ее воплощения в жизнь и, через ряд мероприятий воздействуя на водохозяйственные комплексы и природно-хозяйственные процессы (см. рис. 4.1), изменяют или, наоборот, сохраняют те или иные параметры системы с ее гидрографической сетью и участниками водохозяйственного комплекса, сформировавшегося на водосборе.

В результате работы исследователя по заданию ЛПР и в режиме обмена идеями, особенно при формировании целей, создается геоинформационная система, информация в которой регулярно (или постоянно) актуализируется специалистами. Эти же специалисты должны быть готовы, используя текущую и базовую информацию с применением созданных в процессе исследований моделей, разрабатывать и предлагать руководству (ЛПР) варианты решения возникающих проблем.

Моделирование привлекает к себе внимание как наиболее лаконичный способ упорядочения самой разнообразной информации для ее хранения, описания, а главное, для выявления всякого рода пространственных и временных закономерностей [110]. Оно в настоящее время считается единственным перспективным методом описания поведения водных экосистем.

Модель, по сути, является математической имитацией функционирования экосистемы и позволяет найти некоторое оптимальное решение при выборе способа управления ее состоянием [32].

Особенности водных экосистем приводят при моделировании к описанию 3 основных групп процессов: 1) гидродинамических, 2) гидрохимических и 3) гидробиологических. Если одной из целей моделирования выступает поиск решений, оптимальных с экологической и экономической точек зрения, к этим процессам присоединяются экономические проблемы и проблемы математического описания производственной и природохозяйственной деятельности водопользователей [44].

Сложность построения таких моделей усугубляется недостатком достоверной информации о функционировании водных экосистем. В то же время методические вопросы исследования, например, водохранилищ для проектирования их экологической реконструкции, разработаны достаточно подробно. По мнению ученых географического факультета МГУ [32], такое исследование, например, с целью превращения водохранилища в полисекционный водоем, должно включать ряд этапов и продолжаться от 3 до 5 лет.

На первом этапе, с учетом требований участников водохозяйственного комплекса и особенностей водоема, выбирается класс модели.

На втором этапе, исходя из особенностей выбранной модели, разрабатывается программа годичного цикла полевых исследований. При этом состав и пространственно-временная частота наблюдений за гидрологическими параметрами и параметрами качества воды должны быть такими, чтобы погрешность расчета составляющих баланса воды и характеристик ее качества была сопоставимой с погрешностями результатов наблюдений.

Намеченные полевые исследования выполняются на третьем этапе. Они заключаются в экспресс-съемках по учащенной сетке станций наблюдений методикой «сливных» проб с участием нескольких экспедиционных судов.

Четвертый этап посвящается в основном отладке блоков модели на основе данных учащенных наблюдений и завершается графической и статистической оценкой по нескольким критериям точности воспроизводства годичного цикла моделируемых режимов.

На пятом этапе следует доказать работоспособность модели на независимом материале, т.е. по данным наблюдений, не использованным при ее отладке. Для этого выполняют повторный годичный цикл учащенных балансовых исследований водохранилища.

Шестой этап посвящается поиску оптимального способа управления качеством воды в водохранилище. При этом в начале этой работы следует выполнить имитационные расчеты возможного режима в годы с экстремальными условиями, что позволит оценить вероятный

диапазон многолетних колебаний параметров качества воды. Полученные расчетным путем величины сравниваются с соответствующими нормативными значениями.

Располагая модели, применяемые для изучения возможностей управления водными объектами, от более простых по составу к более сложным, можно получить такой ряд:

- геометрические модели водоемов;
- модели генетического состава водных масс водохранилищ;
- гидродинамические модели экосистем озер и водохранилищ;
- модели эвтрофирования озер и водохранилищ;
- полные модели экосистем водоемов.

Основы последнего направления заложены датским лимнологом С.Э. Йогенсенем [46]. В России в деятельности по этому направлению одно из ведущих мест занимают ученые отдела математического моделирования в экологии Вычислительного центра РАН, разработавшие систему имитационного моделирования водоемов (СИМВО) [15]. Наиболее полное проявление возможностей этой системы потребовало длительных комплексных наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимами оз. Плещево и специальных гидробиологических исследований озера Институтом биологии внутренних вод РАН. О размерности модели можно судить хотя бы по тому, что на первом этапе работы надо было подобрать 214 экологических параметров! Пришлось разрабатывать и применять специальную процедуру оценки чувствительности модели к их изменению.

Обычная в настоящее время схема построения математической модели поведения водной экосистемы и его производной – качества воды – представляет собой блок-схему биохимических превращений вещества и энергии по трофическим звеньям экосистемы. Этапы верификации и валидации требуют, как правило, обширных гидрохимических и гидробиологических исследований. Этот подход еще долго будет использоваться для изучения различных водоемов, несмотря на его трудоемкость и дороговизну. В то же время исследователями отмечается, что индивидуальные особенности конкретных водных экосистем очень велики и не позволяют разработать общие решения даже для однотипных, близко расположенных водоемов.

Возможно, что именно из-за этих причин пока мало практических примеров успешного регулирования качества воды с использованием моделирования.

4.3. Институциональные структуры управления водными ресурсами

На протяжении целого ряда лет в России идет перестройка системы управления охраной окружающей природной среды и использованием природных ресурсов.

В соответствии с Законом РФ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» к полномочиям органов государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере отношений, связанных с охраной окружающей среды, относятся:

- определение основных направлений охраны окружающей среды на территориях субъектов Российской Федерации с учетом географических, природных, социально-экономических и иных особенностей субъектов Российской Федерации;
- участие в разработке федеральной политики в области экологического развития Российской Федерации и соответствующих программ;
- реализация федеральной политики в области экологического развития Российской Федерации на территориях субъектов Российской Федерации с учетом их географических, природных, социально-экономических и иных особенностей;
- разработка и издание законов и иных нормативно-правовых актов субъектов Российской Федерации в области охраны окружающей среды с учетом географических, природных, социально-экономических и иных особенностей субъектов Российской Федерации, контроль за их исполнением;
- разработка и утверждение нормативов, государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны окружающей среды, содержащих соответствующие требования, нормы и правила не ниже установленных на федеральном уровне;
- разработка, утверждение и реализация целевых программ в области охраны окружающей среды субъектов Российской Федерации;
- осуществление природоохранных и иных мер по улучшению состояния окружающей среды субъектов Российской Федерации;
- организация и осуществление в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга), формирование и обеспечение функционирования территориальных систем наблюдения за состоянием окружающей среды на территориях субъектов Российской Федерации;
- государственный контроль в области охраны окружающей среды (государственный экологический контроль) за объектами хозяй-

ственной и иной деятельности независимо от форм собственности, находящимися на территориях субъектов Российской Федерации, за исключением объектов хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному экологическому контролю;

- экономическая оценка воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности;

- привлечение виновных лиц к административной и иным видам ответственности;

- предъявление исков о возмещении вреда окружающей среде, причиненного в результате нарушения законодательства в области охраны окружающей среды;

- образование особо охраняемых природных территорий регионального значения, управление и контроль в области охраны и использования таких территорий;

- организация и развитие системы экологического образования и формирование экологической культуры на территориях субъектов Российской Федерации;

- ограничение, приостановление и (или) запрещение хозяйственной или иной деятельности, осуществляемой с нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, в пределах своих полномочий на территориях субъектов Российской Федерации;

- обеспечение населения достоверной информацией о состоянии окружающей среды на территориях субъектов Российской Федерации;

- ведение учета объектов и источников негативного воздействия на окружающую среду на территориях субъектов Российской Федерации;

- ведение Красной книги субъекта Российской Федерации;

- осуществление экологической паспортизации;

- регулирование других вопросов в области охраны окружающей среды в пределах своих полномочий.

Органы государственной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющие государственное управление в области охраны окружающей среды, определяются субъектами Российской Федерации [132].

Законом РФ от 28.08.95 г. № 134–ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ» полномочиями органов местного самоуправления в области использования и охраны водных ресурсов считаются:

- контроль за использованием земель на территории муниципальных образований (в т.ч. водоохраных зон);

- регулирование использования водных объектов местного значения;
- участие в охране окружающей среды на территории муниципального образования.

Закон РФ от 06.07.1991 г. № 1550–1 «О местном самоуправлении в Российской Федерации» полномочия районного совета и районной администрации в области использования и охраны вод распределяет таким образом:

Районный совет:

- определяет в соответствии с законодательством правила пользования природными ресурсами;
- устанавливает правила пользования водозаборными сооружениями, предназначенными для удовлетворения нужд населения, а также зоны санитарной охраны водных объектов в соответствии с требованиями санитарных норм.

Районная администрация:

- осуществляет в соответствии с законодательством управление и контроль в области использования и охраны вод, лесов и недр, растительного и животного мира, других природных ресурсов на территории района;
- предоставляет в пользование в установленном порядке водные ресурсы районного значения, разрешает в пределах своей компетенции споры о водопользовании, контролирует строительство и эксплуатацию сооружений водоснабжения, ирригации и мелиоративных сооружений;
- организует проведение экологической экспертизы проектов и строящихся объектов, а также предприятий и хозяйственных организаций, загрязняющих воздушный и водный бассейны и не обеспечивающих функционирование очистных сооружений;
- информирует население об экологической обстановке, принимает в случае стихийных бедствий и аварий меры по обеспечению безопасности населения; сообщает в соответствующие органы о действиях предприятий, учреждений, организаций, представляющих угрозу окружающей среде, нарушающих законодательство о природопользовании;
- принимает в соответствии с законодательством решения о наложении штрафов за ущерб, причиненный окружающей среде.

В действующем законе «Об охране окружающей среды» (№ 7–ФЗ от 10.01.2002 г.) не установлены полномочия органов местного самоуправления, что требует их определения в соответствии с законом на местах.

Этот пробел, образовавшийся с принятием федерального закона, частично заполняется путем передачи органам местного самоуправления полномочий органов государственной власти субъектов РФ.

В Вологодской области для этого принят закон «О наделении органов местного самоуправления отдельными государственными полномочиями» (№ 178–03 от 21.07.1991 г.), в соответствии с которым местным администрациям переданы следующие полномочия в сфере управления водными ресурсами:

- участие в разработке, согласовании и реализации бассейновых, областных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов;

- ограничение, приостановление и запрещение использования водных объектов на территории района, города, находящихся в собственности области, в случаях, установленных законодательством;

- установление водоохраных зон и прибрежных полос на водных объектах областной собственности в пределах территорий района, города.

Министерство природных ресурсов Российской Федерации действует на основе Положения о Министерстве, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 726 от 5.09.2002 г.

В состав Министерства входит Государственная водная служба (Росводресурс МПР России), сформированная на основе Положения, утвержденного приказом Минприроды РФ № 351 от 10.06.2002 г.

В субъектах РФ, в соответствии с Конституцией РФ, федеральными законами «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ», «О принципах и порядке разграничения предметов ведения и полномочий между органами государственной власти субъекта РФ», действуют комитеты природных ресурсов Министерства природных ресурсов РФ по территории субъекта РФ и структурные подразделения органов исполнительной власти субъекта РФ, а также органов местного самоуправления.

С июля 2002 г. областной комитет природных ресурсов переименован в Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Вологодской области (ГУПР).

Разграничение полномочий и предметов ведения в области охраны окружающей природной среды и обеспечения экологической безопасности между Министерством природных ресурсов РФ и органом исполнительной власти субъекта РФ осуществляется на основании решения Правительства РФ «О мерах по совершенствованию природной деятельности в РФ (протокол совещания Правительства РФ № 44 от 29.12.2000 г.) в соответствии с проектом «Примерного

соглашения между МПР и органом исполнительной власти субъекта РФ о передаче осуществления части полномочий в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности», направленного территориальным органам МПР России 11.03.2001 г. за № АП-61/1643.

В структуре управления водным комплексом на территории бассейна р. Сухоны имеются следующие элементы:

Федеральные органы исполнительной власти:

– Департамент природных ресурсов по Северо-Западному региону (г. С.-Петербург);

– Двинско-Печорское бассейновое водное управление (г. Котлас);

– Центры госэпиднадзора по городу и области;

– Севзапрыбвод (г. С.-Петербург);

– Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Вологодской области (отдел водных ресурсов);

– ФГУ «Управление по эксплуатации водохранилищ»;

– ФГУ «Вологдаводресурсы»;

– Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Архангельск);

– Вологодский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Органы исполнительной власти субъектов Федерации:

– Правительство Вологодской области – департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области (ДПР и ООС).

Органы местного самоуправления:

– Администрация муниципальных образований (городов и районов) – управления или отделы природных ресурсов и охраны окружающей среды.

За состояние водных путей в бассейне р. Сухоны отвечает Северо-Двинское государственное управление водных путей и судоходства (г. Котлас) и Вологодский район водных путей (г. Вологда).

Ситуация осложняется тем, что действующий [25] Водный кодекс признан не отвечающим требованиям времени и предложена новая его редакция.

Экономические меры экологического менеджмента в сфере использования водных ресурсов базируются на следующих нормативных актах:

• ФЗ РФ № 71 от 6.05.1998 г. «О плате за пользование водными объектами»;

• Постановление Правительства РФ № 8/8 от 22.07.1998 г. «Об утверждении минимальных и максимальных ставок платы за пользование водными объектами по бассейнам рек, озерам, морям и экономическим районам»;

• Инструкция Госналогслужбы РФ № 46 от 12.08.1998 г. «О порядке исчисления и внесения в бюджет платы за пользование водными объектами».

Право пользования поверхностными водными объектами приобретает в соответствии с лицензией на водопользование и заключенным на ее основе договором пользования водными объектами.

Лицензия на водопользование выдается территориальными органами МПР РФ (Бассейновым управлением или ГУПР) в соответствии с порядком, определяемым постановлением Правительства РФ № 383 от 03.04.1997 г.

Порядок заключения договоров водопользования на территории Вологодской области установлен приказом по ДПР и ООС № 25 от 26.02.2001 г.

Договор считается заключенным с момента его государственной регистрации в ГУПР МПР РФ.

Ставки и порядок зачисления платы за пользование водными объектами определяются в соответствии с законом Вологодской области «О плате за пользование водными объектами» от 20.12.2001 г.

Основными задачами экологического механизма охраны окружающей среды, в том числе и водных ресурсов, заявлены:

- планирование и финансирование природоохранных мероприятий;
- установление лимитов использования природных ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду;
- управление отходами и другими вредными воздействиями;
- установление платы за негативное воздействие на окружающую среду, проведение экологической оценки воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;
- меры по возмещению вреда окружающей среде;
- создание системы мониторинга и контроля выбросов (сбросов) всех видов вредных веществ;
- совершенствование нормативно-правовой базы для исчисления платежей за природопользование [132].

Анализ функций и структуры водохозяйственной отрасли показывает, что существует дублирование как по отдельным функциям, так и по основным сферам управленческой деятельности. Структура системы управления достаточно размыта, нет четкости в определе-

нии роли и основных целей каждого из субъектов, трудно выделить главные управляющие субъекты: все понемногу занимаются всем. Отсутствует строгая иерархия, что ведет к безответственности, невыполнению управленческих задач и «двойному» управлению [133].

Формально система управления водными ресурсами в России базируется на территориально-бассейновом принципе и носит государственный характер. Схемы, программы, бассейновые соглашения, предусмотренные действующим Водным кодексом РФ, зачастую носят декларативный характер, поскольку, по мнению многих специалистов, не содержат показателей системы достижения целей или эти цели очень укрупнены. При этом большая часть из них относится к объемам освоения вложений, площадей, вводу мощностей и т. д.

Отсутствуют показатели экологического состояния экосистем и не определены механизмы учета воздействия управленческих мероприятий на их динамику. Не предусматривается комплексный мониторинг и его заключительная фаза – прогноз.

В этих документах не просматриваются механизмы их реализации в правовой, организационной, экономической сферах. Зато проявляется чисто потребительское отношение к водным ресурсам – как со стороны лиц, принимающих решения, так и населения водосборов.

В то же время накоплен богатый фактологический материал, по многим бассейнам выполнены глубокие аналитические проработки. Так, например, Институтом «Ленгипроводхоз» в 1987 г. завершена семитомная «Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Северной Двины» (главный инженер проекта – Б.М. Баранов).

Традиционно для таких документов она была издана очень малым тиражом и сейчас труднодоступна для изучения, хотя многие ее положения и разработки не устарели до сих пор. То, что подобные документы в силу различных причин не использованы по своему прямому назначению, не должно компрометировать идею процедур управления водными ресурсами речного бассейна как единого целого.

4.4. Определение параметров регулирования уровенного режима озера³

Как было показано выше (гл. 2), участники стихийно образовавшегося водохозяйственного комплекса озера, выступающего водохранилищем внутрисезонного регулирования, предъявляют к его водным ресурсам, в том числе к уровенному режиму, определенные требования.

³Параграф 4.4 написан при участии главного специалиста департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды правительства Вологодской области Ю.С. Водоватова.

Наиболее жесткое из них – обеспечение работы водозабора для г. Вологды во время зимней межени. В этот период идет естественное истощение водозапаса на водосборе озера и их сброс через исток р. Сухоны. Плотина гидроузла № 7 в это время разобрана и не оказывает заметного регулирующего воздействия. Особенности геоморфологии, ледового и урвненного режимов, конструктивные решения сооружений, влияющие на условия водозабора, рассмотрены в п. 3.5.

Воздействие на урвненный режим озера во время безледоставного периода в настоящее время осуществляется путем использования ограниченных возможностей гидроузла с его плотиной. Она оказывает регулирующее действие на урвни верхнего бьефа при перепаде урвней более 0,1 м. Ее собирают на спаде половодья, и с этого момента судоходство осуществляется через шлюзовую камеру.

Для постановки задач управления и определения приоритетов надо знать, каким должен быть водный режим водотоков и водоемов и качество воды в некоторых конкретных контрольных створах, охваченных системой мониторинга, в годы и периоды различной водности, согласно вероятностному прогнозу, в следующем году, в перспективе. И не вообще, а в поддающихся измерению значениях индикаторов, отражающих состояние экосистемы. В общем случае для этого, конечно, наиболее мощным инструментом, как следует из рассмотренных выше работ, является полноформатное детерминистическое математическое моделирование. Оно сопряжено с затратой значительных средств времени (п. 4.2). В частном случае, для определения требований одного из основных участников водохозяйственного комплекса – рыболовства и воспроизводства рыбных ресурсов – к урвненному режиму озера Кубенского, есть возможность ограничиться корреляционным анализом.

Он позволяет выявить влияние ряда абиотических факторов на такой интегральный показатель состояния экосистемы, как рыбопродуктивность.

