

УДК 551.312.012:502.51(471,21)

Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области

Д.Б. Денисов, Н.А. Кашулин, П.М. Терентьев, С.А. Валькова

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Аннотация. На примере субарктической озерно-речной системы изучены современные тенденции развития водорослевых сообществ, бентоса и ихтиофауны в условиях многофакторного антропогенного воздействия в зоне деятельности апатитовой промышленности, а также в естественно-природных условиях посредством комплексного бассейнового подхода. Инвентаризирован видовой состав и структура сообществ, популяционные характеристики, особенности реакции гидробионтов на различные факторы. Исследованы особенности формирования качества вод арктических водоемов на территории водосборной площади в зависимости от типа представленных ландшафтно-географических условий, степени антропогенных преобразований, интенсивности и длительности загрязнения, а также получена информация о современном состоянии и тенденциях изменения биосистем.

Abstract. By the example of subarctic lake-river system the modern tendencies of algal, benthos and fish communities under multiple-factor anthropogenic influences of apatite industry as well as natural conditions have been investigated using the comprehensive watershed approach. Species composition and structure of the communities, population characteristics and particularities of hydrocole responses on different impacts have been inventoried. The watersheds particularities of the water quality formation of the arctic waterbodies have been analyzed taking into account the landscape conditions, the technogenic transformation degree of ecosystems and the intensity and duration of pollution. Besides the information of modern status and tendencies of biosystems modifications have been obtained.

Ключевые слова: комплексные исследования, бассейновый подход, субарктические водоемы, озерно-речная система, условия формирования вод, фитопланктон, зообентос, ихтиофауна, промышленное загрязнение, антропогенное воздействие

Key words: complex investigations, watershed approach, subarctic water reservoirs, lake-river system, water formation conditions, phytoplankton, benthos, fish fauna, industrial pollution, anthropogenic influence

1. Введение

Современная динамика формирования качества вод и развития биоты пресноводных экосистем Арктики имеет ряд особенностей, обусловленных специфическими природными условиями и многофакторным антропогенным воздействием, которые имеют как глобальный, так и региональный характер. Природные комплексы, находящиеся в зоне влияния промышленных предприятий, испытывают мощную техногенную нагрузку, вызывающую их деградацию на всех уровнях организации (Кашулин и др., 1999). Модельные озерно-речные системы являются удобным объектом исследования для познания механизмов взаимодействия гидроэкосистем с ландшафтно-климатическими компонентами среды, включая антропогенные факторы. В настоящее время, несмотря на широкое разноплановое изучение водоемов региона, мало внимания уделяется особенностям функционирования лотических (речных и озерно-речных) систем, которые отражают процессы, протекающие на водосборах, и имеют целый ряд специфических отличий (Даувальтер, 1999; Денисов, 2005; 2007; Кашулин и др., 1999; 2004; 2007). Прежде всего, это связано с особенностями распределения загрязняющих веществ в воде и донных отложениях, быстрой сменой экологической ситуации в зависимости от динамики поступления загрязняющих веществ, гидрологического режима и ряда других факторов, что в конечном итоге определяет особенности функционирования вмещающей озерной экосистемы. Особое значение имеют исследования горных озерно-речных экосистем, которые представляют собой удобный модельный объект в силу наличия целого спектра разнотипных условий, обусловленных как высотной поясностью, так и геохимическими и гидрологическими особенностями, включая антропогенные факторы (Денисов и др., 2006). Это позволяет на сравнительно небольшой территории провести комплексные исследования закономерностей динамики биотической составляющей в зависимости от представленного комплекса условий, оценить степень преобразования качества вод и сообществ водных организмов, а также устойчивость экосистем к антропогенному воздействию. Практика показывает, что озерно-речные системы Хибин отвечают всем необходимым требованиям к решению подобных задач (Денисов, Кашулин, 2007).

2. Район, объекты и методы исследований

Исследования выполнены на модельных озерно-речных системах в пределах Хибинского горного массива, представляющего собой удобный объект мониторинга в силу сравнительной доступности и возможности сезонного наблюдения за состоянием экосистем. Проведен анализ динамики гидрохимических показателей и состояния всех трофических уровней экосистемы, включая взаимосвязанные сообщества фитопланктона, перифитона, бентоса и ихтиофауны.

Ландшафты Хибинского горного массива, согласно системе физико-географического районирования, выделяются как особый район Западно-Кольской провинции, входящей в состав лесной зональной области Балтийской кристаллической страны. В пределах района исследований выражена высотная поясность, и выделяются лесной, лесотундровый и тундровый пояса, в свою очередь, расчленяемые в зависимости от типа растительных группировок и особенностей микрорельефа – крутизны склонов и теплообеспеченности (*Природные условия...*, 1986; *Куплетский*, 1928; *Гладцин*, 1928; *Исследование...*, 2002; *Максимова*, 1999). Начиная с 20-30 гг. XX века, различия в экосистемах водоема стали определяться типом и степенью антропогенного воздействия как результат развития горно-перерабатывающего комплекса предприятия апатитовой промышленности и строительства городов. Поступление загрязнителей, включая кислотообразующие соединения и тяжелые металлы (ТМ), на водосборные территории водоемов аэротехногенным путем началось во время интенсивного промышленного освоения и индустриального развития Кольского Севера и северо-запада Европы.

