

- [19] Ignatieva N. V. Nutrient exchanges across the sediment-water interface in the eastern Gulf of Finland // *Boreal Environment Research*. 1999. Vol. 4. P. 295—305.
- [20] Savchuk O. P., Eremina T. R., Isaev A. V., Neelov I. A. Response of the Eastern Gulf of Finland eutrophication to nutrient load reduction scenarios // *Hydrobiologia*. 2009. Vol. 629(1). P. 225—237.

Санкт-Петербург

Поступило в редакцию
20 октября 2011 г.

Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 2

© А. В. ЛИТВИНЕНКО, М. С. БОГДАНОВА, В. А. КАРПЕЧКО, И. А. ЛИТВИНОВА

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАСЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Онежское озеро — один из крупнейших водоемов нашей страны и второй по площади пресноводный водоем Европы. Озеро и его приток Илекса — Водла — являются верхним звеном самой большой европейской озерно-речной системы Невы. Озеро дренирует значительную территорию, различную по геологическому строению, орографии и гидрографии. В естественном состоянии озеро принимало сток с водосборного бассейна площадью 53 100 км². Площадь самого водоема составляла 9720 км². После строительства в 1953 г. Верхне-Свирской ГЭС озеро стало водохранилищем с водосборной площадью 57 300 км² и площадью зеркала 9840 км² [3]. Около 70 % территории бассейна относится к Республике Карелия, остальная часть расположена в Ленинградской, Вологодской и Архангельской областях.

Гидрографическую сеть бассейна озера образуют 6765 рек общей длиной 22 741 км и 9516 озер общей площадью 13 441 км². Максимальное количество водотоков (95 %) составляют малые, длиной менее 10 км [6], и лишь 7 рек имеют протяженность более 100 км (табл. 1). Коэффициент густоты речной сети равен 0.44 км/км².

К притокам Онежского озера относятся 1152 реки, из которых лишь 52 имеют длину более 10 км [6]. Более половины бассейна занято водосборами трех главных его притоков: рек Шуи (площадь водосбора 10.1 тыс. км²), Суны (7.7 тыс. км²), Водлы (13.7 тыс. км²). Вытекает из озера лишь одна река — Свирь, являющаяся крупнейшим притоком Ладожского озера.

Большую часть водоемов на водосборе Онежского озера (9144, или 96 %) составляют озера площадью менее 1 км², однако по суммарной площади акваторий их доля не превышает 5 % (671.7 км²) [6]. Наиболее крупные озера приведены в табл. 2.

Озерность бассейнов рек в северной части водосбора Онежского озера изменяется от 3 до 18 %, в южной — от 1 до 3 %; заболоченность — 5—20 %, а в бассейне р. Водлы достигает 24 % [7]. Распределение запасов озерных вод по территории показано в табл. 3.

Таблица 1
Характеристики основных рек бассейна Онежского озера [3]

Название реки	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Площадь озер на водосборе, км ²	Принятый исток
Шуя	194	10100	1071	Оз. Суоярви
Суна*	280	7670	987	Оз. Кивиярви
Водла	149	13700	723	Слияние рек Сухая Водла и Вама
Илекса	155	4950	122	Оз. Калгачинское
Нетома	107	776	6.5	Оз. Нетомское
Колода	112	1330	35	Оз. Глубокое
Шалица	104	992	61.1	Оз. Шалозеро

Примечание. * Данные по р. Суна даны для водосбора в естественном состоянии.

Таблица 2
Характеристика озер с площадью зеркала более 100 км² в современном состоянии [1, 3]

Водоем	Водосбор главной реки	Площадь, км ²		Глубина, м		Объем, км ³	Примечание
		водосбора*	зеркала озера	средняя	максимальная		
Онежское озеро	Нева	53100	9720	30	120	295	Зарегулировано
Водлозеро	Водла	4960	322	2.8	16.3	0.906	»
Сямозеро	Шуя	1550	266	6.7	24.5	1.79	»
Сандал	Суна	6620	185	9.7	58.0	1.78	»
Палье	»	6110	109	18	74	2	
Лижмозеро	Лижма	535	84.8	5.4	22.0	0.463	
Гимольское	Суна	2590	80.5	3.3	30.0	0.265	
Шотозеро	Шуя	5540	74.0	3.1	10.1	0.228	
Суоярви	»	2120	58.5	4.8	26.0	0.280	
Сундозеро	Суна	6340**	50.0				

Примечание. * Площадь водосбора дана без площади зеркала озера; ** площадь водосбора оз. Сундозера дана в природных границах.