Как известно [23], в озере обитает 22 вида рыб. Наиболее многочисленные из них: лещ, судак, щука, окунь, плотва, ерш, язь, густера, уклея, елец, карась, пескарь -- нерестятся весной. Налим нерестится зимой. Нерест осенне-нерестящихся видов – нельмы и сига-нельмушки – проходит в притоках озера – реках Кубена и Б. Ельма. Следовательно, практически все виды рыб, на которых базируется промысел в озере, нерестятся весной.

Согласно материалам наблюдений, по мере повышения температуры воды первым нерестится язь, затем щука, плотва, лещ, судак, ерш, густера и карась.

Все эти виды, за исключением судака и ерша, нерестятся в прибрежной зоне озера, откладывая икру на остатки прошлогодней растительности, затопляемый кустарник и корни прибрежных растений.

Быстрое заполнение озерной котловицы в период весеннего половодья способствует образованию обширной мелководной зоны, в пределах которой преимущественно и происходит процесс икрометания большинства промысловых видов рыб.

Наблюдения, проводившиеся в период с 1975 по 1992 гг. специалистами Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, за размерно-возрастным, весовым составом и численностью популяций основных промысловых рыб свидетельствуют о появлении в озере время от времени отдельных поколений рыб высокой и особо высокой урожайности. Колебания численности в возрастных группах имеют положительно асимметричное распределение, т.е. характеризуются большим количеством лет с урожайностью, несколько меньшей среднеголетней, и малым количеством лет с большими значениями урожайности. При этом минимальные и максимальные за многолетие величины урожайности отличаются друг от друга в десятки раз.

Задача сводилась к выяснению степени влияния характеристик уровня режима на воспроизводство популяций рыб. При этом надо было учитывать и влияние таких важных абиотических факторов, как температурный режим, ледовый режим, колебания их характеристик в различные периоды жизни гидробиотов. В качестве показателя, характеризующего воспроизводство поколений рыб, была выбрана численность леща, что обусловлено следующими соображениями:

1. В условиях озера Кубенского лещ - основной промысловый вид. В течение последних лет наблюдений вылов этого вида достигал в среднем 46% общего вылова по водоему.

2. Наблюдения за численностью отдельных поколений леща, в плане разработки способов рациональной эксплуатации его промыслового стада, выявили чередование высоко- и малоурожайных поколений.

3. Наблюдения за популяцией леща велись относительно продолжительный период времени (18 лет).

4. Промысел леща в условиях озера Кубенского ведется преимущественно закидными неводами, количество и конструкция которых остаются неизменными на протяжении длительного периода. Для данного орудия лова экспериментальным путем получены коэффициенты уловистости по отношению к лещу различных размерных групп, что во многом способствует повышению надежности расчетов.

К сожалению, достаточно подробных данных наблюдений за ходом икрометания, численностью нерестового стада, условиями

жизни личинок и мальков леща в периоды нагула и зимовки в нашем распоряжении нет.

Аналізу подвергся ихтиологический материал, попадающий в зону работы промысловых орудий лова и учитывающийся в процессе переборки улова. Наиболее репрезентативной группой для целей анализа, на наш взгляд, являются пятилетние особи леща (возрастная группа 4+). В этом возрасте лещи достигают средней длины 18 см и эффективно вылавливаются неводом. Коэффициент уловистости для этой группы составил 60%. Пятилетки леща переходят на питание бентосными организмами, совершают активные миграции по водоему.

Поскольку регулярные репрезентативные наблюдения за размерно-возрастной структурой популяции леща в озере начались в 1975 г., сведения о численности леща возрастной группы 4+ могли быть вычислены только начиная с поколения 1971 г. Ряд величин численности леща заканчивается 1988 годом, поскольку особи поколений 1989 – 1991 гг. не вошли в 1992 г. в зону действия закидных неводов, а далее централизованное промышленное рыболовство на озере развалилось, репрезентативность выборки нарушилась. Прекратились систематические наблюдения за размерно-возрастным составом и численностью стада леща по единой методике.

Возрастная структура промыслового леща определялась на основе анализов промысловых уловов, достаточно регулярно проводившихся силами Вологодской лаборатории ГосНИОРХ. По данным многолетних наблюдений была построена кривая темпов убыли численности поколения в условиях озера в зависимости от величины промысловой и естественной смертности. Значения показателей промысловой смертности исчислялись на основании фактических данных об объеме вылова леща за год и результатов ихтиологических анализов. Показатели естественной смертности определялись по методике П.В. Тюринна [116]. Коэффициент естественной смертности в средних возрастах леща озера Кубенского составил 24%. В тех случаях, когда данные наблюдений за численностью возрастной группы 4+ отсутствовали (3 года из 18), использовались восстановленные показатели, полученные с помощью кривой убыли численности поколений. За период наблюдений величина ежегодного пополнения колебалась от 0,2 (1987 г.) до 1,90 млн штук (1972 г.). Оценка средней за 18-летний период наблюдений численности леща в возрасте 4+ составила 0,99 млн штук.

Наблюдая за темпами убыли численности поколений леща под действием естественной смертности и вылова, мы приходим к выводу о том, что для оптимального использования биопродуктивных возможностей водоема ежегодная стартовая численность поколения в пересчете

на возраст 4+ должна составить около 1,2 млн штук. В этом случае можно ожидать, что промысловая часть стада леща может выдерживать ежегодное изъятие в пределах 300–350 т без ущерба для воспроизводительной способности популяции.

Интересно знать, каковы же должны быть значения абиотических факторов, в том числе и характеристик уровневого режима, для обеспечения поколения в размере 1,2 млн штук лещей в пересчете на возраст 4+.

В целях количественной оценки условий формирования поколений леща рассмотрены уровневый и тепловой режимы озера, т.к. именно факторы, ими обусловленные, оказывают наиболее существенное влияние на процесс воспроизводства рыбных запасов. Были проанализированы результаты многолетних наблюдений за уровнем озера, уровневые гидрографы многоводных и маловодных лет периода наблюдений по водомерному посту в верхнем бьефе гидроузла «Знаменитый». В 18-летнем периоде наблюдений за численностью популяции леща выделены годы благоприятные и неблагоприятные для воспроизводства весенне-нерестящихся групп рыб озера.

Предполагалось, что в условиях озера при различных горизонтах воды весной, в период нереста, обеспеченность нерестилищами фитオフィльных (использующих в качестве нерестового субстрата остатки прошлогодней растительности) рыб будет различной. При низких уровнях весной площадь мелководий сокращается относительно средних значений, при высоких – увеличивается. Большое значение для выживания икры имеют также колебания уровня воды в период инкубации. Отложенная при высоких горизонтах воды икра при последующем снижении уровня может обсохнуть, и эффективность нереста будет снижена. В этой связи к анализу были привлечены данные по годам, характеризующие отклонения уровня от среднего за период инкубации.

Под периодом инкубации в данном случае мы понимаем время накопления суммы 150°C среднесуточной температуры воды начиная с устойчивого перехода ее через значение 10°C. Этот срок колеблется от 10 до 12 суток и приходится в основном на вторую декаду мая. Привлечены к анализу и данные о температуре воздуха за период май–сентябрь каждого года.

Особое внимание было уделено условиям зимовки молоди и взрослых особей в различные годы. Анализировался ход температуры воздуха от начала ледостава до даты максимальной толщины льда. Предполагалось, что чем суровее зима, тем толще лед, тем меньше жизненное пространство для рыб в мелководном озере, тем больший дискомфорт они испытывают. Была рассмотрена зависимость урожайности

поколений леща от амплитуды сработки озера за зиму, предшествующую нересту, влияющая на физиологическое состояние производителей. Амплитуда сработки озера за зиму, следующую после нереста, может влиять на уровень естественной смертности молоди на первом году жизни.

Как отмечалось выше, в качестве зависимой переменной при корреляционном анализе использовались данные по ежегодному пополнению популяции леща в пересчете на пятилетнюю возрастную группу. Предикторами приняты показатели, отражающие термический, уровенный и ледовый режим озера, поддающиеся численному выражению. Используются их значения за период с 1971 по 1988 гг., то есть тот период, за который имеются данные о динамике численности поколений леща.

Обозначения переменных следующие:

V – величина численности возрастной группы популяции леща, млн штук;

\bar{t} – средняя температура воды по в/п «Знаменитый» за период инкубации икры в конкретный год;

St – среднеквадратическое отклонение температуры воды за период инкубации;

Cvt – коэффициент вариации температуры воды за период инкубации в долях единицы;

dH_s – амплитуда сработки озера в последующую, относительно нереста, зиму, м;

$SdHS$ – сумма амплитуд сработки за предыдущую и последующую, относительно нереста, зимы, см;

$dHSPR$ – амплитуда сработки озера за зиму, предшествующую нересту, м;

$Sumt$ – сумма среднесуточных температур воды от даты перехода через $10^{\circ}C$ и по сентябрь в год нереста (тыс. градусов);

$Sumts$ – сумма отрицательных температур воздуха по метеостанции Вологда (Семеново) от начала ледостава до даты максимальной толщины льда на озере;

H – средний уровень по в/п Коробово за период инкубации икры леща, см;

SH – среднеквадратическое отклонение уровня за период инкубации;

$C_v H$ – коэффициент вариации в долях единицы;

H_{max} – максимальный уровень за период инкубации икры, см;

H_{min} – минимальный уровень за тот же период, см;

$SHdH$ – нормированное по амплитуде среднеквадратическое отклонение уровня за период инкубации;

HL – уровень воды по в/п Коробово на дату максимальной толщины льда, см;

L – максимальная толщина льда за зиму, см.

В табл. 4.3 приведены результаты вычисления коэффициентов линейной корреляции между V и параметрами термического и уровня режимов озера. При $n=18$ абсолютная величина коэффициента линейной корреляции 0,45 и более говорит о существовании данной зависимости и ее статистической значимости на уровне 5% и выше [106]. Этому условно отвечают три переменные: Sumt, т.е. сумма положительных температур воды за период инкубации икры; SdHS – сумма амплитуд сработки озера за предыдущую и последующую, относительно нереста, зиму, dHSPR – амплитуда сработки озера за зиму, предшествующую нересту.

Таблица 4.3

Коэффициенты корреляции между ежегодной численностью популяции леща 4+ и переменными, отражающими изменения температурного и уровня режимов

\bar{t}	Cvt	Sumt	Sumts	HL	L	dHSPR	dH _s	SdHS	H	SH	SHdH
0,23	-0,11	0,49	-0,37	0,07	0,33	-0,46	-0,34	-0,52	0,07	0,14	0,14

Парные коэффициенты линейной корреляции между переменными, которые есть смысл привлечь для составления многофакторных зависимостей, приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Парные коэффициенты линейной корреляции

	V	SdHS	Sumt	Sumts	dHSPR
V	1	-0,52	0,49	-0,37	-0,46
SdHS		1	-0,43	-0,50	0,78
Sumt			1	-0,31	-0,44
Sumts				1	0,49
dHSPR					1

Предикторы оказались существенно зависимы друг от друга статистически, что снижает их информативность при составлении уравнения множественной линейной корреляции.

Наиболее тесной оказалась зависимость между V и величиной, суммарной за две зимы – предшествующей и последующей относительно нереста, амплитудой сработки озера с коэффициентом линейной корреляции $r = -0,52$.

Знаки корреляционных зависимостей между V и предикторами не противоречат физическому смыслу. Треугольная матрица парных

коэффициентов линейной корреляции, представленная в табл. 4.4, содержит все их значения, из которых можно составить определитель, позволяющий вычислить все параметры множественной линейной корреляции.

Полный или сводный коэффициент множественной линейной корреляции между переменной V и всеми независимыми переменными может быть вычислен, например, по известному выражению:

$$R = \sqrt{1 - (D/D_{i,j})},$$

где: D – определитель частных (парных) коэффициентов корреляции $r_{i,j}$;
 $D_{i,j}$ – минор определителя D, представляющий собой часть исходного определителя, у которого вычеркнуты первая строка и колонка V.

В нашем случае полный коэффициент линейной корреляции зависимости

$$V = f(\text{SdHS, Sumt})$$

получен из выражения:

$$R = \sqrt{\frac{r_{1,3}^2 + r_{1,2}^2 - 2r_{1,3} \cdot r_{1,2} \cdot r_{2,3}}{1 - r_{2,3}^2}}$$

Подставив величины парных коэффициентов линейной корреляции из табл. 4.4, получим $r = 0,61$, что немногим больше коэффициента линейной корреляции между V и SdHS, равном 0,52. Использовать количество переменных более трех не позволяет малый объем совместных наблюдений – всего $n=18$ лет, поскольку система уравнений для вычисления параметров множественной линейной корреляции имеет устойчивое решение при $n \geq m$, где m – количество переменных.

В данной ситуации проще использовать уравнения линейной корреляции между V и каждой из переменных, а затем сравнить получаемые оценки и выбрать из них такую, которая отвечала бы каким-то наиболее вероятным условиям, не противоречила данным многолетних наблюдений и физическому смыслу.

Линейные уравнения 1, 2, 3, параметры которых представлены в табл. 4.5, позволяют оценить амплитуду сработки уровня озера в течение зимы, отвечающую условиям воспроизводства популяции леща на уровне 1,2 млн штук, что, по мнению специалистов Вологодской лаборатории ГосНИОРХ, близко к оптимальной величине.

Параметры линейных корреляционных уравнений вида $V=ax+b$

№ n/n	x_i	a	b	ΔH при $V=1,2$	r	n
	1	2	3	4	5	6
1	dHSPR	- 0,003	1,45	83	- 0,46	18
2	dH _s	- 0,002	1,34	70	- 0,34	18
3	SdHS	- 0,002	1,67	118	- 0,52	18

Обозначения следующие:

a и b – параметры линейных уравнений, найденные методом наименьших квадратов по выборкам объемом $n=18$;

x_i – переменные, отражающие изменения уровненного режима озера, перечисленные выше (перед табл. 4.3).

В столбце 5 табл. 4.5 приведены результаты расчетов по уравнениям 1, 2, 3 с подстановкой $V=1,2$. При этом уравнения 1 и 2 дают оценки амплитуды сработки уровня в течение зимы, предшествующей нересту изучаемой группы 4+. По уравнению 3 вычислена суммарная амплитуда снижения отметки поверхности воды в озере за предыдущую и последующую относительно нереста зимы. Эти оценки близки между собой (70 – 118 см). Учитывая величины коэффициентов корреляции, отражающие более тесную зависимость уравнений 1 и 3, для дальнейшего анализа нами принята величина сработки не более 100 см. Эти оценки можно считать близкими к истине еще и по причине их нахождения вблизи средних величин переменных. Экстраполяция уравнений за пределы наблюдаемых значений в данном случае конечно же некорректна.

Уровненный режим озера в период осенне-зимней межени интересен как для рыболовства и воспроизводства рыбных ресурсов, так и для обеспечения нормальной работы водозабора для г. Вологды. Началом этого периода можно считать дату разборки плотины гидроузла «Знаменитый» на р. Сухоне. Затем образуется устойчивый ледовый покров и происходит сработка запасов воды на озере и водосборе. В какой-то момент наступает режим равновесия между притоком в озеро и стоком через исток р. Сухоны. Это состояние в обычные и многоводные годы наблюдается в течение нескольких дней и только в наиболее маловодные годы может продолжаться неделю и более. Далее начинается подъем уровней воды в результате весеннего снеготаяния.

Плотина гидроузла «Знаменитый», как уже отмечалось, служит для улучшения судоходных условий по Верхней Сухоне, т.е. ниже гидроузла. Основным лимитирующим фактором для судоходства выше плотины является пережат в створе заходных биев с отметкой дна 106,3 м БС. Критическая отметка поверхности воды для судоходства в этом створе, по данным Вологодского района водных путей, составляет 107,4 м БС.

Осенью, если перепад уровня между верхним и нижним бьефами гидроузла составляет 0,1 м и более, плотина остается собранной и суда проходят через шлюзовую камеру. В противном случае производится разборка плотины, шлюзование прекращается и судоходство осуществляется по основному руслу р. Сухоны над основанием плотины. Если же перепад между бьефами гидроузла в предзимний период сохраняется более 0,1 м, то плотина разбирается при наступлении среднесуточной температуры воды 0,5°С.

Результаты анализа уровней воды на характерные даты этого периода приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Характерные даты и уровни предзимнего периода на верхнем бьефе гидроузла «Знаменитый» и на водомерном посту Коробово

Дата укладки плотины		Уровень воды на дату укладки плотины			Дата начала ледостава		Уровень воды на дату ледостава		
		Характеристика	"Знаменитый"	Коробово			Характеристика	"Знаменитый"	Коробово
Ранняя	12.09.1978	Максимальный	110,07	110,57	Ранняя	14.10.1978	Максимальный	110,10	110,60
Средняя	14.10	Средний	108,47	108,92	Средняя		Средний	108,32	108,80
Поздняя	31.10.1970	Минимальный	107,67	108,06	Поздняя	12.12.1976	Минимальный	107,5	108,01

В среднем понижение уровня за период между датой укладки плотины и датой начала ледостава составляет 0,13 м, что соответствует сработке озера примерно на 60 млн м³. В маловодные годы уровень укладки плотины и образования ледостава сближаются и снижение уровня за период между этими датами незначительно.

Начальные условия зимовки озера оказывают влияние на характер истощения водозапаса в зимний период, определяя в значительной мере дату наступления и величину минимального стока в р. Сухону.

В ноябре 1992 г., в связи с перебоями на водозаборе, подающем воду из озера для г. Вологды, автором совместно с к.г.н. А.В. Белым была составлена методика прогноза минимальных уровней озера и расходов воды в истоке р. Сухоны. Как отмечалось выше, корреляционный анализ результатов наблюдений за гидрологическим режимом озера, его притоков и вытекающей из него р. Сухоны за период 1970 – 1992 гг. показал, что на характер кривой спада уровней озера в зимний период может действовать ряд факторов.

Используя ряды наблюдений с 1970 по 1992 гг. включительно, предоставленные Гидрометслужбой, по водопостам оз. Кубенское – д. Коробово, р. Сухона – д. Рабаньга и шлюз «Знаменитый», р. Кубена –

в/п Истоминаская и Кубенская, было получено несколько уравнений, которые можно использовать для прогноза минимальных уровней и расходов на конец зимней межени уже в самом начале зимы.

Для минимального уровня на в/п Коробово H_{\min} зависимость имеет вид:

$$H_{\min} = 3,08(W_H - W_0)^{0,54}, \quad (4.1)$$

где W_H – объем озера на январь текущего года, млн m^3 ;

W_0 – так называемый мертвый объем озера, равный 34 млн m^3 ;

3,08 и 0,54 – коэффициенты, полученные методом наименьших квадратов.