Основными объектами исследования являлись водные объекты водосборного бассейна оз. Большой Вудъявр, представляющие собой озерно-речную систему, включающую сам водоем, озеро Малый Вудъявр, а также их притоки (рис. 1). Детально была изучена река Саамка с притоками, испытывающая мощное загрязнение шахтными водами рудника Кировский комбината "Апатит". Река характеризуется антропогенными нарушениями русла вследствие строительства на ее берегах рудника, отвалов, технологического отстойника и поселка Кукисвумчорр. Для нее характерна ярко выраженная динамика уровня и прозрачности воды (*Денисов, Валькова*, 2008). Для сравнения условий обитания организмов были выбраны разнотипные притоки первого порядка впадающие на различных участках реки. Первые два протекают на территории поселка, а третий представляет собой условно фоновый по гидрохимическим показателям водоток, берущий начало у болотистого подножья горы Кукисвумчорр и не испытывающий прямого загрязнения хозяйственными и рудничными стоками.

Как было показано в предыдущих работах (*Денисов, Кацулин*, 2007; *Денисов и др.*, 2007), воды оз. Бол. Вудъявр неоднородны в гидрохимическом отношении, что позволяет с определенными допущениями выделять на акватории озера 4 зоны (рис. 1). Исходя из этого, отбор гидробиологических проб, включая образцы зообентоса и фитопланктона с оценкой содержания хлорофиллов, был приурочен к соответствующим зонам и проведен по стандартным методикам, описанным ранее (*Руководство...*, 1992а; *Денисов, Кацулин*, 2007; *Барина и др.*, 2006; *Барина, Медведева*, 1996). Отбор проб для анализа проводился с учетом сезонной динамики в период открытой воды, а также из-под льда в период с апреля по сентябрь. Обловы рыб проводились стандартным набором ставных сетей длиной 25 м и высотой 1.5 м с размерами ячеек: 10, 16, 20, 31, 36, 40, 45 мм из нейлонового монофиламента с диаметром нити 0.15 мм для сетей с малой ячейкой и 0.17 мм для сетей с большой ячейкой. Это позволяло вылавливать рыб всех возрастных групп с размерами 8-10 см и более.

Камеральная обработка гидробиологических образцов была проведена стандартными методами (*Руководство...*, 1992b) с использованием следующих источников (*Определитель пресноводных беспозвоночных...*, 1977; *Панкратова*, 1983; *Всеволодова-Перель*, 1997; *Жадин*, 1952; *Лепнева*, 1966; *Аршаница, Лесников*, 1987; *Кацулин и др.*, 1999; *Известия...*, 1956; *Мина*, 1981; *Правдин*, 1966).

Для понимания процессов формирования качества вод на водосборном бассейне в программу комплексных исследований был включен отбор и анализ проб снега и воды для оценки накопления загрязнителей в снежном покрове и водоемах и водотоках (*Паткин*, 1996; 1998; *Standard method...*, 1975; *Руководство...*, 1977) (рис. 1). Анализ гидрохимических показателей выполнен в лаборатории аналитической химии ИППЭС КНЦ РАН.

Концентрацию хлорофиллов в планктоне рассчитывали по формуле Джеффри и Хамфри (*Jeffrey, Humphrey*, 1975). При исследовании факторов, определяющих развитие водорослевых сообществ, были учтены метеорологические условия, включая интенсивность солнечного сияния, температуру воздуха, количество осадков и высоту снежного покрова. Метеорологические данные для анализа были любезно предоставлены Центром лавинной безопасности ОАО "Апатит".

При анализе степени трансформации биоты были использованы данные архивных материалов и отчетов, выполненных Кольской базой АН СССР (*Материалы...*, 1940; *Каныгина*, 1939). Исследования включали определение концентрации тяжелых металлов в органах и тканях рыб. Дополнительно был

проведен сравнительный анализ распределения некоторых приоритетных элементов-загрязнителей в органах и тканях сига исследуемых модельных объектов с другими водоемами Мурманской области.

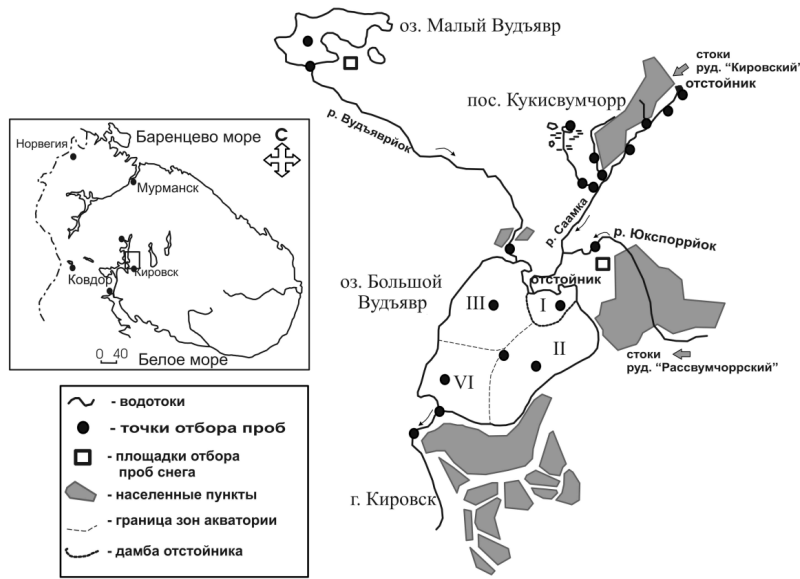


Рис. 1. Карта-схема точек отбора гидрохимических и гидробиологических проб на водосборном бассейне оз. Большой Вудъявр.