Таблица 3
Вековые водные ресурсы бассейна Онежского озера [3]

Бассейны	Озера		Водохранилища		Всего	
	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Р. Водла	10.10	45.08	1.03	16.9	11.13	39.5
Р. Суна	2.45	11.1	4.42	72.4	6.87	24.4
Р. Шуя	5.22	23.7	0.65	10.7	5.87	20.9
Побережье Онежского озера	4.29	19.7	—	—	4.29	15.2
Всего по бассейну	22.06	100	6.10	100	28.16	100

Таблица 4
Ресурсы речного стока бассейна Онежского озера (в пределах Карелии)

Бассейн	Площадь водосбора, тыс. км ²	Среднегодовой сток, км ³	Годовой сток различной обеспеченности, км ³			
			25 %	50 %	75 %	95 %
Р. Шуя	10.10	3.09	3.56	2.99	2.51	1.95
Р. Суна	7.67	2.36	2.71	2.22	1.85	1.54
Р. Водла	13.70	4.43	5.20	4.43	3.66	2.54
Всего по бассейну	43.90	14.1	16.3	13.9	11.6	8.74

Гидрологическая изученность бассейна Онежского озера — одна из наиболее высоких на Европейском Севере. Сток в озеро фактическими измерениями контролируется на площади около 40.6 тыс. км² (72 % территории).

Значения среднегогодового годового стока по водосбору Онежского озера изменяются от 8 л/с с км² в северо-западной до 14 — в восточной части бассейна, хотя в отдельных речных бассейнах с аномальным режимом наблюдаются модули до 15—16 л/с с км². Пространственная изменчивость годового стока определяется неоднородностью геоморфологического строения бассейна, гидрогеологических условий, различиями в растительном покрове и неравномерностью выпадения осадков по территории. В последние годы усиливается влияние антропогенного фактора на ландшафты бассейна, что может отразиться на количественных показателях стока. Суммарный среднегогодовой сток в Онежское озеро равен 17.8 км³.

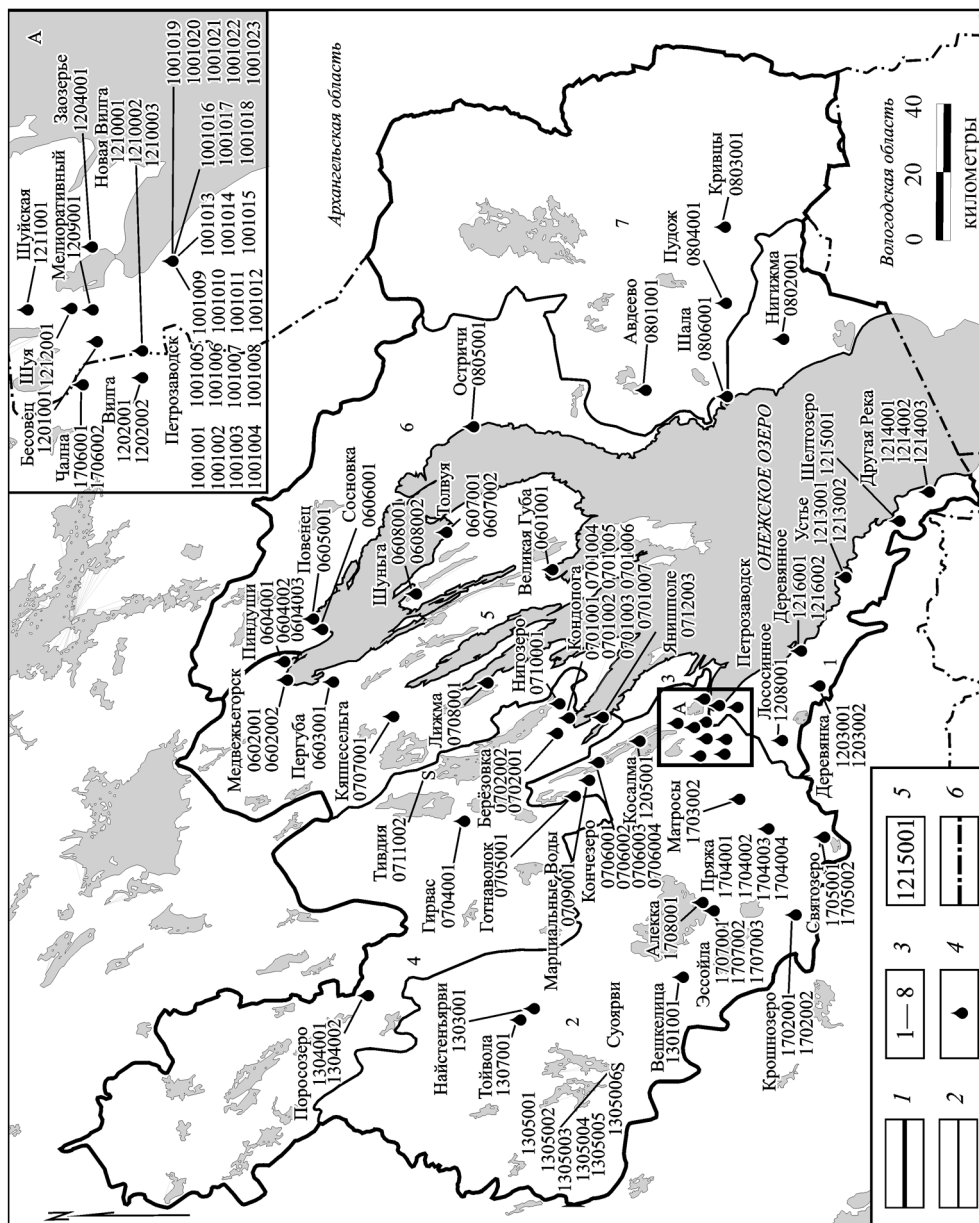
В пределах Карелии ресурсы речного стока оценены в 14.1 км³ [4]. Распределение их по основным водосборам представлено в табл. 4.