Теснота связи этой зависимости при логарифмической анаморфозе оценивается величиной коэффициента линейной корреляции $r=0,78$.

Проверка зависимости на 20-летнем ряде наблюдений дала среднюю ошибку ± 9 см.

Для прогноза минимального за зимнюю межень расхода р. Сухоны в створе в/п Рабаньга получено линейное уравнение:

$$Q_{\min} = 0,058 W_H + 1,84. \quad (4.2)$$

Теснота связи характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,89$.

При этом при прогнозных расчетах для определения начального объема озера W_H можно использовать кривые спада уровней озера за годы различной водности, что дает возможность получения прогнозных величин с разной степенью неблагоприятности.

Одним из факторов, влияющих на параметры кривой спада уровней и расходов за зимнюю межень, является боковой приток в озеро. В качестве индекса этой величины при анализе был принят средний расход р. Кубена, определяющей более 85% притока в озеро.

Зависимость минимального зимнего расхода Q_{\min} в створе в/п Рабаньга от двух переменных имеет вид:

$$Q_{\min} = 1,4Q_n + 0,058W_H + 10,4, \quad (4.3)$$

где W_H – начальный объем озера на 1 января;

Q_n – средний расход р. Кубена в створе в/п Кубенская за первую декаду января.

Теснота связи этой зависимости при $n = 20$ оценивается величиной коэффициента множественной корреляции более 0,9.

Прогнозный расчет, выполненный по этой зависимости, в январе 1993 г. дал величину $Q_{\min} = 16,0$ m^3/c . Фактический минимальный расход наблюдался в створе в/п Рабаньга 16 марта 1993 г. и был равен 15,6 m^3/c .

По кривой зависимости минимальных расходов q . Сухоны от уровня озера и прогнозной величине Q_{\min} можно получить соответствующую прогнозную величину минимального уровня озера.

Минимальный допустимый с точки зрения воспроизводства рыбных ресурсов зимний уровень озера определяется исходя из анализа данных многолетних гидрометрических наблюдений и из следующих соображений. Как известно из наблюдений на в/п Коробово, средне-многолетняя максимальная за зиму толщина погруженного льда на озере составляет 72 см. Оставляя рыбе в среднем 40 см пространства между дном и льдом, получаем округленную среднюю величину глубины 1,1 м. По кривой зависимости средней глубины озера от уровня этой величине соответствует отметка уровня 107,9 м БС. Рассматривая данные наблюдений за уровнем в том же Коробово, получаем, что отметка среднего из минимальных уровней составляет также 107,9 м БС. Такой уровень и ниже наблюдался в 31 случае из 52 лет наблюдений, т.е. более 60% зимовок. В отдельные годы ниже этой отметки уровень находится в течение почти всей зимы (например, в 1976 г.) или нескольких месяцев (1985, 1988 г. и др.). Площадь водной поверхности озера при этом едва превышает 200 км² при объеме несколько более 100 млн м³.

В 50% лет озеро покрывается льдом не позднее 9 ноября при отметке уровня не ниже 108,67 м БС. Это соответствует средней глубине $h_c = 1,37$ м. Уменьшив отметку уровня на величину сработки за зиму, вычисленную по уравнениям 1–3 (табл. 4.5), получим 106,67 м. Это отвечает средней глубине озера 1,03 м.

Отметка уровня 95%-ной обеспеченности на дату образования ледового покрова равна 108,01 м, что соответствует средней глубине 1,14 м. Вычтя амплитуду сработки уровня воды за зиму 100 см, вычисленную по уравнениям 1–3, получим амплитуду 107,01, что дает среднюю глубину озера $h_c = 0,73$ м.

Обработка фактических наблюдаемых минимальных зимних уровней по в/п Коробово за 52 года дала отметку минимального уровня 95% обеспеченности 107,55 м, при средней глубине озера $h_c = 0,96$ м. Минимальный наблюдаемый за этот период уровень (1945 г.) соответствует средней глубине озера $h_{cp} = 0,82$ м.

Как отмечалось выше, средний уровень озера на начало ледостава по в/п Коробово имеет отметку 108,8 м БС, а отметка уровня озера на среднюю дату опускания плотины (14 октября) гидроузла «Знаменитый» – 108,93 м БС. Призма воды в озере, заключенная между этими уровнями, равна объему около 60 млн м³, что соответствует почти полугодовому потреблению г. Вологды.

Средняя за многолетний период амплитуда зимней сработки озера при коэффициенте вариации 0,41 составляет 1,43 м. Это превышает оценку по уравнениям 1 – 3 (см. табл. 4.5), полученную при их решении относительно выбора условий, обеспечивающих оптимальную численность пятилетней возрастной группы леща.

Сопоставление приведенных выше результатов анализа позволяет заключить, что для создания оптимальных условий естественного воспроизводства весенне-нерестящихся видов рыб уловенный режим озера требует регулирования во время зимней межени. При этом желательно, чтобы амплитуда сработки вод озера за зиму не превышала 1 м, а отметка начального уровня, т.е. уровня на дату образования ледового покрова, должна быть не ниже 108,7 м БС.

В многолетнем разрезе вероятность необходимости такого регулирования составляет около 50%, т.е. оно необходимо в среднем каждый второй год.

К сожалению, современное состояние гидроузла «Знаменитый», его конструктивные особенности позволяют влиять на уровень озера только в период открытой воды, хотя влияние зимнего регулирования могло бы быть благоприятным как с точки зрения водопотребителей, так и для целей воспроизводства рыбных ресурсов. При планируемой реконструкции гидроузла следует учесть необходимость принятия соответствующих инженерных решений.

Следует отметить, что в последующем, для целей заключительной стадии мониторинга рыбных ресурсов – прогнозов, на основе уравнений, подобных 4.1 – 4.3, можно составить прогнозную методику относительных величин ежегодного пополнения популяции леща в пересчете на возрастную группу 4+ с учетом начального объема озера, притока в озеро и, например, параметров температурного и ветрового режима за время нереста. Это позволит вычислять объем возрастной группы 4+ в год нереста, т.е. с заблаговременностью в четыре года, зная наблюдаемые величины аргументов уравнений. При возобновлении наблюдений за популяцией леща данные зависимости могут уточняться. Возможно и построение многофакторных уравнений связи объема группы леща 4+ с возрастными частями популяций других рыб, численностью всей популяции промысловых рыб.

4.5. Прогнозирование характеристик водных ресурсов

В настоящее время идет формирование науки управления. В ее основе, видимо, будет ряд блоков – правовой, экономической, социально-политический и управленческо-технологический. Предстоит,

вероятно, открыть и основные законы управления. Поскольку пространство – одно из фундаментальных понятий бытия, имманентная характеристика всего мира, постольку развиваемый географией пространственный подход необходим в территориальных аспектах управления, являясь основой комплексности и системности как в исследовательской, так и в управленческой деятельности.

При этом география выдвигается в число приоритетных сфер знания. Ее приложения особенно важны в изучении факторов устойчивого развития, проблем природопользования, размещения производительных сил в пространстве и времени. На ее основе развиваются новые междисциплинарные связи с биологией человека, социологией, экономикой, политологией. Недаром наиболее прогрессивные информационные технологии содержат в названии корень «гео».

Концепция устойчивого развития, популярная во всем мире с 1992 года – года проведения Конференции ООН по проблемам окружающей среды и развития (Рио-де-Жанейро), основывается на признании необходимости сохранения природных комплексов для дальнейшего развития человечества. Сложность социально-эколого-экономической системы не позволяет полностью предсказать ее реакцию на управленческие действия. Но бездействие и нерегулирование могут иметь худшие последствия, чем деятельность и регулирование. «Предоставленные самим себе, события имеют тенденцию развиваться от плохого к худшему», – гласит один из законов Мэрфи.

Как показано в многочисленных работах, надежда на «невидимую руку рынка» привела к деградации социальной сферы общества, что обострило отношения в сфере окружающей среды. Один из известных бизнесменов Джордж Сорос писал по поводу природоохранных проблем: «... Вторжение рыночной идеологии в области, столь далекие от коммерции и экономики разрушает и деморализует общество. Но рыночный фундаментализм стал настолько мощным и влиятельным, что любые политические силы, осмеливающиеся противостоять ему, рассматриваются как сентиментальные, нелогичные и наивные». Более того, он считает, что «рыночный фундаментализм представляет сегодня большую опасность для открытого общества, чем тоталитарная идеология» [109].

В этой связи поиск оптимального сочетания государственных способов управления и рыночных принципов имеет исключительно важное значение для всего природопользования. Видимо, достижение его устойчивости возможно через адаптивное управление, т.е. использование обратной связи и регулирования. Концепция природопользования, наверное, должна не предписывать жесткие рамки поведения,

а описывать принципы выработки и выбора сценариев, не исключаящих превалирование тех или иных целей на отдельных этапах или отдельных территориях. Управление должно опираться на мониторинг, включающий не только наблюдения, но и прогноз. Обратная связь должна обеспечивать отслеживание поведения социально-эколого-экономической системы под воздействием управляющих мероприятий. В современных условиях под этим подразумевается действие цепи: «модель природопользования – база данных / геоинформационная система – компьютерная сеть».

При этом следует отдавать себе отчет, что моноресурсное, отраслевое, ведомственное природопользование не имеет будущего. Переход к комплексному природопользованию потребует создания автоматизированного кадастра природных ресурсов. Это возможно лишь при устойчивой работе региональных инвентаризационных предприятий (земле- и лесоустройства, геологической, водохозяйственной служб и т.д.).

Область (регион) заинтересована в получении на своей территории максимального объема добавленной стоимости, образуемой при использовании природных ресурсов. Это может обеспечить развитие перерабатывающих производств и сферы услуг. При этом под использованием природно-ресурсного потенциала понимается не только использование сырья, но и весь спектр любого пользования – от заповедывания территории до полного обоснованного изъятия какого-то отдельного ресурса на локальной территории.

Одной из основных сфер природопользования выступает водопользование. Водные объекты издревле оказывают существенное влияние на жизнь стран и народов. Ресурсы поверхностных вод – в числе наших основных богатств. Их потребление увеличивается. Если удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в расчете на единицу ВВП за 1992 – 2000 гг. увеличились в 1,5 раза, то сбросы в водоемы – в 1,9 раза, водоемкость ВВП – в 1,8 раза. Интересы водопользователей, как правило, противоречивы. Объединяет их одно – все они изымают или загрязняют водные ресурсы, вносят пагубные изменения в экосистемы водных объектов.

Управление природопользованием, в т.ч. водопользованием в рамках стратегии устойчивого развития, должно способствовать стабильному экономическому росту, обеспечивающему сбалансированное развитие экономики, социальной сферы, сохранение и улучшение состояния окружающей природной среды. Выше, в п. 4.3, рассмотрена функционировавшая на время написания этой главы система управления в сфере природоохранной деятельности и водных ресурсов

на территории Вологодской области. Легко убедиться, что при таком сложном алгоритме взаимодействия управляющих и контролируемых систем комплексность природопользования еще долго будет рассматриваться как идеалистическая мечта, а не как насущная практическая необходимость.

В то же время следует отметить, что проектом «Экологической доктрины РФ», подготовленным группой экспертов Научного совета Российской академии наук по проблемам экологии и чрезвычайных ситуаций [130], заявлено, что реализация ее положений достигается за счет формирования единой системы государственного управления в области использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

При этом должен обеспечиваться междисциплинарный подход к решению комплексных экологических проблем, к числу которых, по нашему мнению, относится и проблема соблюдения экологической безопасности на водосборах оз. Кубенского и р. Сухоны.

Наряду с признанием необходимости создания государственной системы управления экологической безопасностью, среди основных этапов достижения цели заявлена оценка современного состояния и разработка возможных сценариев развития взаимодействия человека и природы, составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов экологической безопасности для определенных регионов и страны в целом, разработка планов действий в области рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности населения.

При этом система управления должна развиваться, становиться более совершенной. Развитие территориальных систем, к ним можно отнести водосбор р. Сухоны, – процесс многогранный, охватывающий множество аспектов, среди которых занимают важное место и проблемы природопользования, использования и сохранения водных ресурсов.

Рыночные механизмы в чистом виде, без активной роли государства, как показывает зарубежный опыт, не могут обеспечить решения проблем природопользования в направлении развития. Необходимость этого вмешательства тем больше, чем менее привлекательна для бизнеса сфера регулирования, или там, где достижение положительных результатов невозможно или очень осложнено без ответственного и авторитетного координатора процесса мониторинга и управления.

Не так давно народившийся слой российских капиталистов в основной своей массе не обращает должного внимания на кризисное состояние в сфере охраны окружающей среды и природопользования, нарастающее ухудшение экологической составляющей качества человеческой жизни. В этой связи характерно стремление передачи

предприятиями, имеющими градообразующий эффект, всей своей жилищно-коммунальной инфраструктурой муниципальным образованиям или субъекту Федерации. В условиях недостаточного финансирования это приводит к кризисным явлениям. Примером такого состояния может быть система жизнеобеспечения г. Сокола, расположенного вблизи истока р. Сухоны из оз. Кубенского. В свое время жилищно-коммунальное хозяйство города создавалось для обеспечения в основном работников Сокольского целлюлозно-бумажного комбината и Сокольского целлюлозно-бумажного завода. С началом перестройки градообразующие предприятия перестали содержать эту инфраструктуру, передав ее муниципалитету и в областную собственность. Расходы на эксплуатацию жилищного фонда финансируются на уровне чуть более 50%, на водоснабжение – около 32%, водоотведение – около 22%. Накопились огромные долги.

Объединенные очистные и канализационные сооружения, принадлежавшие ЦБК, в 1994 г. были переданы из областной в муниципальную собственность. С июля 1995 г. по декабрь 1999 г. они находились в пользовании ОАО «Сокольский ЦБК» без оформления договорных отношений. В конце 1999 г. эти сооружения, принимающие как бытовые, так и промышленные стоки почти всего города, были переданы комбинату в безвозмездное пользование. Какие-либо обязательства сторон относительно содержания и эксплуатации сооружений документально не зафиксированы. На таких же условиях, а вернее, без таковых, предприятием использовались водозаборные сооружения. С 2001 г. они были переданы организованному в 2000 г. муниципальному предприятию «Соколводоканал».

В настоящее время очистные сооружения переданы в аренду на 5 лет ОАО «Сокольский ЦБК», но этот договор пока не прошел государственную регистрацию. Следует отметить, что на долю ОАО приходится 41,5 тыс. т массы загрязняющих веществ в год, а на все остальные предприятия района – 41,8 тыс. т.

Затянувшаяся на ряд лет перестройка, смена собственников и институциональные изменения привели к экологически опасной ситуации, угрозе экологической безопасности населения. Очистные канализационные сооружения работают чрезвычайно плохо. Концентрации загрязняющих веществ, сбрасываемых из очистных сооружений в р. Пельшма, во много раз превышают допустимые концентрации, в результате чего эта красивейшая река, с площадью водосбора более 500 км², где еще в 70-х годах прошлого века жили раки и около 15 видов рыб, на протяжении более 20 км от устья стала сточной канавой, загрязняющей принимающую ее р. Сухону.

Питьевая вода, подаваемая населению города, не отвечает нормам как по химическому составу, так и по санитарно-гигиеническим характеристикам. Неблагоприятная экологическая обстановка и неблагоприятные социальные изменения обусловили рост у населения заболеваемости органов пищеварения, кровообращения. Показатели онкологической заболеваемости в г. Соколе занимают первое место в структуре смертности от злокачественных образований в области, значительно превышая среднероссийские показатели. Заболеваемость туберкулезом за последние 10 лет увеличилась почти в 1,5 раза. В 2001 г. резко возросла младенческая смертность, превысив показатель 1990 г. в 1,6 раза. Растет число дней нетрудоспособности среди взрослого населения.

Как отмечалось выше, в силу гидрологических и экономико-географических особенностей озеро и р. Сухона остаются на настоящий момент объектом сосредоточения определенных противоречий участников водохозяйственного комплекса. Антропогенное воздействие на водные ресурсы ставит проблемы сохранения их качества и использования в народном хозяйстве. Существует объективная необходимость рассмотрения объекта более высокой интеграции – биома, включающего в себя водоем вместе с водосборной площадью, что соответствует требованиям экосистемного принципа.

В настоящее время никто не знает пределов надежности озерной экосистемы, одним из результатов деятельности которой является качество воды (КВ), представляющее собой совокупность свойств, определяющих пригодность водных ресурсов для конкретных видов водопользования и условия существования водных экосистем [9]. При наличии хозяйственной деятельности на водосборе качество воды зависит как от ее естественной составляющей K_e , так и антропогенной K_a , т.е.

$$КВ = K_e + K_a \quad (4.4)$$

Различные водопользователи каждый по-своему влияют на изменение K_e во времени. Их суммарное воздействие, видимо, проявилось в ухудшении КВ озера, вызвавшем в 1993 г. решение Вологодского ГЦСН о переводе оз. Кубенского как источника водоснабжения из II класса в III класс в соответствии с ГОСТ 2761-84.

Составляющая K_e для озера подвержена и случайным колебаниям, и направленным изменениям в процессе естественной сукцессии водоема. В терминах теории случайных процессов это можно записать в виде:

$$K_e(t) = MK_e(t) + \sum k_{ei}f(t) \quad (4.5)$$

где $MK_{\epsilon}(t)$ – математическое ожидание случайной функции:

$k_{\epsilon} f(t)$ – элементарная случайная функция, отражающая одно или несколько свойств, определяющих качество воды, состоящая из случайной величины k_{ϵ} и неслучайной функции времени $f(t)$.

Для временных рядов $MK_{\epsilon}(t)$ можно получить, например, методом скользящего осреднения или сглаживания.

Антропогенная составляющая, по аналогии, может быть представлена, как

$$K_a(t) = MK_a(t) + \sum k_a \phi(t),$$

где $k_a \phi(t)$ – элементарная случайная функция, являющаяся в каждый момент времени характеристикой одной или нескольких антропогенных нагрузок и состоящая из случайной величины k_a и неслучайной функции времени $\phi(t)$.

В то же время качество можно трактовать с нескольких сторон. Так, например, с философской точки зрения качество – одна из важнейших категорий, связанная с сущностью объекта; определенность, являющаяся совокупностью всех существенных черт, придающих объекту относительную устойчивость и отличающих его от других объектов, или сходство с ними [108].