I – зона отстойника рудничных вод,
 II – загрязняемая зона,
 III – "условно чистая" зона,
 VI – зона смешивания вод

3. Результаты и обсуждение

Содержание элементов в снеговом покрове

В условно фоновом районе содержание в толще снега таких элементов, как Al, Sr, Ni, Cu, Pb и P в растворенной форме выше, чем в загрязняемом. В твердой фракции наблюдалась обратная картина – концентрации Al, Sr, Cu, Fe и Mn выше в загрязняемом районе по сравнению с условно фоновым (табл. 1).

Очевидно, это объясняется характером аэротехногенного загрязнения: в долине оз. Мал. Вудъявр загрязнители поступают преимущественно в растворенной форме с атмосферными осадками, а долина р. Юкспорйоок подвержена интенсивному загрязнению твердой фракцией – пылевыми частицами. Значение также имеет аккумуляционная способность выбранных участков. В условиях котловины оз. Мал. Вудъявр процессы аккумуляции загрязнителей снежным покровом очевидно происходят интенсивнее, чем на склонах долины р. Юкспорйоок. Таким образом, в период таяния снега на фоновых участках водосборного бассейна в водотоки поступают элементы в растворимой форме, что определяет высокую токсичность тяжелых металлов и алюминия и хорошую усвояемость биогенов автотрофами. В то же время с загрязняемых участков водоема в процессе снеготаяния поступают элементы во взвешенном состоянии, что определяет низкую прозрачность воды, а также вовлечение элементов – загрязнителей и биогенов в гидрохимические процессы, включая растворение и комплексы различных химических реакций.

Таблица 1. Содержание некоторых элементов-загрязнителей (мкг/л) в снеговом покрове территории водосбора оз. Бол. Вудъявр

Фракция	Объект	pH	Ca	Na	N	P	PO ₄	Al	Sr	Ni	Cu	Pb	Fe	Mn
Растворенные	долина оз. Мал. Вудъявр	4.82	0.24	0.55	323	22	11	43	6.9	2.1	3.5	1.7	16	1.4
	долина р. Юкспорйоок	5.15	0.48	0.45	348	10	2	28	5.6	1.5	3.1	0.6	13	2.0
Твердые	долина оз. Мал. Вудъявр	-	-	-	-	-	-	38	0.86	1.7	0.8	1.04	22	0.5
	долина р. Юкспорйоок	-	-	-	-	-	-	82	2.74	0.7	1.0	0.91	42	1.2

Гидрохимический состав вод

Анализ содержания элементов и различных гидрохимических показателей показал существенные различия в качестве воды озера Бол. Вудъявр в различные сезоны (рис. 2). В июне в результате интенсивного снеготаяния и поступления различных элементов с территории водосбора в водоеме наблюдается сложная картина перераспределения загрязнителей. В период межени в водоеме происходило четкое разделение гидрохимических зон: в отстойнике шахтных вод концентрации загрязнителей были в несколько раз выше, чем в других участках акватории. Было показано, что загрязненные стоками рудника Кировский воды р. Саамка по мере продвижения от отстойника к устью в значительной степени разбавляются притоками, что в несколько раз снижает концентрации элементов-загрязнителей и значения pH (рис. 3).

Исследованы гидрохимические показатели основных притоков оз. Бол. Вудъявр (табл. 2).