Бассейн Онежского озера — наиболее экономически освоенная территория Республики Карелия. Здесь находится значительная часть промышленных и сельскохозяйственных предприятий, рыбохозяйственные и рекреационные объекты, что определяет достаточно высокую степень антропогенной нагрузки на природную, в том числе и водную, среду. На водосборе проживает большая часть населения всей республики, тогда как доля площади водосбора — около четверти территории Карелии. Основная нагрузка приходится на прибрежную зону водоема, где расположено основное число наиболее крупных водопотребителей (рис. 1). Кроме того, в 2-километровой зоне побережья проживает 81 % жителей от общего числа населения бассейна и сосредоточено 95 % объема водопотребления.

Структура водохозяйственного комплекса карельской части бассейна Онежского озера может быть представлена в следующем виде (рис. 2).

В настоящее время накоплены большие объемы информации по водным ресурсам Карелии и их использованию. В Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН в программном продукте MapInfo 9.5 создана ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование» [1, 2].

Структура ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование» представлена на рис. 3. Геоинформационная система состоит из нескольких баз данных: «Водные объекты», «Водосборные бассейны» и «Водопотребители». Для ГИС сформированы цифровые картографические базы данных: «Водосборные бассейны», «Водоемы», «Водотоки», «Водопотребители», содержащие картографическую и атрибутивную информацию. Для работы с ГИС



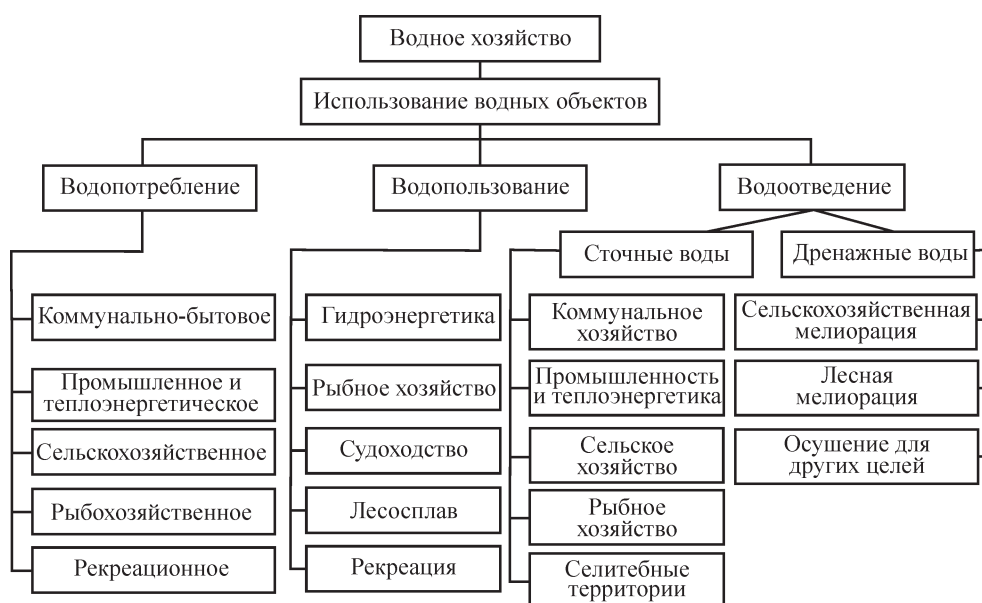


Рис. 2. Структура водохозяйственного комплекса карельской части бассейна Онежского озера.

создана система запросов, которая позволяет оперативно получать необходимую информацию, находить нужные выборки данных за отдельный год или в динамике по годам, создавать отчеты и тематические карты.

База «Водосборные бассейны» содержит информацию по 5 водосборным бассейнам 1-го порядка: Белое море, Каспийское море, Ботнический залив Балтийского моря, Онежское озеро, Ладожское озеро, а также по 19 водосборным бассейнам 2-го порядка (например, р. Шуя, р. Водла и др.).