С потребительской и квалификационной позиций качество определяется не всеми свойствами объекта, их много, а лишь существенными технико-экономическими характеристиками и потребительскими свойствами.

Если рассматривать качество с точки зрения метрологии, то оно выступает как совокупность количественных значений различных частных признаков, от которых зависит соответствие этого объекта назначению [7].

Для воды это свойства или параметры, необходимые водопотребителям. В общем виде качество может быть представлено вектором свойств, каждая составляющая которого изменяется во времени. При этом изменения могут быть различной интенсивности и направленности.

В основу изучения могут быть положены естественные колебательные, в т.ч. сезонные, изменения, иногда имеющие квазициклический характер. На них накладываются односторонне направленные изменения в виде тренда на протяжении многолетнего периода, подобно изменению климатических характеристик под влиянием человеческой деятельности или процессу естественной сукцессии экосистемы.

Могут иметь место скачкообразные изменения тех или иных качеств, иногда приводящие к катастрофическим для экосистемы последствиям. Так, например, для техногенных акваторий, к которым

относятся водохранилища, изменения ряда абиотических параметров, в т.ч. и отражающих качество воды, могут происходить относительно быстро под влиянием человеческой деятельности по каким-то соображениям. Чрезмерная предпаводочная сработка уровня, например, объяснима необходимостью увеличения регулирующей емкости водохранилища, но для экосистемы, адаптированной к естественным условиям с весенним половодьем, это оборачивается неблагоприятными последствиями, особенно для весенне-нерестящихся рыб. Обсыхают места привычных нерестилищ, отшнуровываются мелководные понижения. Все это может приводить к гибели рыб, организмов бентоса.

Поскольку водохозяйственный комплекс водосбора озера формировался стихийно, каждый из его участников преследовал и преследует свои цели.

Если управление водными ресурсами, в количественном смысле, имеет длительную предысторию и развитый инструментарий, то управление качеством воды и экологическим состоянием водоемов и водосборов находится в стадии формирования. Одна из причин этого – отсутствие объективных методов комплексной оценки состояния водных объектов по совокупности гидрологических показателей. Оценки состояния гидробиоценоза по различным индексам зачастую не сопоставимы между собой.

В этой связи возникает множество затруднений в деле научного обеспечения принятия решений, в основе которых должен быть прогноз состояния и реакции системы на управляющие действия. Применительно к озеру Кубенскому можно говорить о влиянии водопользования на территории водосбора озера, о биотических факторах, характеризующих живую составляющую биогеоценоза; о факторах, отражающих антропогенное влияние непосредственно на гидрометеорологический режим водного тела озера.

Судоходство, как участник ВКХ, нуждается в обеспечении пропусков через гидроузел «Знаменитый» в летний период для поддержания судоходных глубин в Верхней Сухоне и на фарватере озерного участка водного пути.

Водоснабжению г. Вологды необходимы гарантированные уровни в районе водозабора в период летней и особенно зимней межени.

Воспроизводство рыбных ресурсов и рыболовство нуждается в поддержании наиболее благоприятного уровня и ледового режима в озере, сохранении или расширении нерестилищ, сохранении необходимого качества воды.

Имеет свои нужды и рекреация, роль которой будет возрастать.

Регулированию (управлению) поддаются далеко не все процессы, влияющие на качество водных ресурсов, поэтому очень важно использование возможности разделения каждого фактора на составляющие, постоянная диагностика, оценка и прогноз их показателей служили бы основанием для управленческих воздействий.

Возможности для ранжирования вкладов во влияние на состояние экосистемы, количественного формирования требований отдельных участников дает методика, изложенная выше (п. 3.6).

Факторы антропогенной нагрузки, учитывающие ее основные варианты как в явном, так и в опосредованном виде, делают достаточно выразительной картину степени экологической опасности того или иного загрязнителя для водных ресурсов озера Кубенского. В то же время пока остается открытым вопрос: как сказывается данный комплекс антропогенных воздействий на реальной экологической обстановке самого озера, поскольку процесс загрязнения происходит на фоне процессов естественного самоочищения природной системы?

Уровень самоочищающей способности неоднороден в различных частях водосбора в силу различий в ландшафтной и ландшафтно-геохимической структуре территории. При этом ионная (неорганическая) часть химического состава вод водотоков зависит от состава пород, слагающих их русла и из которых в них поступает грунтовая составляющая стока. Процессы самоочищения заключаются в переработке органического вещества и усвоении биогенных веществ живыми существами – биотой. Для водохранилищ, каким является озеро, гидрохимический режим определяется разнонаправленными процессами, совместный эффект которых различен в зависимости от стадии его развития. Различают три стадии: формирование, зрелость, старение. Озеро, видимо, вступило в период зрелости, что характеризуется стабилизацией процессов перестройки берегов и ложа, снижением выноса органических и взвешенных веществ, возможно и возрастание барьерной роли водохранилищ.

Главные биологические процессы, определяющие функционирование гидробиоценоза и процесс очищения воды, это:

– биохимическое окисление органических веществ до их полной минерализации в обогащенной кислородом воде, благодаря фотосинтезу растений;

– биосегментация взвесей с захоронением вредных загрязняющих веществ в донных отложениях.

Именно в озерах и водохранилищах, из-за замедленного водообмена и жизнедеятельности флоры и фауны, эти процессы приводят к заметному самоочищению поступающей в них воды.

В мелководных водоемах процессы минерализации ускоряются за счет постоянного ветрового перемешивания водной массы.

Биосегментация происходит в результате отцеживания мелких частиц взвеси бентосными организмами и планктоном и формирования частиц более крупного размера, с более значительной гидравлической крупностью, что обеспечивает им относительно быстрое оседание.

Моллюск дрейссена, фильтруя воду, выбрасывает не использованную в пищу взвесь, скрепляя ее слизью в комочки. Они служат субстратом для развития бактерий, гидролизующих органические вещества [58]. По данным экспериментов, скорость образования биосегментов зависит от температуры воды и размера моллюска, составляя от 0,1 до 8% его живого веса в сутки [18]. Очищение воды планктонными беспозвоночными еще эффективнее. Подтверждено расчетами, что весь объем Куйбышевского водохранилища (3,4 км³) профильтровывается зоопланктоном за 7–8 суток, а в урожайные для коловраток, каланойд и ветвистоусых рачков годы – всего за 4 суток [53].

Наибольшей интенсивностью самоочищения воды обладают погруженные макрофиты прибрежных биоценозов, обладающие наивысшей биопродуктивностью среди всех типов водных и наземных биоценозов умеренных широт [129]. Проходя сквозь густые заросли погруженной и полупогруженной растительности, вода почти полностью освобождается от аллохтонных органических и биогенных веществ. При этом важную роль играют эпифитные водоросли – обрастатели, которые живут на подводных стеблях и листьях макрофитов. Они извлекают биогенные вещества из воды и тканей макрофитов. В результате затенения и обилия зоопланктона в этих биоценозах подавлено развитие фитопланктона, что резко понижает вероятность «цветения» воды.

Установлено, что на поверхности рдестов накапливаются взвешенные вещества, масса которых может достигать 10–25% самих растений. Как экологическая особенность [126] отмечается, что в конце вегетации макрофитов накопленный в их тканях фосфор и другие биогенные вещества перемещаются в зимующие корневища, способствуя уменьшению регенерации этих веществ при разложении стеблей и листьев [18, 129]. В макрофитных водоемах не бывает интенсивного «цветения» воды. Экосистемы этих водоемов устойчивы к эвтрофикации и способны сохранять высокую прозрачность воды и хорошее ее качество [81].

Можно предположить, что для рассматриваемого региона диапазон изменения индекса загрязнения, вычисляемого по методике,

изложенной выше, в п. 3.6, адекватно отражает складывающуюся экологическую обстановку в бассейне озера Кубенского. По уровню нагрузки на качество вод озера предлагается выделить 4 градации индекса загрязнения (I_3):

а) опасный: I_3 равен 1,0 и более – уровень нагрузки от площадных загрязнителей, где показатели качества вод превышают ПДК в десятки раз в сочетании с опасно близким расположением загрязняющих объектов либо к озеру, либо к притокам, непосредственно в него впадающим;

б) критический: $1,0 > I_3 \geq 0,4$ – нагрузка от хозяйств с аналогичным воздействием на местные водотоки, но расположенных на водосборах притоков 2-го или 3-го порядков, в средней части бассейна озера;

в) значительный: I_3 в интервале от 0,26 до 0,42 – средние по мощности загрязнители, где показатели качества воды превышают ПДК в 2 – 3 раза; расположены на некотором удалении от непосредственных притоков озера;

г) допустимый: I_3 менее 0,25 – нагрузка от этих хозяйств, приводящая к эпизодическим превышениям ПДК по основным показателям качества вод, сглаживается значительным удалением как от озера, так и от транзитных потоков.

Проведенная таким образом экспертная оценка уровня антропогенной нагрузки на водные ресурсы со стороны сельскохозяйственного производства позволила достаточно объективно, основываясь на фактических характеристиках хозяйств и природных систем, ранжировать их по степени экологической напряженности и опасности для водных ресурсов озера Кубенского. В хозяйствах, где складывается особо неблагоприятная экологическая ситуация (опасная и критическая), в первую очередь необходимы природоохранные работы.

Методика обладает прогнозными возможностями. Для каждого землепользователя можно вычислить составляющие индекса загрязнения с учетом внедрения природоохранных мероприятий, изменения доз применения удобрений и пестицидов.

Как было показано выше (п. 4.2), наиболее полно проблемы экологического мониторинга в его комплексном понимании, т.е. с охватом основных абиотических и биологических параметров биогеоценоза водосбора озера или реки и включением всех его звеньев, возможно решить с помощью математического моделирования функционирования биогеоценоза с включением в модель процесса показателей антропогенной нагрузки и экономических факторов работы водопользователей. При этом должны быть обеспечены: сбор и анализ

существующей (ретроспективной) информации; организация наблюдательной сети и производство наблюдений; обработка и анализ полученной информации; ведение банка данных, прогнозирование ситуации и отслеживание результатов управляющих воздействий. Однако, к сожалению, этот путь осложнен как необходимостью крупных вложений и затрат времени, так и индивидуальными особенностями каждого из объектов моделирования.

К тому же комплексность природопользования еще долго будет рассматриваться как мечта, а не насущная практическая необходимость, и нужно, на наш взгляд, стараться максимально использовать накопленную за годы активных натурных измерений информацию и аналитические разработки по отдельным направлениям и параметрам гидрологического и гидрохимического режима, состояния биоты водотоков и водоемов.

Уже сейчас имеется возможность использования ряда разработок различных авторов и ведомств для осуществления главной составляющей мониторинга – прогнозирования пока что только некоторых параметров. Перечислим их в порядке готовности к практическому применению:

1. В принципе в п. 4.4 показана возможность прогноза водности зимней межени оз. Кубенского и уровня в районе водозабора для г. Вологды. Используя уравнения (4.1) и (4.2) в декабре прошлого или январе текущего года, по данным об объеме озера на дату выпуска прогноза и величине притока в озеро по р. Кубена можно вычислить минимальные уровни воды озера, минимальные расходы в верховье р. Сухоны и уровни в створах водозабора г. Сокола.

2. Регулярно, в ходе эксплуатации гидроузла №7 Северо-Двинской водной системы, производится предвычисление и регулирование уровней воды в створах р. Сухоны, лимитирующих судоходство [34]. При этом учитывается режим сработки озера и боковой приток по длине реки вплоть до г. Тотьмы.

3. Для района г. Великий Устюг имеется многолетний опыт прогнозирования водности, расходов и уровней весеннего половодья р. Сухоны по методике Гидрометслужбы [63] с учетом заторной составляющей.

4. На основе данных о температурном режиме и режиме сработки озера по зависимостям, приведенным в п. 4.4, можно давать прогноз ежегодного пополнения популяции леща на четыре года вперед. Для уточнения этих расчетов следует продолжить наблюдения Вологодской лаборатории ГосНИОРХ за весовым и возрастным составом стада леща.

5. По методике, рассмотренной в п. 3.6, на основе информации о водопользователях, возможны оценка вклада каждого из них в загрязнение водных ресурсов и прогноз изменения величины этого вклада с учетом воздействия на факторы, его обуславливающие.

6. В целях вовлечения в научный и управленческий оборот данных многолетних наблюдений за химическим составом поверхностных вод предлагается выполнить обобщение результатов анализов в виде многолетних кривых внутригодового распределения гидрохимических параметров и в зависимости от расхода (уровня) водотока или водоема в створе отбора и на дату отбора проб воды. Пример такого обобщения, выполненного нами для р. Кубена, приведен в п. 3.3. Подобная обработка данных позволит оперативно оценивать получаемые при анализах величины, их отклонения от многолетних кривых связи с параметрами водности, что поможет в выяснении причин этих отклонений. Получат вероятностную оценку и так называемые фоновые характеристики.

7. В настоящее время учеными кафедры гидрологии географического факультета МГУ под руководством профессора, д.г.н. Н.И. Алексеевского проводятся исследования ледотермического, гидрологического режима и русловых процессов рр. Сухоны и Малой Северной Двины. Цель исследования – обоснование противопаводковой защиты г. Великий Устюг. Обобщены гидрологические наблюдения по р. Сухоне и ее водосбору, адаптирована к имеющимся условиям модель формирования стока талых вод и перемещения его по русловой сети, выполненная Гидрометцентром России с учетом особенностей бассейнов рр. Сухоны и Юга. Подготовлены для реализации модели движения пойменно-руслового потока и затопления местности в периоды выхода воды за пределы меженного русла. Создание на этой основе (с учетом результатов ландшафтно-ботанических исследований пойменной растительности, полученных с целью обоснования частоты и длительности периодов затопления участков поймы) карты уже сейчас могут быть использованы для вычисления площадей затопления, характера и величины ущерба при том или ином развитии половодья с определением вероятности этих событий [45]. Необходима эта информация и для создания генерального плана города, корректировки планов застройки.

8. В одной из работ Института «Вологдаинжпроект» в 2001 г. выполнена попытка расчета концентраций загрязняющих веществ в оз. Кубенском с построением карт изолиний концентраций с помощью программного комплекса «Зеркало» [89]. При создании системы поддержки принятия решений по водосбору озера этот опыт может быть использован как для расчетов, так и для прогноза гидрохимической ситуации на акватории.

9. Известно, что для водоемов олиготрофной или мезотрофной стадии, к которым принадлежит оз. Кубенское, в начальной стадии эвтрофирования под антропогенным воздействием его влияние может быть оценено положительно, поскольку с увеличением поступления питательных веществ начинается рост большинства населяющих водоем сообществ. Но, как правило, рост продуктивности рыбной популяции идет за счет преобладающего развития малоценных видов, а прирост ценных рыб, таких, как, например, лососевые, – сокращается. К тому же при развитии эвтрофирования ухудшается товарное качество промысловых рыб. Из-за развития заморных явлений может наступить омертвление водоема [65]. В этой связи процесс эвтрофирования должен всесторонне отслеживаться с выяснением основных влияющих на него факторов и возможности воздействовать на него с целью предотвращения негативных, с точки зрения человека, явлений. На начальном этапе такого мониторинга могут быть использованы известные [131] простые эмпирические зависимости по лимитирующему биогенному элементу и по времени водообмена в водоеме. В качестве лимитирующего элемента чаще всего принимают фосфор. Широкое распространение получила модель Волленвейдера в виде:

$$C_p = \frac{P}{1 + \tau \epsilon},$$

где C_p – концентрация фосфора в водоеме, мг/л;
 τ – время водообмена, равное V/W ;
 W – годовой приток;
 V – полезный объем водохранилища;
 P – нагрузка по фосфору на единицу площади зеркала водоема, г/м² год;
 ϵ – параметр, определяемый методом наименьших квадратов по эмпирическим данным для каждого водоема или принимаемый по аналогии; зачастую его принимают равным 0,5.

В этой упрощенной точечной модели концентрации биогенного вещества осредняются как по объему водоема, так и по времени в разрезе года.

Управляющее воздействие на процесс эвтрофирования возможно осуществлять через снижение поступления биогенных веществ в гидрографическую сеть и водоем, а также, в случае водохранилищ, увеличением глубины регулирования, созданием зон развития макрофитов.

10. Существующая программа отбора проб органами СЭН, экологии, гидрометеорологии непосредственно из водоемов и водотоков

дает в год от 4 до 12 проб в точке. При обобщении этих данных приходится оперировать фазово-разнородными величинами и по стоку, и по гидрохимии, поскольку все эти характеристики закономерно изменяются от сезона к сезону.

Предлагается представить внутригодовое распределение концентраций химических веществ в воде водных объектов не только в виде хронологического хода по дням, месяцам и сезонам, но и в виде кривых продолжительности стояния или обеспеченности среднесуточных величин, аппроксимируемых трехпараметрическим гамма-распределением или распределением Пуассона.

Используя зависимости между концентрацией C_{ϕ} химических веществ и расходами стока Q (или характеристиками объема водоема), аппроксимируемыми в виде: $C_{\phi} = aQ^a$ можно, при наличии относительно длительного ряда наблюдений за Q , выполнить процедуру приведения к многолетнему периоду [86] параметров кривых распределения концентраций C_{ϕ} . Ординаты этих кривых дают возможность получить объективную оценку вероятности превышения в течение среднего для многолетия года той или иной концентрации, а также оценку длительности того периода внутри года, когда концентрация данного химического вещества превышает или ниже той или иной величины, например ПДК.

В качестве примера приведены (табл. 4.7) ординаты многолетних кривых внутригодового распределения расходов воды и концентраций химических веществ, вычисленные при исследовании экологической ситуации на водосборе оз. Кубенского [87]. Использованы данные наблюдений Гидрометслужбы в створе р. Кубена у с. Троице-Енальское.

Таблица 4.7

Ординаты среднемноголетних кривых распределения среднесуточных расходов воды р. Кубена у с. Троице-Енальское и гидрохимических характеристик у д. Кубенское

Параметр	Обеспеченность, %							
	1	5	10	25	50	75	90	95
Q	154	73,8	47,9	21,5	7,7	2,3	0,6	0,3
SOS	435	337	291	224	162	113	78,3	61,9
Cl	22,3	12,9	9,5	5,6	2,9	1,5	0,7	0,5
SO	60,0	44,0	37,3	28,0	20,3	14,6	10,8	9,1
NO	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,04	0,01	0,008
VV	25,3	17,5	14,0	9,3	5,4	2,8	1,4	0,8
ВРК	7,6	4,6	3,4	2,1	1,2	0,6	0,3	0,2

Здесь приняты следующие обозначения: Q – расход воды среднесуточный, м³/с; ВРК – БПК₅, мг/л; SOS – общая минерализация, мг/л; Cl – хлориды, мг/л; SO – сульфаты, мг/л; NO – азот натриевый, мг/л; VV – взвешенные вещества, мг/л.