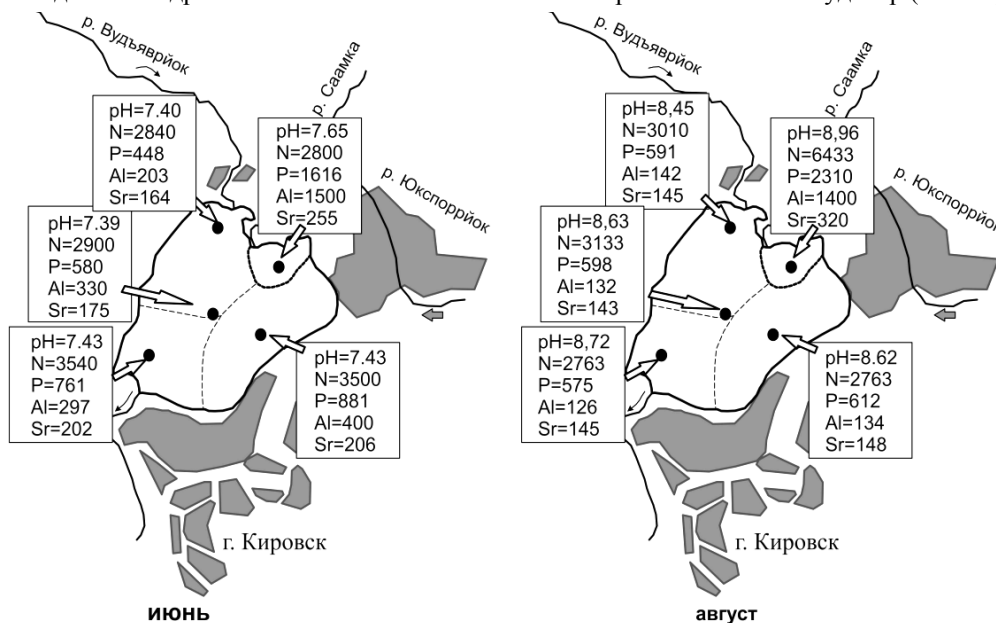


Рис. 2. Гидрохимические зоны оз. Бол. Вудъявр в различные сезоны: рН и содержание приоритетных загрязнителей (мкг/л)

Таблица 2. Некоторые гидрохимические показатели оз. Мал. Вудъявр и рек, питающих оз. Бол. Вудъявр. В числителе – среднее значение, в знаменателе – диапазон

	рН	Щелочность, ($\mu\text{eq/l}$)	Р(общ) мгР/л	Н(общ.) мгN/л	Са (мг/л)	SO ₄ (мг/л)
М. Вудъявр	<u>7.17</u> 7.04-7.27	<u>240.9</u> 199-282	<u>5.2</u> 5.0-5.6	<u>148.43</u> 56-733	<u>0.72</u> 0.68-0.86	<u>1.76</u> 1.38-1.85
р. Саамка	<u>8.27</u> 7.67-9.05	<u>1038</u> 963-1512	<u>1603</u> 672-2041	<u>4892</u> 3287-7014	<u>9.74</u> 5.71-13.70	<u>28.5</u> 20.1-36.8
р. Юкспорйок	<u>8.83</u> 8.64-9.02	<u>2126</u> 1985-2278	<u>2187</u> 795-2890	<u>8157</u> 2890-13110	<u>8.59</u> 4.13-14.74	<u>41.8</u> 28.8-90.3
р. Вудъяврйок	<u>7.01</u> 6.92-7.03	<u>185</u> 184-187	<u>4</u> 2-7	<u>57</u> 29-94	<u>1.05</u> 0.65-1.57	<u>1.9</u> 1.85-2.07

Фитопланктон и содержание хлорофиллов

Анализ показал, что в период снеготаяния и высокой водности фитопланктон слабо развивается в водоеме, что характеризуется низким уровнем биомассы во всех гидрохимических зонах и низкой долей хлорофилла "а" (рис. 4). В данный период в составе фитопланктона водоема преобладают сине-зеленые и диатомовые водоросли, о чем свидетельствует высокая доля хлорофилла "с". Водоросли отсутствовали в участке впадения р. Вудъяврйок, а также ничтожно малые значения были получены для восточной части водоема. Это объясняется неблагоприятными температурными условиями, а также характером течений, препятствующих развитию водорослей. Начало летнего развития фитопланктона в водоеме приурочено к центральной части и ближе к стоку, а также в пределах отстойника. В меженный период состояние водорослевых сообществ во многом определяется гидрохимическими условиями соответствующих зон. В августе в фитопланктоне возрастает доля зеленых водорослей, что находит отражение в увеличении содержания хлорофилла "а" (рис. 4).

Исследование сезонной динамики содержания хлорофиллов в 2005-2006 гг. показало, что динамика и уровень

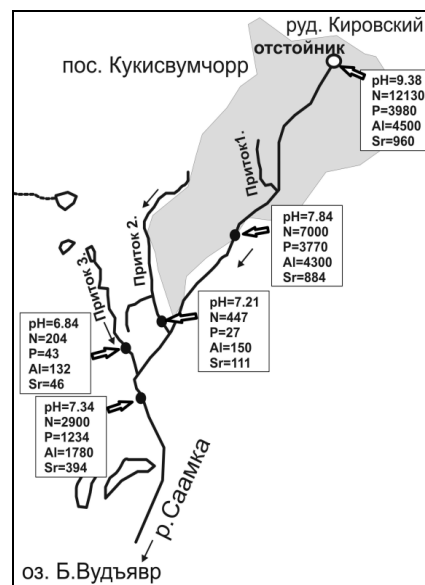


Рис. 3. Значения рН и содержание приоритетных загрязнителей (мкг/л) в различных участках р. Саамка и ее притоках

содержания хлорофилла "а" может сильно различаться в разные годы (рис. 5).