Для водных объектов слоев «Водоемы» и «Водотоки» была разработана система уникальных кодов, которая позволила идентифицировать 3524 озера и 2069 рек на карте масштаба 1:1 000 000. Код озера состоит из двух заглавных букв «ОЗ» (озеро), двух заглавных букв названия водосборного бассейна 1-го порядка (Белое море — «БМ», Каспийское море — «КМ», Ботнический залив — «БЗ», Онежское озеро — «ОН», Ладожское озеро — «ЛА»), кода водосборного бассейна 2-го порядка (от 01 до 19) и трехзначного номера водоема (от 001 до n). Код реки составляется из одной заглавной буквы «Р» (река), двух заглавных букв названия водосборного бассейна 1-го порядка, кода водосборного бассейна 2-го порядка, двухзначного номера главной реки (от 01 до n), двухзначного номера притока 1-го порядка (от 01 до n) и т. д. (если есть еще притоки). Структура таблиц по водным объектам включает информацию о кадастровом номере, морфометрии (площади озера, длине береговой линии, глу-

Рис. 1. Размещение водопотребителей по бассейну Онежского озера (отчет по запросу в ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование»).

Индексы частных водосборов: 1 — бассейн малых юго-западных притоков, 2 — бассейн р. Шуя, 3 — бассейн малых западных притоков, 4 — бассейн р. Суна, 5 — Заонежье, 6 — бассейн малых восточных притоков, 7 — бассейн р. Водла, 8 — бассейн юго-восточных притоков.

1 — границы водосбора Онежского озера, 2 — границы частных водосборов, 3 — индексы частных водосборов, 4 — водопотребитель, 5 — код водопотребления, 6 — границы Республики Карелия.

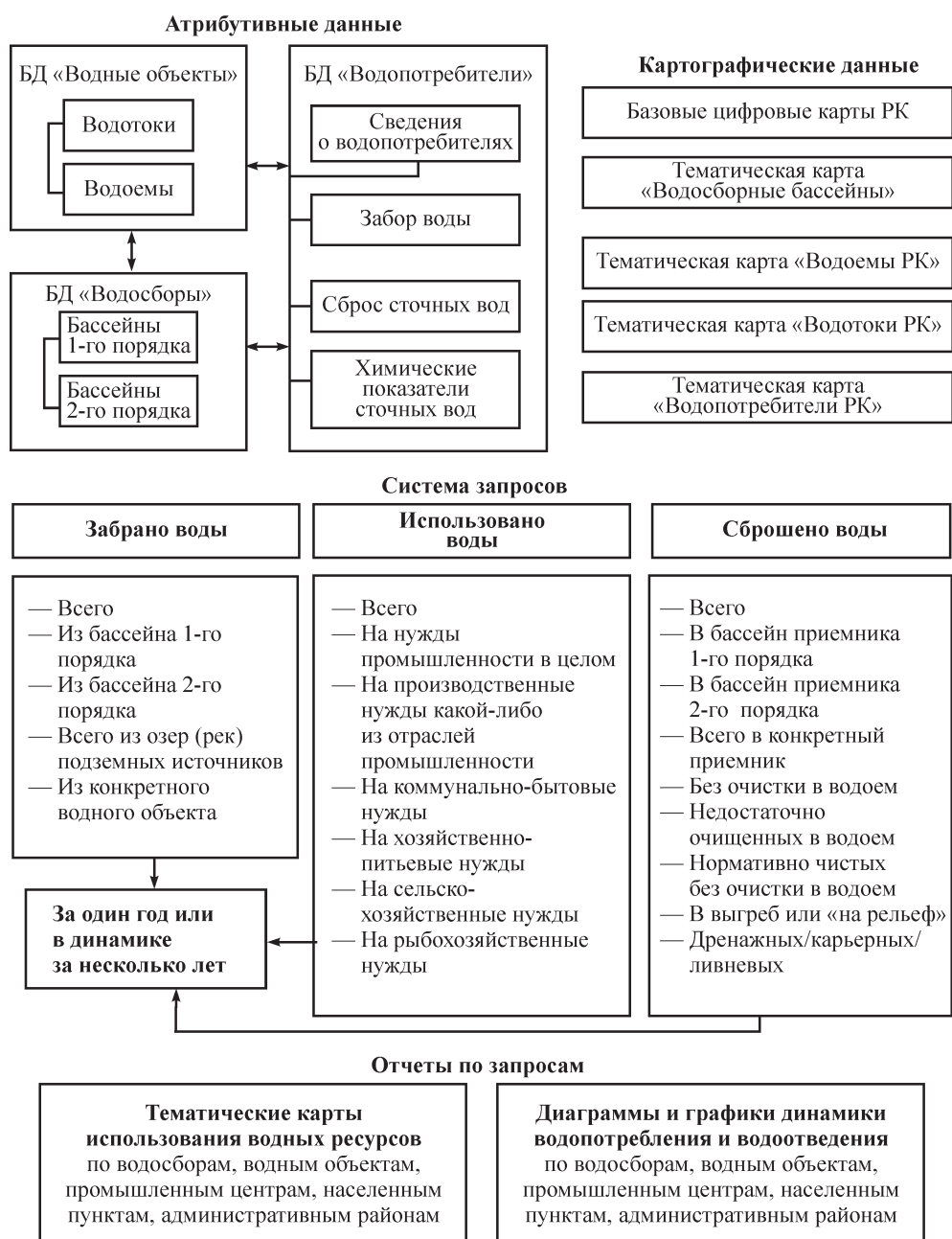


Рис. 3. Структура ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование».