Отметив на этой таблице, например, величину ПДК для каждого из загрязнителей, можно получить объективную картину вероятности ее превышения в течение среднего для многолетия года.

Если период наблюдений невелик и не позволяет получить оценки параметров распределения того или иного признака с необходимой точностью, то иногда применяется процедура улучшения оценок параметров распределения путем их приведения к многолетнему периоду. Для рядов концентрации химических веществ часто имеет смысл использовать в этих целях более длительные ряды наблюдений за расходом воды, применяя методику [86], упоминавшуюся выше.

При организации мониторинга загрязнения водотоков кривые внутригодового распределения концентраций могут служить в качестве прогнозируемых функций распределения тех или иных гидрохимических характеристик или входа в стохастические модели процессов загрязнения или самоочищения водотоков. Подобные зависимости возможны и между отдельными гидрохимическими характеристиками. Их использование могло бы иметь место для контроля за грубыми ошибками при лабораторной обработке анализируемых проб воды.

В створах, где имеются многолетние комплексные данные по гидрохимии и стоку, есть смысл построения помесячных или сезонных кривых распределения гидрохимических характеристик и установления их связи со стоком. При таком подходе основное внимание будет сосредоточено на лимитирующих по качеству воды периодах и позволит избежать отрицательного влияния на тесноту связей несоответствий внутригодового хода стока, концентраций тех или иных веществ и режима отбора проб. Эти зависимости являются вероятностной характеристикой данного створа по каждому из ингредиентов растворенного стока. Существенные отклонения от них будут служить сигналом каких-то нарушений условий формирования этого стока или изменения режима антропогенного загрязнения.

11. Довольно часто за последние годы в Вологде возникают проблемы с водозабором. В период глубокой зимней межени естественный сток р. Вологды не может удовлетворить потребности города. Для решения вопроса задействуют водозабор из оз. Кубенского. Однако и этот вариант, из-за недоучета при проектировании особенностей уровня режима юго-восточной части озера и конструктивных особенностей водоподводящего тракта, не всегда представляется надежным.

Для снятия элемента неожиданности можно предложить разработку прогнозных методик на различные сроки предвычисления. В 1992 г. автором совместно с к.г.н. А.В. Белым были разработаны прогнозные зависимости, позволяющие в начале января оценить возможные

величины минимального зимнего расхода в истоке р. Сухоны и минимального уровня озера на водомерном посту Коробово, минимального расхода р. Сухоны в створах шлюза «Знаменитый» и водозабора г. Сокола.

Проверка зависимости (4.1) на двадцатилетнем ряде наблюдений дала среднюю ошибку ± 9 см при максимальной 21 см. Прогнозный уровень, вычисленный в январе 1992 г. в соответствии с заданием Комиссии по чрезвычайным ситуациям, созданной при областном комитете экологии, составил 107,75 м. Фактический минимальный уровень наблюдался на в/п Коробово 1 февраля 1993 г. и составил 107,80 м.

Зависимость для прогноза минимального зимнего расхода р. Сухоны в створе в/п Рабаньга получена в виде (4.2).

Теснота зависимости оценивается величиной коэффициента множественной корреляции $r > 0,9$.

При индексе притока, принятом по аналогии с маловодными 1972 и 1973 гг., в январе 1993 г. вычислена прогнозная величина минимального меженного расхода около $16 \text{ м}^3/\text{с}$. Фактический минимальный расход за межень в створе в/п Рабаньга составил $15,6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Подобные зависимости, уточненные на более полном материале, могут служить для предвычисления гидрологической ситуации на водозаборе и р. Сухоне.

Ледовый режим озера играет не последнюю роль в формировании условий перезимовки гидроценозов. Для расчета максимальной толщины льда можно использовать эмпирическую формулу, разработанную на основе данных многолетних наблюдений на озерах Кубенском, Воже, Белом. По озеру Кубенскому, в частности, использованы наблюдения на в/п Коробово.

Формула имеет вид:

$$h = 1,9 \sqrt{\Sigma(-t^\circ) - 40},$$

где h – толщина льда, см;

$\Sigma(-t^\circ)$ – сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха на высоте 2 м.

Кривая $h=f(\Sigma(-t^\circ))$ выходит из точки с координатами $h=0$, $\Sigma(-t^\circ) = -40^\circ$, поскольку устойчивый ледостав образуется не сразу после даты перехода среднесуточной температуры через 0° , а в расчет принимались максимальные величины толщины льда.

4.6. Развитие информационного обеспечения принятия решений

Воздействия человеческой деятельности на природу, в том числе на водные ресурсы, в настоящее время проявляются, как правило, локально, но на фоне отдельных точек экологической деградации обнаруживаются и глобальные тенденции, опасные для биосферы в целом. Острые экологические проблемы возникают прежде всего в местах чрезмерной концентрации производств с отсталой ресурсоемкой технологией и перегруженностью очистных сооружений или там, где существуют предпосылки повышенной чувствительности природных систем к антропогенным воздействиям. Для водосбора р. Сухоны, включая бассейн оз. Кубенского, имеют место обе причины. Если превращение р. Пельшма в сточную канаву или чрезмерное загрязнение вод р. Вологды ниже г. Вологды – проявление первой причины, то процесс эвтрофирования водоемов и его антропогенное ускорение, а также деградация экосистем малых северных рек – пример проявления второй. В этой связи актуальным становится стремление к замене неизбежного стихийного преобразования рек и озер продуманной реконструкцией водных объектов с элементами минимально возможного, щадящего воздействия на них для защиты общества от опасных явлений, а природной среды – от антропогенной деградации.

В этих целях важно вовлечение в научный оборот всей информации, накопленной за годы активных натурных измерений. Без применения электронной вычислительной техники и при существующей практике отсутствия регулярных изданий типа ежегодников, собираемые различными ведомствами и организациями данные представляют собой груды бумаг, годами не востребуемых ни для исследований, ни для обоснования управленческих решений. Материалы подразделений проектно-изыскательных организаций, отчеты по хозяйственным и бюджетным работам научно-исследовательских институтов и лабораторий содержат не только весьма информативные данные наблюдений и измерений, но и результаты исследований специалистов высокой квалификации.

Изучение этой информации, ее осмысливание с современных позиций комплексного исследования окружающей природной среды и водных ресурсов является элементом процесса познания, позволяющим получить новые знания. Применение вычислительной техники и современных геоинформационных технологий дает широкие возможности предоставления информации в удобном для исследования виде, прослеживания динамики различных параметров во времени и пространстве, поиска взаимосвязи между различными обуславливающими жизнедеятельность экосистем процессами.

Материалы топографических съемок для проектирования и строительства различных объектов, батиметрических съемок водоемов,

водотоков и их частей, результаты нивелировок урезов воды, участков и поперечников на гидрографической сети, данные краткосрочных ведомственных гидрологических и гидрохимических наблюдений, данные о биопродуктивности и биоразнообразии экосистем, а также полученные в процессе обобщения изыскательских материалов зависимости представляют собой овеществленные результаты огромного интеллектуального труда. К сожалению, до сих пор большинство результатов таких работ и исследований разрознены и, как правило, мало согласованы между собой. Зачастую даже результаты химических анализов проб воды, как природной так и сточной, выполненных разными ведомствами (например, Санэпиднадзором и Гидрометслужбой), имеют существенные статистически значимые различия даже в средних величинах.

Поскольку геоинформационные технологии играют ведущую роль в процессе активации информационных ресурсов, позволяют переводить огромные их массивы в машинообрабатываемую форму, дают возможность визуализировать введенные данные, выполнять обобщения, сравнения и другие этапы исследовательских и управленческих процессов, именно они должны быть положены в основу инструментария создания и функционирования бассейновых систем поддержки принятия решений по вопросам использования и качества водных ресурсов.

В то же время в упомянутом выше документе [72], определяющем цели и задачи государственной политики в области развития науки и технологий, среди девяти приоритетных направлений указаны информационно-телекоммуникационные технологии, а также экология и рациональное природопользование. Экология в настоящее время становится всеобъемлющим воззрением на исследование всех фундаментальных закономерностей, касающихся жизни и окружающей природной среды. По мнению В.И. Данилова-Данильяна, «в современном понимании экология – это не частная научная дисциплина, а проблемно-ориентированный междисциплинарный комплекс знаний, развитие которого объективно требует вовлечения и использования разнообразных научных и технических дисциплин» [31].

Основная цель государственной политики в области взаимодействия человека и природы [130] – обеспечение эффективного развития общества на основе рационального неистощительного природопользования, достижение экологической безопасности страны, улучшение качества жизни и здоровья населения – не может быть достигнута без компетентного управления, учитывающего экологическую емкость экосистем и их способность к саморегуляции. Управление одной из составляющих природопользования – водопользованием – в каждом случае, для каждого значительного водосбора должно опираться на теоретическую

базу, естественной несущей конструкцией которой должен быть здравый смысл с правильным пониманием роли науки и принцип получения возможного максимума информации в целях принятия решений на водосборе на основе имеющегося ограниченного материала. Реальная жизнь требует достижения разумного компромисса между желаемой полнотой и точностью используемых моделей, их сложностью и имеющейся для этого доступной информацией. Конкретный вариант подобного подхода был рассмотрен выше (п. 4.5).

В этой связи существенное значение приобретают степень и характер институционализации в водопользовании, а также наличие субъектов, неудовлетворенных ими или заинтересованных в преодолении недостатков в этой сфере. Следует отметить, что, несмотря на известные недостатки (см. п. 4.3), государственные органы управления водным хозяйством представляются пока наиболее совершенными структурами, которые могли бы обеспечить оптимальное использование и охрану водных ресурсов. Задача ученых и государства – разработка стратегии использования территории и природных ресурсов, в т.ч. и воды.

Районные стратегии, по определению, не в состоянии быть инструментом управления потенциалом всех районов, расположенных на водосборе. Для этого нужен надрайонный уровень планирования и управления, способный направить усилия районов, муниципальных образований и отдельных водопользователей в общее русло. Основным звеном управления должен стать бассейн реки – единый географический район, в рамках которого осуществляется комплексное использование водных ресурсов и можно определить взаимосвязь между водными, социальными, экономическими и экологическими факторами.

В соответствии с исследованиями [71] в основу социально-экономического развития территорий Северо-Запада России может быть положено несколько основных идеологий:

– Концепция поляризованного развития, называемая иногда концепцией кластеров. Ее основа – полюса и точки роста, развитие которых стимулирует рост производства на других предприятиях отрасли. Лидирующие отрасли порождают объединения дополняющих друг друга видов деятельности.

– Концепция нового индустриального района, когда близкое территориальное расположение предприятий способствует снижению издержек производства и экономическому росту.

– Инновационная концепция, связывающая экономический рост в регионе с проведением инновационной политики, т.е. осуществлением мер по поддержке разработки и внедрения нововведений.

Для нашей области, видимо, подходит концепция точек экономического роста в комбинации с инновационной составляющей.

В этой связи выявление конкурентных преимуществ различных производителей требует количественных оценок, в т.ч. и затрат на природопользование. Можно согласиться с [71], что сейчас необходимых для этого условий – надежной статистической информации, системы индикаторов, доступных банков данных и возможности обмена информацией – фактически не существует.

В практике различных государств оценка социального, экономического и экологического состояния территорий определяется с помощью системы индикаторов, подобной примененной выше для оценки степени влияния природопользователей на водные ресурсы (п. 3.6). Только показатели подразделяются на характеризующие качество жизни населения, в т.ч. и состояние окружающей природной среды, и уровень хозяйственного развития. Интегральный индикатор определяется с использованием процедуры взвешивания исходных показателей. При этом коэффициенты взвешивания могут нести на себе нагрузку выделения приоритетов государства в данный момент.

Создание системы поддержки принятия решений (СППР) водосбора должно иметь главной целью разработку концептуальной основы принятия научно обоснованных решений и постоянно обновляемое их информационное обеспечение в сфере, определяющей экологическое состояние водных объектов, подразумевая создание и использование возможностей моделирования как естественного их состояния, так и результатов осуществления различных сценариев антропогенного воздействия на них.

Содержание системы зависит от целевой установки. Следовательно, она должна содержать математические модели, дающие возможность прогнозировать параметры наиболее важных процессов или состояния и базы данных в совокупности со способами получения и передачи информации, нормативными и методическими материалами.

Основные функции системы принятия решений по проблемам на уровне природопользования водосбора можно свести к следующему [82]:

- определение приоритетов в природопользовании, строительстве, разработке новых проектов;
- контроль за состоянием природной среды и природных ресурсов, имеющихся на водосборе, выявление экологически напряженных зон;
- выбор вариантов по улучшению экологической обстановки на водосборе (улучшение качества воды и воздуха, регулирование системы водопотребления и водоотведения, санитарно-эпидемиологической ситуации, сельскохозяйственной и лесомелиораций);

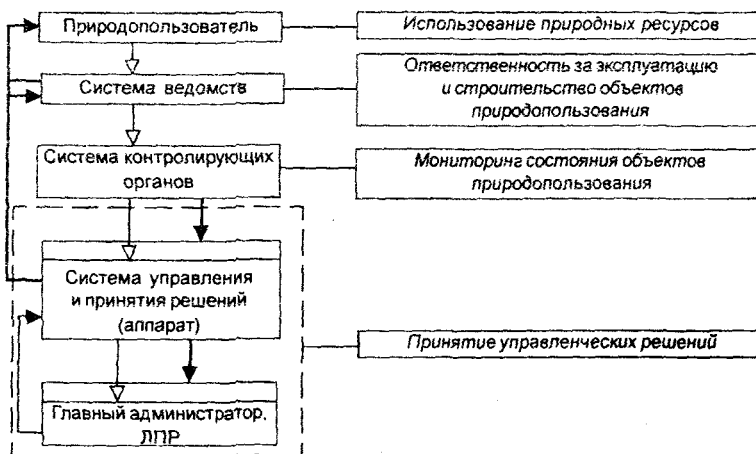
– осуществление контроля за состоянием окружающей среды и принятие мер по обеспечению экологической безопасности населения;

– поддержание системы в рабочем состоянии.

Среди основных проблем, с которыми сталкиваются органы и лица, принимающие решения, выделим следующие:

- недостаток конкретной информации, ее разнородность и рыхлость;
- низкую оперативность информации;
- недостаточную экологическую и гидрологическую грамотность;
- отсутствие или несовершенство централизованных информационных потоков;
- ведомственную разобщенность, эгоизм, лоббирование узковедомственных интересов;
- отсутствие единой концепции рационального ресурсоприродопользования, а также методики оценки современного экологического состояния, выделения экологически напряженных зон и обоснования экологического риска.

В общем виде структура взаимоотношений между субъектами системы природопользования и органами управления представлена на рис. 4.4.



Примечание: ∇ Направление информационных потоков.
 \blacktriangleright Управленческие решения.

Рис. 4.4. Структура взаимоотношений и функций субъектов, систем природопользования и органов управления

В настоящее время в развитии муниципальных, региональных и локальных информационных систем наметилась тенденция перехода к созданию тематически ориентированных, концептуально обоснованных под решение конкретных задач. Структура их баз данных адаптируется под то или иное направление, информация оптимизируется по принципу достоверности и минимальной достаточности. Для решения управленческих проблем, связанных с водными ресурсами, удачной представляется схема, опубликованная в [44] и приведенная на рис. 4.5.

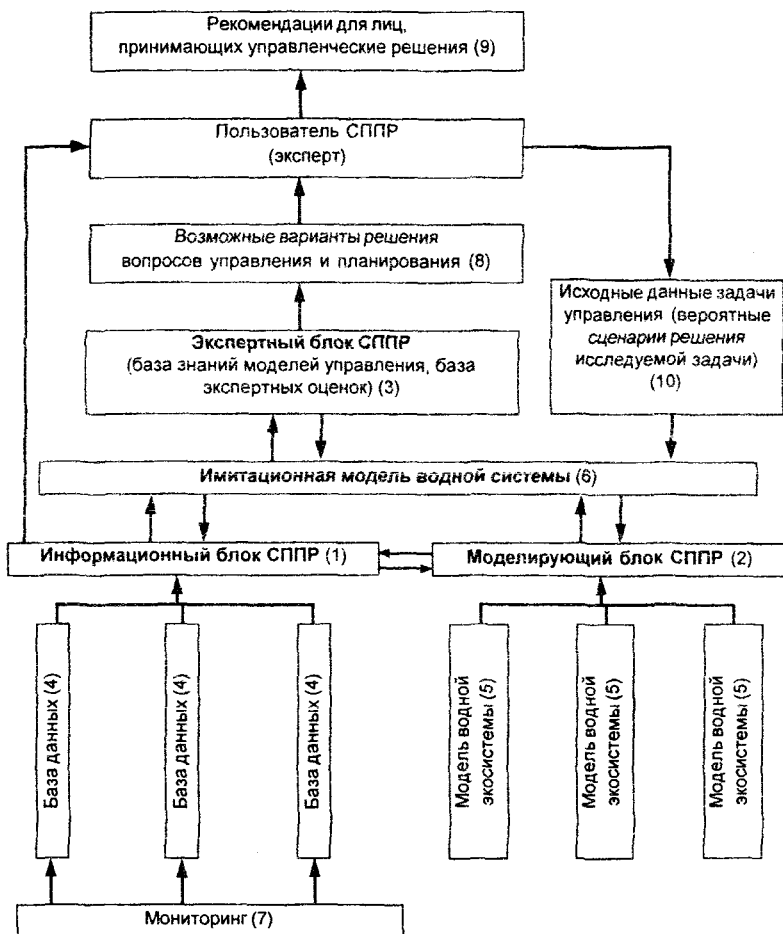


Рис. 4.5. Укрупненная схема СППР

Три основных блока системы – информационный (1), моделирующий (2) и экспертный (3) – представляют собой базы данных, в которых содержится вся имеющаяся информация о каждом объекте водосбора, и базы знаний, состоящие из математических моделей водных систем или их элементов.

При этом в экспертный блок (3) включена база знаний моделей управления, база документов по регламентации водопользования, результаты прогнозов при различных сценариях развития ситуации.

Общая программная оболочка (6) должна давать возможность пользоваться каждой базой данных, любой моделью или любой их совокупностью. Важным является открытость всех баз данных и базы знаний для корректировки и пополнения имеющейся в них информации, при использовании данных мониторинга (7) и других источников.

Структура процедуры выбора решения с использованием СППР приведена на рис. 4.6.