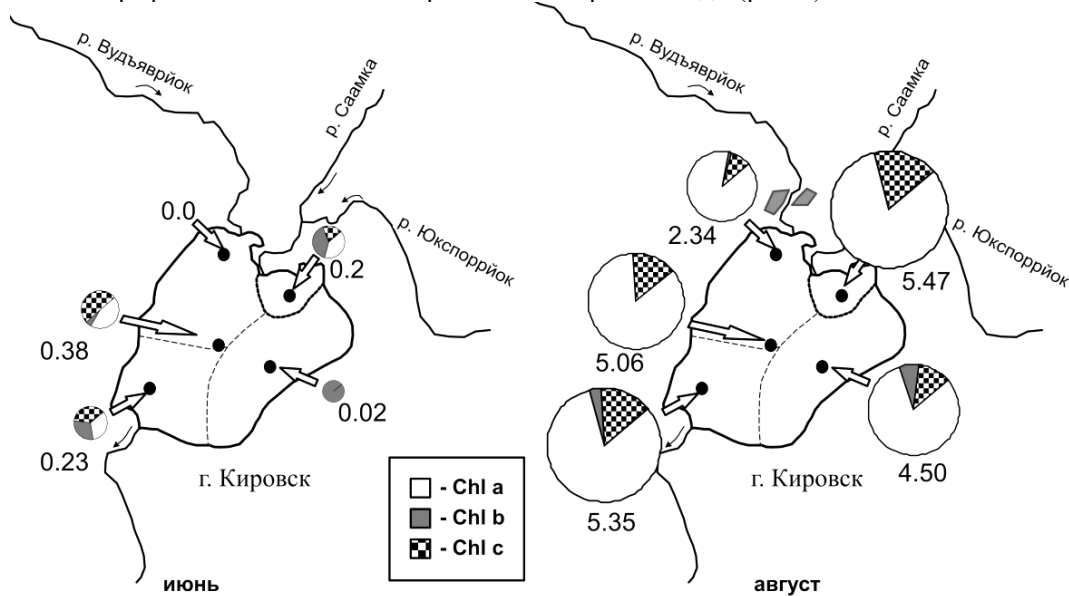


Рис. 4. Соотношение содержания хлорофиллов (%) и биомасса водорослей (г/м³) в различных гидрохимических зонах оз. Бол. Вудъявр

В 2005 г. максимум содержания хлорофилла "а" пришелся на 3 июля, а в 2006 г. – на 18 июля, причем среднее и максимальное содержание хлорофиллов "а" и "b" было выше, а хлорофилла "с" – меньше по сравнению с прошлым годом. Хлорофилл "с" – характерный пигмент для диатомовых водорослей, поэтому снижение его содержания, очевидно, связано с уменьшением доли диатомовых водорослей по сравнению с зелеными в 2006 г. Это подтверждается исследованиями видового состава, которые показали снижение обилия диатомовых и увеличение обилия зеленых водорослей к концу лета.

Максимум развития фитопланктона в озере Бол. Вудъявр приходится на июль. Было отмечено, что наступление периода максимальных значений концентрации хлорофилла находится в зависимости от региональных метеорологических условий, в частности, обилия осадков. Снижение температуры воды в начале июля, вызванное интенсивным снеготаянием, сказалось на содержании хлорофиллов (рис. 5). Помимо снижения температуры воды, в это время наблюдалась высокая облачность, которая также сказалась на снижении концентрации хлорофилла "а". Затем наблюдался резкий пик концентрации хлорофилла "а", очевидно, связанный как с повышением температур воды, так и с изменением гидрохимических параметров в результате поступления различных элементов с водосбора в связи с дождями. Максимальные значения концентрации хлорофиллов "а" и "b" в водоеме были отмечены за сравнительно короткий период по сравнению с предыдущим годом – 1-2 суток. Очевидно, в отсутствие ливневых дождей изменение содержания хлорофилла "а" и "b" в водоеме происходило бы подобно прошлому году с максимумом в начале июля.

Содержание хлорофиллов является наиболее информативным показателем физиологического состояния, таксономической структуры и обилия водорослей. Для выявления зависимости развития водорослей от гидрохимических условий был проведен классификационный анализ содержания хлорофиллов исследуемых озер и метеорологических данных в едином поле факторных нагрузок, что позволило определить группировки сходной направленности и силы. Было показано, что при интенсивном загрязнении рудничными водами апатитовой промышленности водоросли развиваются в условиях постоянно доступных биогенных элементов. Концентрации хлорофилла "а" на порядок превышают его содержание в фоновых водоемах, может наблюдаться "цветение" воды в отдельных участках акватории. Доминирующие в течение всего сезона диатомовые водоросли находятся в зависимости от концентрации кремния, а также значений рН. Многолетняя динамика концентрации хлорофиллов показала, что в разные годы влияние различных гидрохимических характеристик на развитие водорослевых сообществ не одинаково. В фоновом водоеме – оз. Мал. Вудъявр наблюдается "классическая" картина зависимости водорослей от биогенных элементов, которые находятся в дефиците. При этом массового развития диатомовых водорослей не происходит, что подтвердилось отсутствием зависимости от содержания кремния. Было установлено, что продолжительные осадки вызывают перестройку видового состава водорослей, а также стимулируют наступление максимальных концентраций хлорофиллов "а" и "b", содержание хлорофилла "с" в большей степени определяется температурой. Интенсивная прямая солнечная радиация угнетает развитие водорослей, что наблюдается в период полярного дня.