бине, длине реки и т. п.), водоохранных зонах, прибрежных защитных полосах и категориях рыбохозяйственной значимости.

База данных «Водопотребители» состоит из четырех таблиц: «Сведения о водопотребителях», «Забор воды», «Сброс сточных вод», «Химические показатели сточных вод». Для осуществления связи между таблицами была разработана система индексных полей — код административного района, населен-

Таблица 5
Структура водопотребления по бассейну Онежского озера
(2009 г.)

Отрасли экономики	Использовано воды	
	тыс. м ³	%
Коммунально-бытовое хозяйство	46507	35.4
Промышленность* и теплоэнергетика	61408	47.6
Сельское хозяйство	203	0.2
Рыбное хозяйство	22617	17.5
Всего по бассейну	128956	100
Потери	2794	2.0

Примечание. * Собственные хозяйственно-питьевые нужды промышленности включены в промышленное водопотребление.

ного пункта, водного объекта. Каждому водопользователю для идентификации был присвоен уникальный семизначный код, который складывается из кода района, кода населенного пункта и номера водопотребителя (РПВ).

Основная таблица этой базы данных «Сведения о водопотребителях» содержит информацию о водопользователе: название, размещение (административный район, населенный пункт), специализация (отрасль и суботрасль экономики), источник водоснабжения, водоподающие сети, а также водные бассейны (1-го и 2-го порядков), к которым относится источник водоснабжения.

Таблица «Забор воды» включает в себя количественные данные по забору воды из природных источников и других водоподающих сетей, цели использования воды (хозяйственно-питьевые, промышленные, рыбохозяйственные, сельскохозяйственные), информацию о передаче воды (чистой и после использования), а также о ее потерях.

Таблица «Сброс сточных вод» содержит данные о приемнике сточных вод (водные объекты, выгреб, рельеф), водном бассейне приемника (1-го и 2-го порядков), количестве сброшенной воды, качестве очистки, количестве переданной по сети воды (чужих стоков, дренажных вод), мощности очистных сооружений, оборотном и повторном водопотреблении.

Таблица «Химические показатели сточных вод» содержит информацию о наличии и количестве в воде взвешенных частиц, нефти, биологического потребления кислорода и других химических показателей.

База данных «Водопользователи» формируется для отдельного года. В настоящее время созданы базы за 2002, 2003, 2005, 2007, 2008 и 2009 гг., что дает возможность анализировать динамику водопотребления, делать прогнозы развития водного хозяйства и т. д.

ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование» позволила выполнить анализ современного состояния и динамики использования водных ресурсов бассейна Онежского озера. В 2009 г. централизованный забор воды для нужд населения и отраслей экономики в целом по бассейну Онежского озера составил 131.7 млн м³ (или 59.6 % от общего по Республике Карелия). Используется 98 % забранной воды, остальное теряется при транспортировке (табл. 5). По сравнению с 2003 г. объем используемой воды существенно не изменился, а потери снизились с 7 до 2 %.

Таблица 6
Структура водопотребления
по основным промышленным центрам, тыс. м³ (2009 г.)

Промышленные центры	Забрано воды	Использовано воды, тыс. м ³		
		всего	на коммунально-бытовые нужды	в промышленности*
Петрозаводск	42339	40095	36490	3605
Кондопога	59405	59400	3851	55518
Медвежьегорск	1079	1003	773	230
Суоярви	2107	2057	576	1481

Примечание. * Собственные хозяйственно-питьевые нужды промышленности включены в промышленное водопотребление.