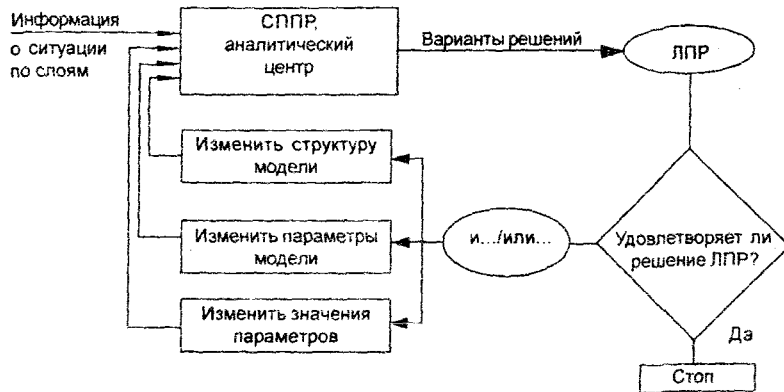


Рис. 4.6. Структура процедуры выбора решения с использованием СППР

Поскольку выбор действий зависит от ЛПР, процесс обоснования решения может быть сведен к деловой игре в рамках какого-либо сценария развития системы, что позволяет глубже исследовать систему, предвидеть последствия тех или иных воздействий на нее и отдельные ее составляющие.

Совершенствование системы поддержки принятия решений в области природопользования и водопользования, в частности, сводится к трем основным направлениям:

- 1) обеспечению оперативной, достоверной и всеобъемлющей информацией по решаемым проблемам;
- 2) контролю за динамикой состояния и качества природной среды и за работой систем ресурсоприродопользования;

3) обеспечению лиц, принимающих решения, касающиеся природопользования, научно обоснованными концепциями управления качеством природной среды гидроэкосистем и на водосборе в целом.

Задачи управления и планирования, решение которых можно было бы получить с применением СППР, имеют конкретные формулировки для каждого водосбора, и их классификация может быть проведена по целому ряду критериев и признаков. Применим классификацию, предложенную в [44], к конкретному бассейну р. Сухоны, включая водосбор оз. Кубенского и само озеро:

1. Задачи управления водными ресурсами бассейна в зависимости от временного масштаба управленческих действий и времени выработки управленческих решений.

1.1. Долгосрочное (стратегическое) управление.

1.2. Оперативное (текущее) управление.

1.3. Управление в условиях чрезвычайных гидроэкологических ситуаций (ЧГС).

2. Управление в зависимости от характера поставленной задачи.

2.1. Задачи, связанные с гидрологическими и гидродинамическими характеристиками рассматриваемой водной системы.

2.2. Вопросы качества воды.

2.3. Задачи, связанные с экономическими и социально-экономическими проблемами водопользования.

2.4. Задачи, связанные с управлением водоохранной деятельностью.

К первым (1.1) можно отнести решения, принимаемые на государственном уровне в долговременной перспективе. Это разработка программ размещения производительных сил и развития регионов, регулирование потоков переселенцев и свободной рабочей силы. На этой основе могут приниматься важные решения по инвестированию отдельных регионов с целью поддержки мероприятий по управлению водными ресурсами на водосборе: например, строительства новых гидротехнических систем и сооружений, реконструкции или капитального ремонта имеющейся инфраструктуры, переноса или ликвидации зданий и сооружений в зонах возможного затопления.

Важными мерами являются проектирование и реализация в натуре водоохранных зон и прибрежных полос.

Систему действий, осуществляемых в относительно сжатые сроки (1.2), можно отнести к превентивным управленческим решениям. Они должны приниматься на основе долгосрочных и среднесрочных прогнозов общего состояния или отдельных параметров водных систем или объектов. Они могут включать решения по изменению режима работы

гидротехнических сооружений, прекращении или возобновлении дноуглубительных работ в руслах рек и на акваториях водоемов и другой хозяйственной деятельности.

В случаях возможных наводнений к подобным мерам могут быть отнесены решения по укреплению зданий и сооружений в прогнозируемой зоне затопления, о создании и подготовке личного состава специальных команд для ликвидации последствий наводнения, создании резервов продуктов питания и предметов первой необходимости, материальной и организационной подготовке мер по борьбе с ледовыми заторами.

К чрезвычайным управленческим решениям, принимаемым на основе краткосрочных прогнозов или оперативной информации о неблагоприятных явлениях на водотоках и водоемах бассейна, влияющих на количественные и качественные характеристики водных ресурсов, могут быть отнесены срочные меры по обеспечению работы водозаборов для централизованного водоснабжения, определенные действия по пропуску льда для предотвращения заторных явлений во время весенних половодий; сюда же можно отнести срочное оповещение населения, его эвакуацию из опасной зоны, принятие экстренных мер по спасению от разрушения зданий, сооружений, коммуникаций.

Конечно, перечисленные критерии и признаки могут характеризовать одновременно целый ряд задач. Так, например, в плане долгосрочного (стратегического) управления можно рассматривать задачи управления в чрезвычайных ситуациях в виде разработки сценариев действий при разных уровнях затопления или попадания в водные объекты загрязняющих веществ в результате аварий на переходах продуктопроводов через звенья гидрографической сети. Более того, реальные задачи управления чаще всего являются комплексными, включающими в себя целый ряд требующих решения проблем с разными масштабами времени и целым спектром характеристик.

Попробуем дать краткий перечень проблем, в зависимости от поставленной задачи (п. 2 проведенной выше классификации), решению которых могло бы способствовать применение СППР:

2.1. Задачи, связанные с гидрологическими и гидродинамическими характеристиками.

2.1.1. Режим водозабора для водоснабжения г. Вологды из поверхностных источников: рр. Вологды, Тошни и оз. Кубенского.

В распоряжении пользователя СППР по этой проблеме должна быть следующая информация:

– картографический материал размещения водозаборов;

- многолетние гидрологические характеристики водоисточников в створах водозаборов, особенно для лимитирующих периодов;
- оперативные данные наблюдений за уровнями и расходами, толщиной льда на озере;
- методика прогноза водности и уровня режима для лимитирующего периода, позволяющая уточнять результат во время прогнозного периода.

2.1.2. Затопление и подтопление территории г. Вологды.

Система должна содержать карты затопления при различных уровнях воды, давать возможности расчета площадей и глубины затопления, площадей подтопления близлежащих территорий и фундаментов строений. На основе заранее построенных кривых частоты и площади затопления можно было бы судить о риске, его вероятности, величине ущерба.

2.1.3. Задачи, связанные с состоянием водозаборов и водопроводных сетей.

В системе следует иметь карту водозаборов, магистральных трубопроводов, распределительной сети. Может быть помещена визуальная обновляемая информация, позволяющая судить о состоянии основных узлов водозаборов, арматуры. Модель потерь напора по длине сети при различных режимах, данные о фактическом водопотреблении в различных районах города совместно с оперативной информацией могли бы способствовать более обоснованному принятию управленческих решений в сфере водораспределения. Полезна оперативная карта состояния всего хозяйства водоснабжения в реальном времени.

2.1.4. Целый узел проблем как долгосрочного и оперативного, так и связанного с чрезвычайными ситуациями управления локализован на участках рр. Сухоны, Юга и Малой Северной Двины в районе расположения г. Великий Устюг.

Как было сказано выше (п. 4.1), на этой части бассейна в результате заторных явлений во время весеннего половодья, на нашей памяти, произошло несколько случаев затопления селитебных и промышленных территорий, ущерб от которых растет по мере освоения этих площадей. Это говорит о необходимости особого внимания к вопросам регулирования хозяйственной деятельности на паводкоопасных территориях, что является основным и наиболее эффективным направлением действий по снижению рисков и экологических ущербов от затопления.

Инструментарий системы поддержки принятия решений должен позволять разрабатывать и поддерживать реальную систему планирования конкретных, научно обоснованных инженерно-технических мероприятий при разных сценариях развития событий. Дело

осложняется тем, что заторы происходят в различных местах гидрографической сети, при различных предшествующих условиях и динамике развития и прохождения половодья.

Необходимы оперативно обновляемые электронные карты застройки жилыми и производственными зданиями и сооружениями пойменных территорий, имеющих для г. Великий Устюг сложную морфологию, отличающуюся множеством грив, гряд, бывших стариц, меандров, протоков [52]. На карте должно найти отражение положение гидротехнических сооружений и постоянно актуализироваться база данных об их состоянии. Следовало бы обобщить многолетние данные о пропускной способности перекатов по материалам русловых съемок, проводившихся для целей дноуглубления. Сеть гидromетстанций и постов, а также программа их работы должны быть адаптированы для получения информации, необходимой для выпуска и последующего уточнения прогнозов уровня режима по длине потенциальных участков затопления.

База знаний по этим участкам должна содержать разработанную технологию реагирования на те или иные результаты прогноза.

Кроме того, необходима методика оценки последствий наводнений и возможность оперативно ее использовать, соотносить результаты расчетов с экономическими показателями пострадавших территорий, поскольку зоны чрезвычайных событий (ЧС) выявляются по критериям экономического ущерба. От этого зависит принятие решения об оказании материальной помощи. Следует отметить, что, по материалам службы МЧС, основные усилия при ЧС прилагаются к обеспечению безопасности населения. Спасение попавших в бедственное положение, как правило, выполняется успешно. Однако превентивные меры предпринимаются зачастую в недостаточном объеме, что диктует необходимость их подробной разработки, актуализации и доведения до местной администрации и населения.

Наличие такого инструментария позволит органам управления с достаточной точностью оценивать роль весенних половодий как фактора, влияющего на социально-экономическое развитие территорий.

2.2.2. Вопросы качества воды водотоков и водоемов.

Как отмечалось выше, неорганическая часть химического стока рек в соответствующих условиях определяется составом подстилающих пород бассейна. Органическая составляющая формируется преимущественно поверхностным стоком. Специфические элементы неорганической составляющей (ионы тяжелых металлов) в естественных условиях поступают в речную воду на уровне фоновых концентраций. Состав антропогенных загрязнений зависит от источников их

поступлений. Изменение качества воды под влиянием самоочищения происходит под действием трех ведущих процессов: 1) физических и физико-химических; 2) химических; 3) биологических и биохимических. При этом основными в каждом из них можно считать седиментацию, химическое окисление загрязняющих веществ; биохимическое окисление с участием живых организмов. Последние два вида процессов наиболее ценны тем, что трансформируют загрязняющие вещества в безвредные или менее вредные [104]. Эти процессы проходят по-разному на различных водных объектах и их частях. Их интенсивность и эффективность зависят и от природных факторов (солнечная радиация, температура воды и воздуха, ветровой режим и т.д.), и от антропогенного влияния.

Для водосбора р. Сухоны и бассейна оз. Кубенского проблемы, связанные с управлением качеством водных ресурсов, касаются как самой реки и озера, так и их притоков.

2.2.1. Управление качеством воды р. Сухоны:

- качество воды в гидрографической сети г. Сокола;
- качество воды на участке от истока до впадения рр. Вологда и Лежа и влияние обратного течения;
- качество воды на участке до впадения р. Пельшма;
- качество воды р. Пельшма;
- трансформация качества воды на участке ниже впадения р. Пельшма.

2.2.2. Управление качеством воды р. Вологды:

- качество воды в гидрографической сети г. Вологды;
- мероприятия по санации водосбора реки;
- мероприятия в пойме, русле и на участке водозабора;
- качество воды как исходного продукта для последующей водоочистки в целях централизованного водоснабжения.

2.2.3. Управление качеством воды р. Тошня:

- мероприятия на водосборе;
- мероприятия на пойме, в русле и на участке водозабора.

2.2.4. Проблемы управления качеством воды подземного бассейна.

- создание санитарных и защитных зон;
- соблюдение режима водоохраных территорий.

2.2.5. Управление качеством воды оз. Кубенского:

- исследование и оценка влияния на качество воды озера антропогенной нагрузки на бассейн;
- влияние на качество воды антропогенной нагрузки на водное тело озера;
- влияние конструкции, места устройства водозабора и гидродинамики озера в этом месте на качество забираемой воды;
- качество воды притоков озера и особенно р. Кубена.

2.2.6. Вопросы, связанные с принятием мер при различных событиях чрезвычайного характера на переходах через гидрографическую сеть железной дороги, автомобильных магистралей, трубопроводов, линий электропередачи.

Чрезвычайные ситуации здесь могут возникнуть в результате различных аварий, попаданий транспортируемых нефтепродуктов, других загрязняющих или ядовитых веществ в водные объекты. Для информационной поддержки принятия решений в этих случаях должны быть выявлены наиболее опасные места с учетом геоэкологической ситуации, а также нанесена на электронную карту в виде отдельных слоев необходимая информация для отображения возможных сценариев развития ЧС с разработкой соответствующих баз данных.

2.2.7. Вопросы, связанные с изменением технологий на старых предприятиях и размещением новых цехов или предприятий, очистных сооружений. На водосборе р. Сухоны в эту категорию входят задачи доведения до современных требований результатов работы очистных сооружений стоков промышленного узла и жилищно-коммунального комплекса г. Сокола, очистных сооружений канализации г. Вологды, г. Великий Устюг, очистных сооружений на крупных животноводческих комплексах.

Для компетентного решения этих вопросов необходима визуализированная информация о проектных решениях, современном состоянии и возможность прогнозировать ситуацию хотя бы по решающим показателям. К этому же кругу могут быть отнесены решения по установлению лимитов, нормативов и контролю их соблюдения.

2.3. Задачи, связанные с экономическими и социально-экономическими проблемами водопользования.

Управление в этой сфере во многом определяет решения почти по всем вышеперечисленным направлениям – от оценки ущербов при чрезвычайных ситуациях до определения размеров оптимальной платы за водозабор, водосброс, размеров штрафов за нарушения, предусмотренные законодательством. Сегодня в принципе имеется техническая возможность решить любую задачу, но во многих случаях это сопряжено с большими капиталовложениями, а иногда и значительными отрицательными воздействиями на окружающую природную среду. Крупные водохозяйственные проблемы являются не только социально-экономическими, но и экологическими, правительственными. Для уверенного управления необходимы информация и алгоритмы расчета стоимости различных вариантов, экологических исследований для конкретных водных объектов, определения экономической эффективности природоохранных мероприятий. Что касается водосбора р. Сухоны, то к этому кругу можно отнести проблемы, решаемые путем разработки проектов предельно допустимых сбросов (ПДС)

для всех значительных предприятий, промышленных и селитебных узлов (гг. Вологда, Сокол, Харовск, В. Устюг) и водосбора в целом.

Экономическую, экологическую и этическую составляющие имеет, например, круг проблем, связанных с превращением р. Пельшма в сточную канаву из-за сбросов Сокольского промузла. Наряду с прямым экологическим ущербом очевиден целый ряд косвенных последствий: снижение до нуля рекреационной способности реки, ее берегов и прилегающих к р. Пельшма площадей, снижение стоимости недвижимости на этой территории, этические проблемы, выражающиеся в невозможности для жителей населенных пунктов, расположенных вдоль реки, как-то влиять на ситуацию или получать компенсацию за грубое нарушение их конституционных прав на пользование экологически чистыми природными ресурсами. В значительной степени это относится и к населению пунктов, расположенных на р. Сухоне.

Для принятия управленческих решений в этом случае необходимы: нормативная, правовая и гидрометеорологическая информация, результаты гидрохимического и санэпидемиологического мониторингов, разработка альтернативных предложений по водопользованию Сокольского промышленного узла с привязкой к социальным, экономическим и управленческим реалиям, существующим в настоящее время на водосборе.

2.4. Задачи, связанные с вопросами водоохранной деятельности.

Для сохранения хорошего качества воды в водных объектах имеется два основных направления: охрана водных объектов и их водосбор от поступления загрязняющих веществ и влияние на формирование качества воды в водных объектах путем проведения мероприятий по инициации и поддержке процессов, обеспечивающих самоочищение воды.

В работе Р.А. Нежиховского [62], представляющей одну из удачных попыток сформировать раздел экологической гидрологии, под водоохранной деятельностью понимается комплекс мероприятий, направленных на охрану и воспроизводство водных ресурсов. При этом выделяются четыре вида водоохранных мероприятий:

– мероприятия, направленные на совершенствование самой технологии использования воды (сокращение потребления воды на единицу продукции, введение оборотного водоснабжения, последовательное использование воды, борьба с потерями воды и т. д.);

– мероприятия по обезвреживанию сточных вод (очистка на локальных и централизованных очистных сооружениях, подача воды на поля фильтрации, земельные поля орошения, сброс в пруды-накопители и в пруды-испарители, закачка в подземные горизонты и др.);

– мероприятия, осуществляемые непосредственно в водных объектах (санитарные попуски из водохранилищ, очистка водной поверхности от нефтяной пленки и плавающих предметов, удаление грязного грунта, устройство биоплато, периодическая уборка макрофитов и т.д.);

– мероприятия, проводимые на территории водосбора (создание водоохраных зон и лесозащитных полос, введение комплекса противозерозионных мероприятий, строительство прудов, переброска воды из одного бассейна в другой, правильная технология применения и использования минеральных удобрений и ядохимикатов и др).

Из всего многообразия водоохраных мероприятий для каждого водосбора можно составить иерархию целей, которая должна определить набор необходимых действий с учетом природно-экономических характеристик территории водосбора.

Для всего водосбора р.Сухоны и его верхней части – бассейна оз. Кубенского – важное значение имеют мероприятия по совершенствованию технологии потребления воды на промышленных предприятиях и селитебных территориях. Сокращение потребления чистой воды на единицу производимой продукции особенно важно для целлюлозно-бумажных предприятий Сокольского промузла, где показатели забора чистой воды и сброса сточных вод растут начиная с 1999 г. Борьба с потерями воды наиболее актуальна для системы водоснабжения г. Вологды, где, по некоторым заниженным оценкам, удельное водопотребление по водозабору в настоящее время достигает более 340 литров в сутки на человека. По данным Всемирной организации здравоохранения, гигиеническая норма потребления одним человеком составляет в разных условиях 102–112 литров в сутки. Рядом расположенный г. Череповец подает своим жителям 250 литров в сутки на человека. Следовательно, борьба с потерями воды во внешних и, особенно, во внутренних водопроводных системах административных, общественных и жилых зданий является одной из первоочередных задач. Кроме технических проблем, которые в общем-то известны и устранимы, имеются организационные и управленческие. Наружные сети водопровода обслуживает МП «Вологдагорводоканал». Его функция – забрать из водоисточника и подать воду до внутренних сетей, находящихся в распоряжении предприятий жилищно-коммунального комплекса, специалисты которого в настоящее время не имеют заинтересованности в оперативной ликвидации утечки. Уменьшение потерь во внутренних сетях позволит сократить забор свежей воды и таким образом снизить нагрузку на наружные сети, что должно привести к уменьшению утечек в этой части водопроводной системы.