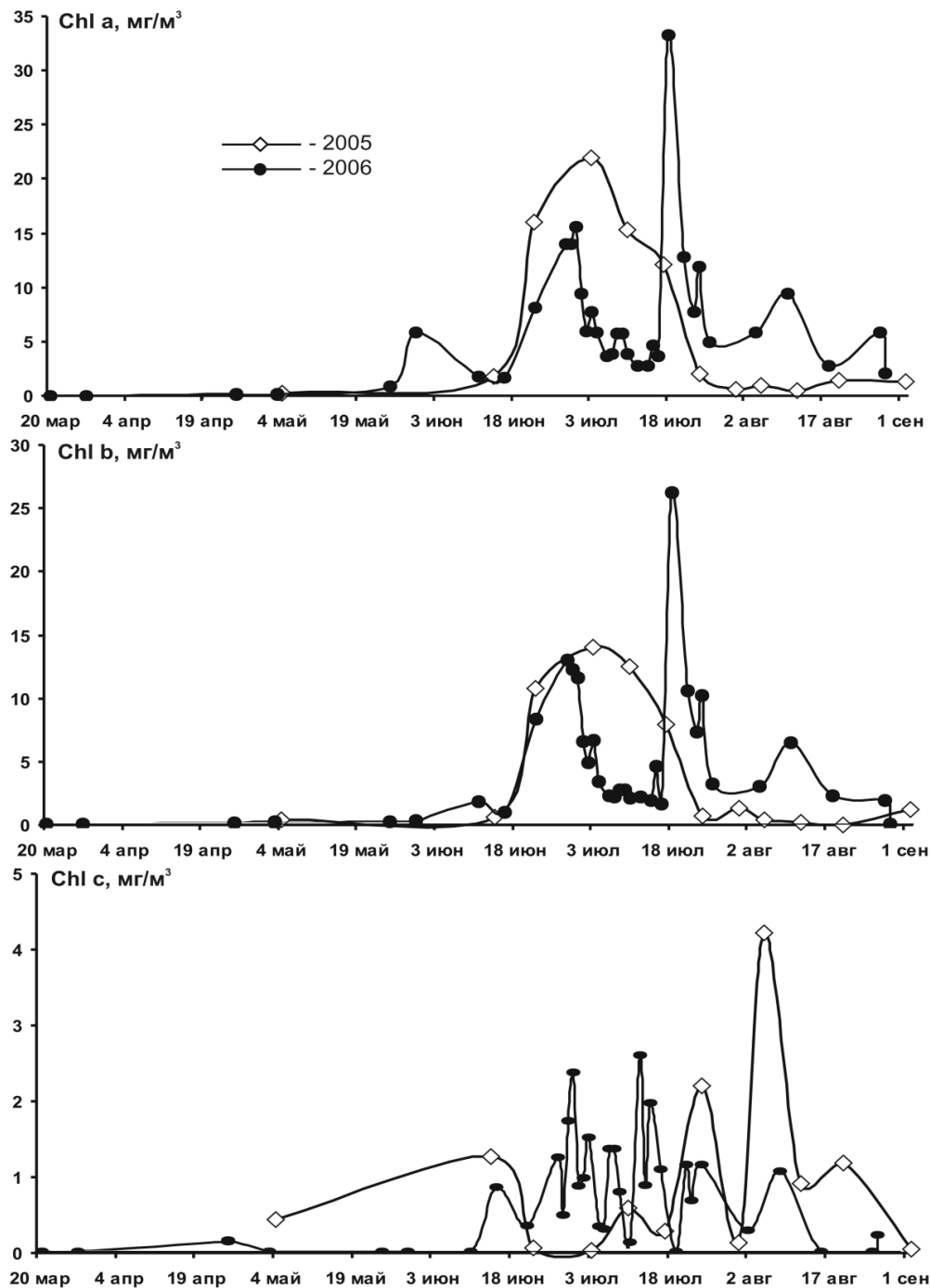


Рис. 5. Сравнение динамики хлорофиллов "а" "b" и "с" (мг/м³) в оз. Бол. Вудъявр в 2005 и 2006 гг.

Дополнительно весь комплекс факторов, включая метеорологические и гидрохимические показатели, был проанализирован методом факторного анализа главных компонент. Были выявлены два основных фактора, сочетающих ряд определяющих гидрохимических и метеорологических параметров (табл. 3).

Первый фактор, на который приходится 45 % общей дисперсии, составлен гидрохимическими параметрами в тесной связи с температурным фактором. Сезонная динамика фитопланктона определяется в основном градиентом рН, минерализацией и концентрацией Si, а также наличием доступного азота. Величина рН в свою очередь определяется, вероятно, концентрацией нитратов. Доминирование диатомового планктона подтверждает зависимость от содержания кремния.