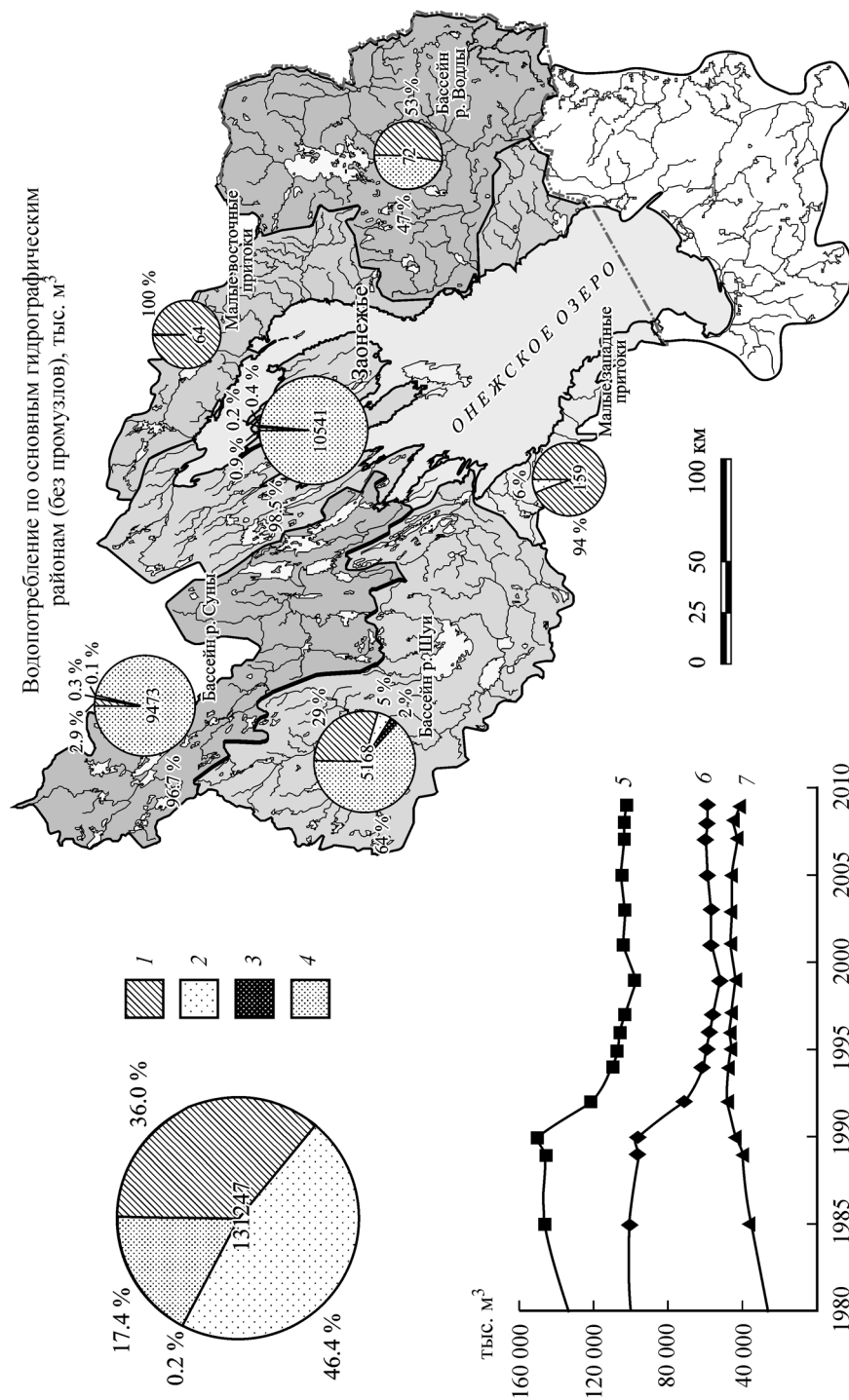
Наиболее значительным в бассейне Онежского озера является промышленное водопотребление. Его объем составил 61.4 млн м³. Индустрия представлена здесь целлюлозно-бумажным производством, переработкой леса, машиностроением и металлообработкой, производством строительных материалов, пищевой промышленностью, полиграфией. Промышленное водопотребление практически целиком сосредоточено в крупных промышленных центрах (городах Петрозаводске, Кондопоге, Медвежьегорске, Суоярви) (табл. 6). На рис. 4 приведен пример отчета по запросу «Структура и динамика водопотребления в бассейне Онежского озера» в ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование».

Начиная с 1989 г. в связи с ухудшающейся социально-экономической обстановкой в Карелии, как и во всей стране, происходил спад производства, что повлекло за собой резкое падение масштабов промышленного водопотребления. Спад произошел во всех отраслях индустрии, а некоторые из них, представленные единственными предприятиями, полностью исчезли. Только после 1999 г. начался некоторый незначительный рост объемов производства. Динамика водопотребления в прибрежной зоне Онежского озера с 1980 г. по настоящее время представлена на рис. 4 (собственные хозяйственно-питьевые нужды промышленности включены в промышленное водопотребление).

Наиболее водоемкая отрасль промышленности — целлюлозно-бумажная. Ее доля в промышленном водопотреблении бассейна (производственные + хозяйственно-питьевые нужды) составляет 91 %. Снижение уровня лесозаготовок и ряд других причин начиная с 1989 г. повлекли за собой сокращение производства и снижение объемов водопотребления. Одно из крупнейших предприятий Карелии — ОАО «Кондопога» — внесло основной «вклад» в спад промышленного водопотребления в бассейне. Так, в 1989 г. на его нужды было

Рис. 4. Пример отчета по запросу «Водопотребление в бассейне Онежского озера» в ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование».

Водопотребление по бассейну Онежского озера в целом, тыс. м³: 1 — коммунально-бытовое хозяйство, 2 — промышленность, 3 — сельское хозяйство, 4 — рыбное хозяйство. Динамика водопотребления прибрежной зоны Онежского озера, тыс. м³: 5 — всего, 6 — промышленное, 7 — коммунально-бытовое.