Наиболее актуальны для бассейна р. Сухоны мероприятия по обезвреживанию сточных вод. Только на два города, Вологду и Сокол,

приходится около 35% загрязненных сточных вод, сбрасываемых в водные объекты всей области. При этом в Вологде полностью отсутствует их обеззараживание [76]. Не подвергаются очистке ливневые и талые воды с селитебных и промышленных территорий.

Из мероприятий, осуществляемых непосредственно на водных объектах водосбора, можно отметить попуски из оз. Кубенского для поддержания судоходных уровней, одновременно улучшающих экологическое состояние Верхней Сухоны во время летне-осенней межени. В какой-то мере к подобным мероприятиям можно отнести поднятие затонувшей при молевом сплаве древесины на некоторых реках бассейна и брошенных судов.

В сфере аграрного производства водоохранные мероприятия имеют целью предотвращение или уменьшение биогенного загрязнения водных объектов. Их можно разделить на несколько видов. Первый из них касается технических решений, позволяющих снижать степень загрязнения окружающей природной среды за счет уменьшения концентрации загрязняющих веществ в отходах от животноводства, что может достигаться по пути совершенствования рационов животных, технологии удаления навоза, утилизации его твердой составляющей и очистки животноводческих стоков. В растениеводстве важное значение могут иметь технологии снижения потерь органических и минеральных удобрений во всех звеньях их транспортировки, хранения и применения. В каждом конкретном случае следует разрабатывать и реализовывать различные меры по уменьшению подвижности загрязняющих веществ – от строительства специальных гидротехнических сооружений до создания водоохранных полос и залужения склонов.

Учитывая, что реализация самых кардинальных водоохранных мер, осуществляемых на протяжении десятилетий, не исключает загрязнение поверхностных вод в густонаселенных и экономически развитых районах, следует принимать меры по снижению содержания загрязняющих веществ в водных объектах. Для этого могут предусматриваться следующие мероприятия: регулирование русел рек и очистка их ложа от илистых отложений, оборудование специальных мест для водопоя скота и азирование водоемов и водотоков, борьба с сине-зелеными водорослями и удаление из водоемов осенью высшей водной растительности.

Для водоемов, служащих основой для сложных водохозяйственных комплексов, применимы принципы экологической реконструкции водохранилища в полисекционный водоем с управляемым водообменом между секциями [129], увеличением глубины регулирования водного режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет утверждать, что формирование водопользования на водосборе р. Сухоны осуществляется некомплексно, находится в значительной мере под воздействием оперативных факторов, определяемых существующим социально-экономическим положением. В результате экологическая обстановка на территории водосбора обостряется, не обеспечивается сохранение (а тем более улучшение) природной среды для благополучной жизни последующих поколений.

Между тем, уже накопленные знания и имеющиеся научные наработки и проекты позволяют при рациональной организации их использования не только упорядочить, но и повысить экологическую, экономическую и социальную эффективность водопользования на водосборе.

Решение этой задачи может быть обеспечено на основе экосистемного подхода. Это означает необходимость ведения водного хозяйства на основе знания внутриводоемных процессов, обеспечения экологически полноценного состояния водных объектов и удовлетворения потребности населения и народного хозяйства в воде. При этом следует учитывать взаимосвязи и взаимодействия всех основных биотических, абиотических, антропогенных и технических элементов водного объекта, иерархию их причинно-следственных связей для управления возникающими процессами в эколого-социально-экономической системе водного объекта, бассейна и водного фонда в целом.

Для эффективности управления водопользованием представляется рациональным создание бассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов в формате, удовлетворяющем требованиям долговременно-го и текущего (оперативного) управления, существующей правовой базы.

Бассейновая схема должна быть основой системы принятия управленческих решений, которая создает широкие возможности для прогнозирования основных параметров процессов, происходящих на водосборе как в вероятностном смысле (в виде кривых или поверхностей распределения), так и в привязке к конкретным временным интервалам и датам. Она позволяет проводить постоянную актуализацию по данным комплексного мониторинга абиотических факторов, характеристик состояния биоты и человеческого населения водосбора. При этом составляющие баз данных и баз знаний системы должны иметь географическую привязку и воплощаться в виде элементов геоинформационной системы. При разработке и реализации ее положений следует с максимальной полнотой использовать информацию, находящуюся у различных владельцев, в различных ведомствах и организациях.

Данные, приведенные в книге, убеждают, как мы надеемся, и в том, что для научно обоснованного управления водопользованием должны объединить свои усилия юристы и экономисты, гидрологи и биологи, социологи и математики, гидротехники и врачи – короче говоря, специалисты различных отраслей знаний. При этом активное привлечение математических методов становится насущным требованием, ибо математическое моделирование повлечет за собой получение прогнозной информации, опережающей наблюдаемое состояние систем. А это важнейший рычаг усиления роли научных методов в сфере принятия управленческих решений по обеспечению устойчивости экосистем водосбора, водотока, водоема – того, что важно для полноценного удовлетворения разумных человеческих потребностей в настоящем и будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Т.Г. Болота Вологодской области, их районирование и сельскохозяйственное использование // Северо-Запад европейской части СССР. Вып. 4. – Л., 1965. – С. 65-92.
2. Авакян А.Б., Ланцова Н.В., Яковлева В.Б. Оценка компонентов природной Среды для использования водохранилищ для различных видов рекреации // Водные ресурсы. – 1990. – №4. – С. 82-89.
3. Авакян А.Б., Яковлева В.Б. Рекреационное использование водохранилищ // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1970. – №6. – С. 4-54.
4. Авдошенко Н.Д., Труфанов А.И. Геологическая история и геологическое строение Вологодской области. – Вологда, 1989. – С. 71.
5. Агроклиматические ресурсы Вологодской области. – Л., 1972. – 185 с.
6. Александрова Д.Н., Смирнова Л.В. Формирование, распределение и продукция бактерий оз. Кубенского // Озеро Кубенское. Ч. 2. – Л.: Наука, 1977. – С. 129-158.
7. Азгольдов Г.Г. Количественная оценка качества продукции – квалиметрия. – М.: Знание, 1984. – 46 с.
8. Алекин О.А. Общая гидрохимия (Химия природных вод). – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 208 с.
9. Алексеевский Н.И. Генетический анализ качества воды // География. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – С. 224-228.
10. Андрианов В.Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960.
11. Антипов Н.П. Климат // Природа Вологодской области. – Вологда, 1957. – С. 111-135.
12. Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Ч. 1. Гидрология и гидрохимия оз. Белого. – Л.: Наука, 1980.
13. Астраханов Г.П., Гусева В.Н., Минина Т.Р., Руховец Л.А., Флоринская Т.М. Использование экологических механизмов в задачах управления водопользованием для больших озер // Экономико-математические исследования: математические модели и информационные технологии. – СПб ЭИМ РАН, 2000. – С. 316-334.
14. Ауслендер В.Т., Гей В.П. История развития Кубено-Сухонской озерной впадины в плейстоцене и голоцене // Материалы II Симпозиума по истории озер СССР. – Минск, 1967. – С. 10-13.
15. Ахременков А.А. Моделирующий комплекс для эмитации водных экосистем. – М.: ВЦ РАН, 1988. – 48 с.
16. Багацкий С.В., Вавилин В.А., Осташенко М.М. Проверка эмпирических зависимостей между поступлением биогенного элемента и его содержанием в водоеме // Водные ресурсы. – 1985. – №3. – С. 76-80.
17. Барнинова С.С., Крылов С.В. Экологическое состояние малых рек // Малые реки волжского бассейна / Под ред. Н.И. Алексеевского. – М.: МГУ, 1998. – С. 132-141.
18. Бентос Учинского водохранилища. – М.: Наука, 1980. – 251 с.
19. Белый А.В., Водоватов Ю.С., Поляков М.М. Влияние уровня режима озера Кубенского на воспроизводство весенне-нерестящихся рыб // Экологические и инженерно-геоморфологические проблемы Вологодской области:

Доклады, подготовленные для межгосударственной конференции «Инженерная география. Инженерно-геоморфологические аспекты». – Вологда: ВПИ, 1993. – С. 112-129.

20. Брызгалкин Г.И. Введение в теорию качества. – Волгоград: Волгоградский политехнический институт, 1988. – 98 с.

21. Влияние деятельности ТОО «Фетинино» на качество водных ресурсов оз. Кубенского (проект). – Вологда, 1993. – С. 78.

22. Внеплощадочное водоснабжение г. Вологды. Проект зон санитарной охраны водозаборных сооружений. – Л.: Ленинградский институт «Водоканал-проект», 1988 (№702-0-0-ПЗ.ЗСО).

23. Водоватов Ю.С. Изучить состояние рыбных запасов в крупных рыбохозяйственных водоемах Вологодской области и разработать предложения по их рациональному использованию в 1993 г.: Отчет по хозяйственной теме №79 Вологодской лаборатории ГосНИОРХ: Рукопись.

24. Волков А.А., Тонких А.П. Моделирование мелководного эвтрофированного водоема // Математические модели водных экосистем. – М.: ВЦ РАН, 1984. – С. 120-138.

25. Водный кодекс Российской Федерации. Утв. Президентом РФ 16.11.1995.

26. Временные методические рекомендации по прогнозированию химического состава поверхностных вод с учетом перераспределения стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.

27. Гидрогеология СССР. – Т. 11. Архангельская и Вологодская области. – М.: Недра, 1969. – 300 с.

28. Гидрологическая изученность. – Т. 3. – Л., 1965.

29. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 1. (28) РСФСР. Вып. 8, 23. – Архангельск, 1990.

30. Данилевский Н.Я. Россия и Европа. – М.: Книга, 1991. – С. 129.

31. Данилов-Данильян В.И. Познакомьтесь с Александром Леонидовичем Яншиным ... // Поиск. – 2002. – №9-10. – С. 30.

32. Даценко Ю.С., Эдельштейн К.К. Основы управления водными экосистемами. – М.: Изд-во МГУ. – 106 с.

33. Дзюбан А.Н. и др. Сезонная динамика микробиологических процессов в озерах Северо-Двинской системы // Водные ресурсы. – 1987. – №1. – С. 104-110.

34. Диспетчерский график водопользования Кубенским водохранилищем / Наркомречфлот; Гипроводтранс, 1939.

35. Состояние природной среды Вологодской области на начало 1994 г.: Доклад. – Вологда, 1994. – 116 с.

36. Жехновская Л.Ф. Гидрохимическая характеристика озера Кубенского и его притоков // Озеро Кубенское. Ч. 2. – Л.: Наука, 1977. – С. 5-38.

37. Жилокас В.Ю., Познанске Д.А. Таблица для подсчета разнообразия по Шэннону – Уиверу // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. Ч. 5. – Вильнюс, 1985. – С. 130-136.

38. Жила И.М., Сопочкина В.Я., Пребышевская М.М. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод // Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – С. 293-350.

39. Журба М.Г., Приемышев Ю.Р., Говорова Ж.М., Лебедева Е.А. Очистка природных вод, содержащих антропогенные примеси. – Москва – Вологда, 1998. – 100 с.
40. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 239 с.
41. Изотова А.Ф. Климатические условия района озер Лача, Воже и Кубенского // Озеро Кубенское. – Л.: Наука, 1977. – С. 16-48.
42. Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды. – М.: Гидрометеоиздат, 1983. – 278 с.
43. Инструкция по проектированию. Признаки и нормы агрессивности воды – среды для бетонных и железобетонных конструкций. – М., 1963, СН 249-63.
44. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Опыт создания системы поддержки принятия решений. – СПб.: Vorey Print, 2001. – 419 с.
45. Оценка масштабов затопления в районе г. Великий Устюг при различных сценариях изменения стока рек Сухона и Юг: Информационный отчет. – Москва: МГУ; Географический факультет, 2001. – 33 с.
46. Йогенсен С.Э. Управление озерными экосистемами. – М.: Агропромпиздат, 1985. – 160 с.
47. Карта Северо-Двинской шлюзованной системы. От р. Шексна до шлюза Знаменитый: Навигационно-гидрографический очерк / Северное бассейновое управление пути. – 1987. – 58 лист.
48. Кириллова В.А. Водный режим рек – притоков // Озеро Кубенское. Ч. 1. – С. 48-77.
49. Климат Вологды / Под. ред. Ц.А. Швер и А.С. Егоровой. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 174 с.
50. Королев В.А. Мониторинг геологической среды / Под ред. В.Т. Трофимова. – МГУ, 1995. – 271 с.
51. Костыгов Н.В. Развитие региона как объекта управления. – Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 1999.
52. Кичигин А.Н. Инженерная геоморфология Вологодской области. – Вологда, 1995. – 116 с.
53. Куйбышевское водохранилище. – Л.: Наука, 1983. – 214 с.
54. Леонов В.А. Математическое моделирование трансформации соединений фосфора в пресноводных экосистемах. – М.: Наука, 1986.
55. Макаров И.М., Соколов В.Б., Абрамов А.Л. Целевые комплексные программы. – М.: Изд-во «Знание», 1980. – 135 с.
56. Максимова М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек // Водные ресурсы. – 1985. – №3. – С. 71-75.
57. Малинина Т.И. Водный баланс // Озеро Кубенское. Ч. 1. – Л., 1977. – С. 85-104.
58. Моделирование режима фосфора в долинном водохранилище. – М.: МГУ, 1995. – 80 с.
59. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 104 с.
60. Назаров Г.В. Гидрологическая роль почв. – Л.: Наука, 1981.

61. Невская губа – опыт моделирования / Под. ред. В.В. Мелшутникина. – СПб.: Borey Print 1997. – 377 с.
62. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 228 с.
63. Нежиховский Р.А., Саковская Н.П. Прогнозы максимальных затворных уровней воды рек Северной Двины и Немана // Тр. ГГИ. Вып. 227. – 1975. – С. 70 – 79.
64. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 352 с.
65. Николаев И.И. Состояние и основная направленность антропогенного лимногенеза больших озер Северо-Запада СССР // Водные ресурсы. – 1978. – №5. – С. 5-15.
66. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета. – М.: Колос, 1987. – 33 с.
67. Озеро Кубенское. Ч. 1. – Л.: Наука, 1977. – 308 с.
68. Озеро Кубенское. Ч. 2. – Л.: Наука, 1977. – 280 с.
69. Озеро Кубенское. Ч. 3. – Л.: Наука, 1977. – 168 с.
70. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83. – М.: Изд-во Госкомитета СССР по делам строительства, 1983. – 97 с.
71. Основные направления социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа РФ на период до 2015 г. / А.Р. Баттаев, Е.Г. Слущкий, Л.П. Совершаева, Ю.Н. Солодухин. – СПб.: Общество «Знание», 2002. – 469 лист.
72. Основные положения Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу // Поиск. – 2002. – №16. – С. 8-10.
73. Островский Н.В. О разграничении полномочий между различными уровнями власти в сфере управления водными ресурсами // Сб. материалов V Международного конгресса ЭКВАТЭК-2002. – М., 2002. – 536 с.
74. Экологическая и рыбохозяйственная характеристика бассейна р. Сухоны и пути рационального использования речных систем: Отчет по теме №66. – Вологда: ГОСНИОРХ, 1992. – 338 с.
75. Парахонский Э.В., Парахонский М.Э. Основы экологической политики индустриального города. – Вологда, 1997. – 302 с.
76. Парахонский Э.В., Парахонский М.Э. Формирование принципов устойчивого развития региона в переходный период. – Вологда, 2001. – 430 с.
77. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунастических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – С. 83.
78. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – М.: Инф.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 111 с.
79. Покровский С.Г. Методологические основы рационализации регионального природопользования // Вестник МГУ. Сер. 5, География. – 1998. – №5. – С. 10-14.

80. Покровский С.Г. Основы природопользования: Учебное пособие. – М.: МГА, 2001. – 75 с.
81. Покровская Т.Н. О нарушении продукционной организации эвтрофирующихся макрофитных озер // Круговорот веществ и энергии в водоемах. Вып. 1. Иркутск, 1981. – С. 111-113.
82. Поливанов В.С., Поляков М.М., Воробьева Т.А. и др. Муниципальные ГИС: обеспечение решения экологических проблем. – 2-е изд. / Под ред. Полякова М.М. – Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2001. – 162 с.
83. Положение о ведении государственного мониторинга водных объектов. Постановление Правительства РФ от 14.03.1997 г. № 3.
84. Положение о Министерстве природных ресурсов Российской Федерации. Утв. Постановлением Правительства РФ от 25.09.2000 г. №726.
85. Положение о государственной водной службе Министерства РФ от 10.06.2002 №351.
86. Поляков М.М. Аналитический способ проведения статистических параметров гидрометеорологических величин, подчиняющихся трехпараметрическому гамма-распределению // Тезисы докл. Международного симпозиума. Расчеты речного стока при проектировании (г. Санкт – Петербург, 30.10 – 3.11.1995 г). – 67 с.
87. Поляков М.М., Белый А.В. и др. Мероприятия по сохранению и восстановлению качества водных ресурсов бассейна озера Кубенского: Отчет о НИР. Кн. 1. – Вологда, 1994. – 118 с.
88. Правила предотвращения загрязнения с судов внутреннего плавания. – М., 1993.
89. Проект зон санитарной охраны хозяйственно-питьевого водозабора оз. Кубенское / Институт «Вологдаинжпроект». – Вологда, 2000. – 92 с.
90. Пронин А.Г. Особенности водного баланса крупных озер Северо-Запада европейской части СССР // Северо-Запад. Вып. 8. – Л., 1972. – С. 25-41.
91. Рабочий проект по ликвидации критической ситуации на водозаборе Кубенское – Вологда / Институт «Вологдаинжпроект». – Вологда, 1993.
92. Редька И.И. Поверхностный сток с территории животноводческих комплексов // Сб. научн. трудов ВНИИВО. – 1983. – С. 69-72.
93. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 640 с.
94. Ресурсы поверхностных вод. Т. 3. Северный край. – Л., 1972. – 661 с.
95. Россоломо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. – М.: Наука, 1977. – 248 с.
96. Розенталь О.М., Хохлявин С.А. Об использовании законодательного опыта Евросоюза для управления водными ресурсами России // Сб. материалов V Международного конгресса ЭКВАТЭК-2002. – М., 2002. – С. 536-537.
97. Руководство по использованию, регулированию и охране водных ресурсов малых рек РСФСР. Вып. 6. Руководство по расчету изменений качества воды малых рек. – Свердловск: УралНИИВХ, 1985. – 68 с.
98. Савинов Ю.А. Четвертичные отложения Архангельской и Вологодской областей и их водность // Северо-Запад европейской части СССР. Вып. 4. – 1965. – С. 54-64.