Таблица 3. Факторная модель гидрохимических и метеорологических показателей и содержания хлорофиллов "а", "b", "с" в оз. Бол. Вудъявр в 2006 г. (выделены значения с $r > 0.70$)

	Фактор 1	Фактор 2
pH	-0.76	-0.20
Минерализация, мг/л	0.89	-0.03
Chl "а", г/м ³	-0.79	0.15
Chl "b", г/м ³	-0.74	0.19
Chl "с", г/м ³	-0.79	0.15
Электропроводность, 20°	0.96	-0.02
NO ₃ , мкгN/л	0.93	0.14
N общ	0.70	-0.25
PO ₄ , мкгP/л	-0.17	0.88
P общ (фильтр)	-0.34	0.74
P общ (нефильтр)	0.58	-0.20
Перманганатная окисляемость	-0.57	0.07
Si, мг/л	0.95	0.13
Al общ	-0.60	0.06
Cu общ	0.43	0.49
T воды, °C	-0.91	-0.15
T воздуха, °C	-0.77	-0.09
Ветер, м/с	0.50	-0.60
Высота снежного покрова, см	0.72	0.38
Продолжительность дождя, ч	-0.15	-0.88
Осадки, мм	-0.27	-0.53
Солнечное сияние, ч	0.21	0.58
Вес фактора, %	45	17

Менее значимый второй фактор, на который приходится 17 % общей дисперсии, характеризует процессы разбавления поступающих шахтных вод за счет продолжительных осадков, что приводит к снижению приоритетного загрязняющего вещества – фосфора. Следует отметить, что развитие фитопланктона оз. Б. Вудъявр в течение всего года происходит в условиях постоянного избытка фосфора, что подтверждается отсутствием связи второго фактора с концентрациями хлорофиллов.

Результаты подтвердили предыдущие выводы, что развитие фитопланктона оз. Бол. Вудъявр происходит в условиях постоянного наличия доступных биогенных элементов в результате интенсивной фосфорной нагрузки, и основными регулирующими факторами являются градиент pH, минерализации и наличие других элементов биогенного питания, в частности, кремния, а также метеорологические факторы – температура воды и воздуха, время схода снега. С другой стороны, атмосферные осадки влияют на концентрацию фосфатов антропогенного происхождения в водоемах за счет разбавления дождевой водой, что сказывается на изменении гидрохимических параметров водной среды в течение сезона. В фоновых водоемах преобладающая роль принадлежит метеорологическим факторам, в частности, температуре.

Сообщества зообентоса

Макрозообентос оз. Бол. Вудъявр был представлен беспозвоночными следующих таксономических групп: малощетинковые (кл. *Oligochaeta*) и круглые черви (кл. *Nematoda*), двустворчатые моллюски (кл. *Bivalvia*), брюхоногие моллюски (кл. *Gastropoda*), личинки двукрылых (отр. *Diptera*) и ручейников (отр. *Trichoptera*). Олигохеты принадлежали к сем. *Tubificidae* (*Tubifex sp.* и *Spirosperma ferox*) и сем. *Lumbriculidae*. Двустворчатые моллюски были представлены сем. *Pisidiidae* (*Pisidium sp.*), брюхоногие – сем. *Lymnaeidae* (*Lymnae ovata*). Двукрылые – личинками комаров-звонцов (сем. *Chironomidae*) и комаров-мокрецов (сем. *Ceratopogonidae*) (рис. 6).

Численность донных беспозвоночных составляла в среднем 2200 экз./м², а биомасса – около 14 г/м². Сравнение полученных количественных показателей бентофауны с таковыми в 1938-1939 гг., и в 2001 г. свидетельствует об относительном улучшении экологической ситуации в водоеме за прошедший период и сохранении этой тенденции до настоящего времени (табл. 4). По уровню развития зообентоса согласно "шкале трофности" (Китаев, 1984) озеро Бол. Вудъявр соответствует β-мезотрофному типу водоемов.

Доминировали в донных сообществах малощетинковые черви, двустворчатые моллюски и хирономиды, доля которых составляла соответственно 70, 20 и 14 % от общего количества беспозвоночных. Брюхоногие моллюски и личинки комаров-мокрецов встречались единично. Следует

Таблица 4. Численность (N) и биомасса (B) беспозвоночных зообентоса в оз. Бол. Вудъявр в 2008, 2001 и 1938-1939 гг.

Глубина, м	1938-1939 гг.	2001 г.		2008 г.	
	N, экз./м ²	N, экз./м ²	B, г./м ²	N, экз./м ²	B, г./м ²
0-9	140±85	5600±200	19.6±5.4	120±23	0.2±0.05
9-26	124±77	2950±1014	6.6±2.0	3560±1103	19.6±4.7
26-36	0	2950±550	3.2±1.6	3480±324	10.3±2.1
Озеро в целом:	93±41	3612±648	9.0±2.8	2233±158	13.8±2.3

Примечание: 1938-1939 гг. по данным А.В. Каныгиной (1939); 2001 г. по данным Б.П. Ильяшука (2001).

отметить, что эти группы бентофауны считаются наиболее ценными организмами в кормовом отношении. Моллюски и хирономиды были отмечены в значительных количествах в содержимом желудков гольцов, отловленных в озере (см. ниже).