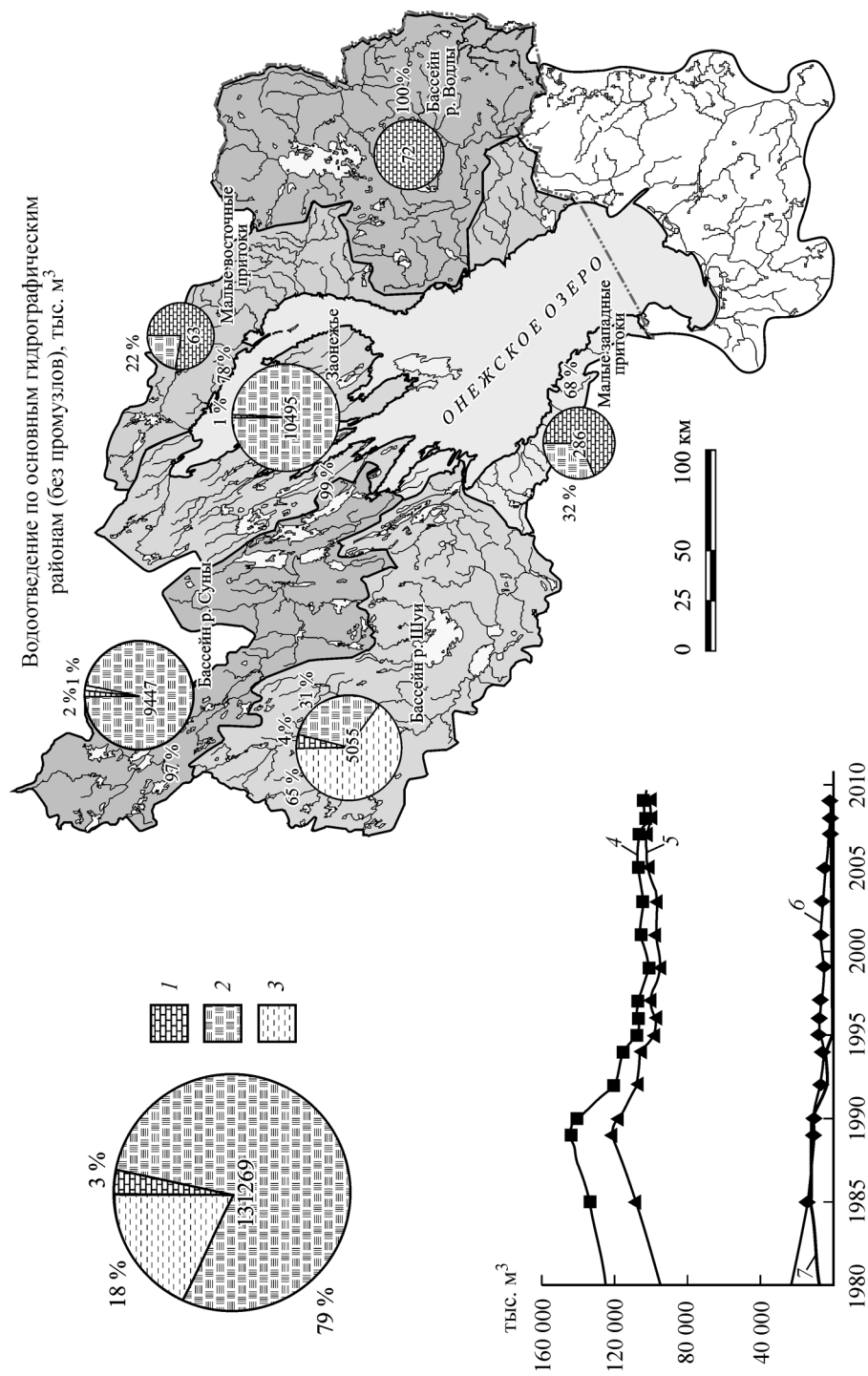


Таблица 7

Очистка сточных вод по промышленным центрам, тыс. м³ (2009 г.)

Промышленные центры	Сброшено сточных, дренажных и ливневых вод, тыс. м ³				
	всего	в водные объекты			в выгреб и на рельеф
		без очистки	недостаточно очищенных	нормативно чистых без очистки	
Петрозаводск	44018	1790	42228	0	0
Кондопога	58774	0	58158	592	24
Медвежьегорск	805	558	0	59	188
Суоярви	1873	91	1749	0	33

израсходовано 68.0 млн м³ воды, после этого водопотребление предприятия стало сокращаться и в 1998 г. достигло минимума — 44.0 млн м³, затем снова начало расти и к 2009 г. достигло 54.9 млн м³.

Следующим по величине является коммунально-бытовое водопотребление. В целом на протяжении многих лет его объем медленно, но постоянно рос. По сравнению с 1980 г. он увеличился в 1.6 раза и в 2009 г. составил 44.7 млн м³. Коммунально-бытовое водопотребление зависит от людности населенных пунктов и степени развития коммунального хозяйства. Вследствие этого основные его объемы сосредоточены в наиболее крупных городах бассейна — Петрозаводске, Кондопоге, Суоярви и Медвежьегорске (табл. 6).