99. Савинов Ю.А., Романова В.П. Геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений Вологодской области // Атлас Вологодской области. – 1965.
100. Садоков К.А. Геология и полезные ископаемые // Природа Вологодской области. – Вологда, 1957. – С. 8-58.
101. Сарманов О.В., Сарманов И.О. Основные корреляции, применяемые в гидрологии. – М.: Наука, 1983. – 200 с.
102. Свитин В.А. Оценка экологической опасности использования земель // Земледелие. – 1991. – №2. – С. 69-72.
103. Сенатская Ю.Н. Фитопланктон и первичная продукция оз. Кубенского // Озеро Кубенское. Ч. 2. – Л.: Наука, 1977. – С. 107-127.
104. Скорняков В.А. Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 1. – М., 1999. – С. 238-261.
105. Смит Р.Л. Наш дом – планета Земля (Полемиические очерки об экологии человека). – М.: Мысль, 1982. – 383 с.
106. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеоздат, 1968.
107. Соллертинский Е.С. Река Кубена. Географический очерк. – Вологда, 1922. – 55 с.
108. Солод Г.И. Основы квалитетрии. – М.: Московский горный институт, 1999. – 84 с.
109. Сорос Д. Кризис мирового капитализма. – М.: ИНФРА, 1999. – С. 17-19.
110. Сочава В.Б. Проблемы современной теоретической географии // Харвей Д. Научное объяснение в географии. – М.: Прогресс, 1994. – С. 471-481.
111. Справочник по климату СССР. Вып. 1. Ч. 4. – Л., 1968.
112. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Северной Двины: В 7-ми т. – Л.: Ленгипроводхоз, 1987.
113. Тихомиров Ю.А. Юридические режимы государственного регулирования экономики // Право и экономика. – 2000. – №5. – С. 5.
114. Тихомиров А.И., Егоров А.Н. Термический режим и теплозапасы // Озеро Кубенское. Ч. 1. – Л.: Наука, 1977. – С. 257-286.
115. Тюрин П.В. Биологические основы регулирования рыболовства на внутренних водоемах. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 200 с.
116. Тюрин П.В. Нормальные кривые переживания темпов естественной смертности как теоретическая основа регулирования рыболовства // Изв. ГОСНИОРХ. Т. 71. – 1972. – С. 71-128.
117. Фальковская Л.Н. и др. Источники антропогенного загрязнения водоемов при их комплексном использовании (на примере Ивановского водохранилища) // Водные ресурсы. – 1978. – №6. – С. 156-164.
118. Федцов В.Г., Новиков Ю.Ю. Об экологическом менеджменте использования водных ресурсов // Сб. материалов V Международного конгресса ЭКВАТЭК-2002. – М., 2002. – 538 с.
119. Филенко Р.А. Воды Вологодской области. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1960. – 131 с.

120. Филиппов Г.Р. и др. Содержание и формы нахождения некоторых микроэлементов в иловых отложениях озер юго-восточного Забайкалья // Гидрохимические материалы. Т. 64. – 1975. – С. 63-66.
121. Харвей Д. Научное объяснение в географии: Пер. с англ. – М.: Изд-во «Прогресс», 1994. – 504 с.
122. Хват В.М., Рокшевская А.В. Очистка поверхностного стока с территории промышленных предприятий. – Сб. науч. трудов ВНИИВО, 1983. – С. 12-37.
123. Хендерсон-Селлерс Б. Инженерная лимнология. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 278 с.
124. Хомутова В.И. Результаты палинологического изучения грунтовой колонки. – Л., 1974. – С. 26-28.
125. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 278 с.
126. Хромов В.М., Радченко Л.Г., Бакова И.И., Стрелкова З.Г., Трошков А.А. Влияние высшей водной растительности на формирование гидрохимического режима и качества воды питьевого водохранилища // Кружоворот вещества и энергии в водоемах. Вып. 5. – Иркутск, 1981. – С. 155-157.
127. Шепелевский А.А. О вычислении функциональной связи, скрытой за корреляцией // Тр. ГГО. Вып. 15. – 1937. – С. 62-68.
128. Шилькрот Г.С. Типологические изменения режима озер в условиях культурных ландшафтов. – М.: Наука, 1979.
129. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998. – 277 с.
130. Экологическая доктрина РФ (концепция). Проект // Поиск. – 2001. – №320. – 30 с.
131. Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод. – Л.: Наука, 1988.
132. Экология и управление. Организация природоохранной деятельности в Вологодской области / Отв. ред. В.М. Кумзеров. – Вологда, 2002. – 32 с.
133. ЭКВАТЕК-2002: Материалы конгресса / Под. общ. ред. проф. Л.И. Эльпинера. – М., 2002. – 948 с.
134. Яковлев С.В., Журба М.Г. Обеспечение населения безвредной водой // Водоснабжение и санитарная техника. – 1991. – №12. – С. 2-3.
135. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. – 117 p.

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

ГЛАВА I

1.1	Ординаты кривых зависимости объема озера Кубенского от уровня	10
1.2	Некоторые гидрографические характеристики основных притоков озера Кубенского	17
1.3	Средние месячные и годовые скорости ветра за многолетний период	20
1.4	Средняя месячная температура воздуха (t) и среднеквадратические отклонения (s) за многолетний период	22
1.5	Даты перехода средних суточных температур воздуха через 0°C, 5°C, 10°C	22
1.6	Температура воды озера Кубенского – д. Коробово (у берега), средняя за период наблюдений	24
1.7	Внутригодовое распределение осадков, выпадающих на поверхность оз. Кубенского и на ближайших метеостанциях	27
1.8	Высота снежного покрова, плотность снега и запас воды в снеге (ст. Вологда, Молочное)	28
1.9	Даты появления и схода снежного покрова на открытом участке	28
1.10	Водный баланс озера Кубенского за многолетние периоды	29
1.11	Гидрологическая изученность района водосбора оз. Кубенского	31
1.12	Характерные уровни воды оз. Кубенского у д. Коробово	38
1.13	Ионный состав воды р. Кубена	46
1.14	Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде р. Кубена	47
1.15	Ионный состав воды р. Уфтюга	48
1.16	Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде р. Уфтюга	49
1.17	Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде р. Б. Ельма	49
1.19	Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде р. Б. Ельма	50
1.18	Ионный состав воды р. Б. Ельма	51
1.20	Ионный состав воды некоторых малых притоков озера	51
1.21	Окисляемость воды, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в некоторых малых притоках озера	53
1.22	Результаты химического анализа проб вод системы озеро Кубенское – протока Большой Пучкас – р. Сухона, 1, 6 июля 1993 г.	53
1.23	Результаты химического анализа водотоков на территории ТОО «Фетинино», 30 июня 1993 г.	54
1.24	Ионный состав воды протоки Б. Пучкас (2 км от истока)	55

1.25 Ионный состав воды протоки Б. Пучкас (9 км от истока)	55
1.26 Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в воде протоки Б. Пучкас	55
1.27 Биохимическое потребление кислорода, содержание растворенного кислорода и биогенных веществ в воде протоки Б. Пучкас	56
1.28 Основной ионный состав воды озера Кубенского по сезонам	57
1.29 Содержание органических и биогенных соединений в воде озера Кубенского по сезонам	58
1.30 Концентрации наиболее распространенных загрязняющих веществ антропогенного происхождения в водоисточниках	61
1.31 Сравнительная характеристика рядов наблюдений за показателями качества воды р. Вологды и оз. Кубенского в период 1992 – 1996 гг.	62
1.32 Средние и экстремальные значения статистических показателей гранулометрического состава донных отложений озера	64
1.33 Параметры твердого стока с водосбора озера Кубенского	65
1.34 Тяжелые металлы в донных отложениях озера Кубенского (по двум сериям из шести проб)	66
1.35 Степень трофности озер и валовая первичная продукция углерода	69
1.36 Значения предельно допустимых концентраций некоторых биогенных веществ	70
1.37 Классификация степени трофности водоемов по Л.И. Цветковой	71
1.38 Критерий и категории состояния водных экосистем при антропогенном эвтрофировании водных объектов	74
1.39 Характеристики качества вод различного класса сапробности (по ГОСТ 17.1.2.04–77)	75

ГЛАВА 2

2.1 Нормы потребления воды в животноводстве, л/сут на 1 голову	79
2.2 Оценка водопотребления в сельском хозяйстве на водозаборе озера Кубенского	80
2.3 Количество различных веществ в отходах от одного взрослого животного	81
2.4 Химический состав сточных вод животноводческих комплексов	82
2.5 Количество сельскохозяйственных угодий и ферм в зависимости от расстояния от водных объектов	82
2.6 Ежегодный вынос веществ минеральных удобрений	83
2.7 Объемы применения минеральных удобрений и ядохимикатов в хозяйствах бассейна оз. Кубенского	83
2.8 Химический состав дренажных вод в осушительных системах Северо-Запада России	86
2.9 Наличие осушенных земель на водосборе оз. Кубенского (1992 г.)	86
2.10 Распределение хозяйств по количеству осушенных сельхозугодий	86

2.11	Оценки смыва некоторых загрязняющих веществ с городской территории	89
2.12	Показатели качества воды р. Сухоны в период талого стока с территории г. Сокол	90
2.13	Концентрация растворенных загрязняющих веществ стока талых и дождевых вод с территории населенных пунктов	90
2.14	Показатели загрязнения талых сточных вод г. Череповца	90
2.15	Показатели загрязнения дождевых сточных вод г. Череповца	91
2.16	Сведения о сбросах. Показатели загрязняющих веществ на водосборе оз. Кубенского	93
2.17	Интегральная оценка значения компонентов природной среды для отдельных видов отдыха	97
2.18	Рекреационная посещаемость озера Кубенского и Иваньковского водохранилища	98
2.19	Роль рекреации в загрязнении Иваньковского водохранилища	99
2.20	Объем перевозок в створе гидроузла №7 (шлюз «Знаменитый»)	100
2.21	Работа гидроузла №7 в 1990 – 1993 гг.	100
2.22	Работающие суда Сухонского речного пароходства в 1992 г. и 1994 г.	101
2.24	Загрязняющие вещества, собранные в период навигации 1993 г. судами-сборщиками Сухонского речного пароходства	102
2.23	Суда-сборщики сточных вод	102
2.25	Вклад речного транспорта в загрязнение Иваньковского водохранилища	103
2.26	Важнейшие факторы, оказывающие влияние на уровень рыбопродуктивности водохранилищ	106
2.27	Пример расчета индекса Шеннона – Уивера	109

ГЛАВА 3

3.1	Количество азота и фосфора, поступающего в водные объекты из лесного растительного опада	113
3.2	Количество биогенных веществ, выносимых талыми снеговыми и дождевыми водами	113
3.3	Средние расходы воды р. Сухона у д. Рабаньга и показатели гидрохимического режима у д. Кузнецово в 1991 – 1993 гг.	118
3.5	Характеристики водного и гидрохимического режимов р. Сямжена у с. Сямжа	119
3.6	Параметры среднесезонных кривых распределения гидрохимических характеристик р. Сухоны в створе д. Кузнецово и стока в створе д. Рабаньга	123
3.7	Параметры среднесезонных кривых распределения стоковых и гидрохимических характеристик р. Сямжена в створе с. Сямжа	124

3.8	Параметры среднемноголетних кривых распределения стоковых характеристик р. Кубена у с. Троице-Енальское и гидрохимических характеристик у д. Кубинская	125
3.9	Ординаты среднемноголетних кривых распределения гидрохимических характеристик р. Сухоны в створе д. Кузнецово и стока в створе д. Рабаньга	125
3.10	Ординаты среднемноголетних кривых распределения стоковых и гидрохимических характеристик р. Сямжена у с. Сямжа	125
3.11	Ординаты среднемноголетних кривых распределения стоковых характеристик р. Кубена у с. Троице-Енальское и гидрохимических характеристик у д. Кубинская	126
3.12	Коэффициенты корреляции между расходом воды в створе р. Сухона – д. Рабаньга и у д. Кузнецово и гидрохимическими характеристиками	126
3.13	Коэффициенты корреляции между расходом воды и гидрохимическими характеристиками р. Сямжена – с. Сямжа	127
3.14	Коэффициенты корреляции между расходами воды р. Кубена у с. Троице-Енальское и гидрохимическими характеристиками у д. Кубинская	127
3.15	Параметры распределения сухого остатка, приведенные к многолетию (р. Сухона – д. Кузнецово)	129
3.16	Ординаты кривых распределения, полученные разными способами (р. Сухона – д. Кузнецово)	129
3.17	Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции р. Сухона – д. Рабаньга	130
3.18	Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции р. Кубена – оз. Кубенское	131
3.19	Ординаты кривых обеспеченности, полученные с использованием криволинейной корреляции р. Сямжена – с. Сямжа	131
3.20	Параметры уравнений связи $Y = ax^b$ гидрохимических характеристик с расходом Q для ранжированных величин ($X = 100:Q$)	131
3.21	Уровни воды озера Кубенского в створе начала водоподводящего канала	138
3.22	Уровни на начало ледостава и минимальные суточные уровни различной обеспеченности за зимнюю межень	140
3.23	Показатели факторов экологической опасности использования земель	144
3.24	Значение коэффициента размещения экологически опасных объектов	146
3.25	Расчет индексов экологической опасности (природная составляющая) ..	148
3.26	Расчет индексов экологической опасности (антропогенная составляющая)	151
3.27	Расчеты параметров локальной экологической нагрузки	156

3.28 Оптимальный уровень антропогенной нагрузки на водные ресурсы озера, обусловленный деятельностью сельхозпроизводителей	158
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ГЛАВА 4

4.1 Содержание загрязняющих веществ и растворенного кислорода в водах р. Пельшма	160
4.2 Размещение сельскохозяйственных угодий и ферм в зависимости от расстояния от водотоков бассейна оз. Кубенского	161
4.3 Коэффициенты корреляции между ежегодной численностью популяции леща 4+ и переменными, отражающими изменения температурного и уровня режимов	183
4.4 Парные коэффициенты линейной корреляции	183
4.5 Параметры линейных корреляционных уравнений вида $V=ax+b$	185
4.6 Характерные даты и уровни предзимнего периода на верхнем бьефе гидроузла «Знаменитый» и на водомерном посту Коробово	186
4.7 Ординаты среднегодовых кривых распределения среднесуточных расходов воды р. Кубена у с. Троице-Енальское и гидрохимических характеристик у д. Кубенское	203

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

ГЛАВА 1

1.1. Нижняя часть кривых зависимости объема озера от отметки уровня	11
1.2. Гидрологическое районирование бассейна озера	15
1.3. Схематичный продольный профиль Северо-Двинской шлюзованной системы	17
1.4. Головой ход уровня оз. Кубенского (средних месячных его значений) у д. Коробово	35
1.5. Колебания уровня оз. Кубенское – д. Пески в многоводный 1935 г. (1) и маловодный 1937 г. (2)	36
1.6. Карта-схема юго-восточной части озера Кубенского в пределах НПУ	37
1.7. Сезонное изменение минерализации и химического состава речных вод (р. Кубена – с. Троице-Енальское)	47
1.8. Схема расположения створов отбора проб воды на водотоках системы протоки Б. Пучкас в июле 1993 г.	53
1.9. Ионный состав (мг/л) воды на центральной станции озера (поверхность) в 1972 г.	57
1.10. Обобщенная схема механизма эвтрофирования водоемов	70
1.11. График для оценки степени трофности водоема	73
1.12. Единая модель функционирования водных экосистем	73

ГЛАВА 2

2.1. Динамика уловов (P) по годам и изменение параметра N уловов в оз. Кубенском за период 1938 – 1991 гг.	109
2.2. Фазовый портрет рыбного населения оз. Кубенского	109

ГЛАВА 3

3.1. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и концентраций растворенного кислорода (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)	120
3.2. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и взвешенных веществ (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)	121
3.3. Совмещенные кривые среднесуточных расходов воды и концентраций иона гидрокарбоната (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)	122
3.4. Совмещенные хронологические кривые среднесуточных расходов воды и общей минерализации (р. Сухона – г. Сокол, 1991 г.)	122
3.5. Кривая обеспеченности среднесуточных расходов р. Сухоны – в/п Рабаньга за период 1990 – 1992 гг. (при $n = 36$)	123
3.6. Кривая обеспеченности среднесуточных расходов р. Сухоны – в/п Рабаньга за период 1942 – 1994 гг.	124
3.7. Кривая обеспеченности $Q_0 = 100:Q$ для створа р. Сухоны – в/п Рабаньга (при $n = 96$)	128
3.8. График зависимости сухого остатка от величины, обратной расходу воды $SOS = f(Q_0)$	128
3.9. Зависимость $SOS = aQ_0^b$ для р. Сухоны – в/п Рабаньга между соответственными величинами	129
3.10. Зависимость $SOS = aQ_0^b$ между ранжированными величинами	130
3.11. Схема расположения сооружений водозабора для г. Вологды	139
3.12. Гидрографическая сеть в районе формирования обратного стока р. Сухоны в оз. Кубенское	142
3.13. График хода уровней на подъеме весеннего половодья на в/п р. Сухоны (весна 1983 г.)	143

ГЛАВА 4

4.1. Схема взаимосвязи между научным исследованием и практикой при управлении водными экосистемами	165
4.2. Схема функционирования мониторинга во времени	167
4.3. Сравнение деятельности исследователя и ЛПР	168
4.5. Укрупненная схема СППР	210
4.4. Структура взаимоотношений и функций субъектов, систем природопользования и органов управления	211
4.6. Структура процедуры выбора решения с использованием СППР	212

Научное издание

Проблемы управления водопользованием

Поляков Михаил Михайлович

Под редакцией
заместителя директора ВНКЦ ЦЭМИ РАН
по научной работе к.э.н. М. Ф. Сычева

Технический редактор	Т. А. Табунова
Редакционная подготовка	Л. Н. Воронина
Компьютерная верстка	А. А. Воробьева
Дизайн обложки	С. К. Мальчиков

Подписано в печать 20.12.02

Формат бумаги 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 13,1. Тираж 350 экз. Заказ № 40.

160014, г. Вологда, ул. Горького, 56а, ВНКЦ ЦЭМИ РАН,
тел. 24-42-16, e-mail: common@vscc.ac.ru

Лицензия ЛР № 040925 от 27 ноября 1998 г.