Объем сельскохозяйственного водопотребления в бассейне незначителен. Начиная с 1990 г. он постоянно падал и в 2009 г. составил 0.2 млн м³.

Рыбохозяйственное водопотребление, практически прекратившееся после 1991 г., с 2002 г. начало восстанавливаться. Его общий объем в 2009 г. достиг 22.6 млн м³ и имеет тенденции к росту.

Водоотведение в бассейне в настоящее время формируется промышленными, коммунально-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. Доля каждого вида примерно пропорциональна соответствующему объему водопотребления. Общий объем сбросов в бассейне составил 131.7 млн м³. Основную их часть составляют сточные воды — 124.5 млн м³. Кроме них организованно сбрасываются дренажные и карьерные (7.0 млн м³), а также ливневые воды (0.14 млн м³). После 1989 г. в течение нескольких лет происходило небольшое снижение сбросов, обусловленное сокращением производства, в дальнейшем их объем сохранялся примерно постоянным. На рис. 5 представлен пример отчета по запросу «Структура и динамика водоотведения в бассейне Онежского озера» в ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование».

В настоящее время в бассейне Онежского озера самостоятельный сброс сточных вод осуществляют 77 водопользователей. Большая часть (79.0 %)

Рис. 5. Пример отчета по запросу «Водоотведение в бассейне Онежского озера» в ГИС «Водные ресурсы Республики Карелия и их использование».

Водоотведение по бассейну Онежского озера в целом, тыс. м³: 1 — загрязненные без очистки, 2 — недостаточно очищенные, 3 — нормативно чистые без очистки.

Динамика водоотведения прибрежной зоны Онежского озера, тыс. м³: 4 — сброшено всего; 5 — сточные воды, прошедшие очистку; 6 — сточные воды без очистки; 7 — сточные воды нормативно чистые, без очистки.

сбрасываемых ими стоков проходит очистку, но в недостаточной степени, 17.7 % считаются нормативно чистыми и сбрасываются без очистки, 2.4 % — сбрасываются загрязненными без очистки в водоемы, остальные 0.9 % — в выгреб и «на рельеф». В будущем существенные экологические проблемы могут возникнуть в связи со строительством на территории Карелии (в том числе и в бассейне Онежского озера) газопровода Видяево (Штокмановское месторождение)—Волхов.

Основную долю объема сточных вод дают промышленные центры Петрозаводск и Кондопога, что обуславливает приуроченность экологических проблем к районам озера, непосредственно примыкающим к ним и являющимися приемниками сточных вод (Петрозаводская и Кондопожская губы). В связи с этим необходима модернизация очистных сооружений и в первую очередь указанных промцентров (табл. 7).

21 водопользователь бассейна сбрасывает сточные воды (или их часть) неочищенными. Наибольший объем неочищенных сточных вод сбрасывают в озеро объекты ЖКХ. Петрозаводска, Пудож и Медвежьегорска. ОАО «Кондопога», напротив, теперь подвергает очистке все сточные воды.

Для сохранения и улучшения качества водных ресурсов Онежского озера необходимо выполнять все установленные водоохранные меры, и в первую очередь сократить сбросы загрязненных вод в акватории, для чего построить очистные сооружения, в частности, в Медвежьегорске, Пудож, Суоярви. Имеющиеся очистные сооружения необходимо усовершенствовать и довести очистку сточных вод до состояния нормативно очищенных. В перспективе промышленные предприятия, расположенные в бассейне Онежского озера, должны перейти на малоотходную технологию или на замкнутый цикл водобеспечения, что существенно сократит поступление загрязнений в водные объекты.

Список литературы

- [1] Богданова М. С., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Применение геоинформационных технологий в водохозяйственных исследованиях // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие и геоэкологические проблемы Балтийского региона». Великий Новгород, 2009. С. 25—31.
- [2] Богданова М. С., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Применение ГИС-технологий в исследованиях водохозяйственных комплексов // Физические проблемы экологии (экологическая физика). № 16. М., 2010. С. 47—52.
- [3] Государственный водный кадастр. Разд. 1. Сер. 3. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Т. 1. РСФСР. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Онежского и Ладожского озер. Л., 1986. 688 с.
- [4] Литвиненко А. В., Филатов Н. Н., Лозовик П. А., Карпечко В. А. Региональная экология: эколого-экономические основы рационального использования водных ресурсов Карелии // Инженерная экология. 1998. № 6. С. 3—13.
- [5] Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л., 1965. 700 с.
- [6] Швец П. Д. Гидрологическая изученность Онежского озера и его бассейна // Исследования режима и расчеты водного баланса озер-водохранилищ Карелии. Л., 1977а. Вып. 2. С. 3—24.
- [7] Швец П. Д. Водный баланс Онежского озера // Сб. работ Ленинградской гидрометеосерватории. Л., 1977б. Вып. 2. С. 25—53.

Петрозаводск
nfilatov@nwpi.krc.karelia.ru

Поступило в редакцию
22 февраля 2011 г.