В прибрежной зоне озера (глубина до 10 м) на каменисто-галечных грунтах были многочисленны личинки ручейников и двустворчатые моллюски. С увеличением глубины в сообществах зообентоса возрастала доля устойчивых к дефициту кислорода малощетинковых червей сем. *Tubificidae*. В наиболее глубоководной зоне озера (25-35 м) этот показатель достигал 94 %.

Анализ таксономического состава, количественных показателей и структуры бентосных сообществ в различных гидрохимических зонах акватории озера выявил ряд отличий. Максимальные значения численности и биомассы отмечены в центральной части озера: 2700 экз./м² и 89 г/м², минимальные – в восточной (1300 экз./м² и 5.3 г/м²). Структура доминирования бентофауны в восточной части озера характеризовалась количественным преобладанием хирономид. В центральной части водоема и устье р. Вудъяврйок как по численности, так и по биомассе преобладали олигохеты сем. *Tubificidae*, которые являются типичными представителями глубоководной фауны.

Донные сообщества в технологическом отстойнике характеризовались невысокими значениями численности (800 экз./м²) и биомассы (1.5 г/м²) беспозвоночных. Доминировали в составе бентофауны малощетинковые черви сем. *Lumbriculidae* и *Enchytraeidae*. Широко распространенные в водоеме черви-тубифициды в отстойнике не встречались.

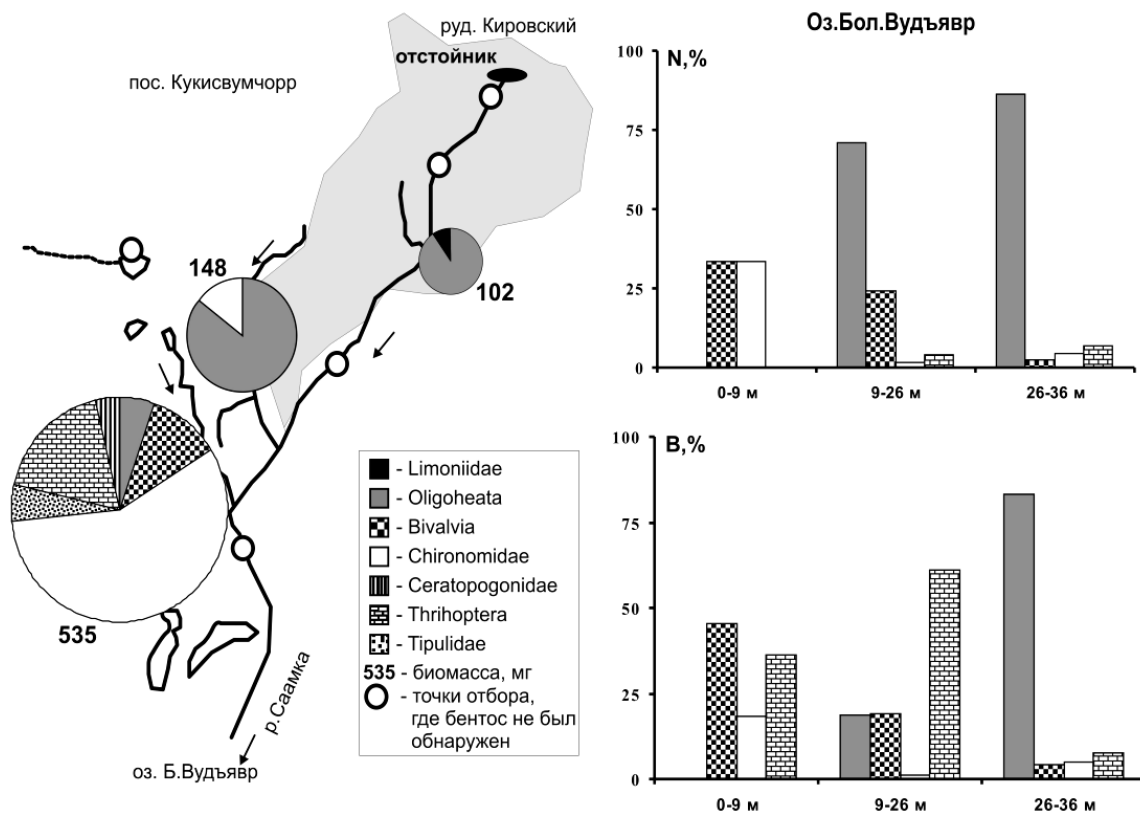


Рис. 6. Структура сообществ зообентоса в р. Саамка с притоками: соотношение таксономических групп и уровень биомассы (мг); и по градиенту глубин оз. Бол. Вудъявр: соотношение таксономических групп, относительная численность (N, %) и биомасса (B, %)

Таким образом, сообщества зообентоса озера Бол. Вудъявр характеризуются обедненным таксономическим составом и олигодоминантной структурой на фоне относительно высоких значений численности и биомассы. Поступление шахтных вод приводит к снижению количественных показателей и изменениям таксономической структуры донных сообществ в технологическом отстойнике, воды которого характеризуется высокими значениями pH и содержанием фосфора, алюминия и стронция.

В свободной части акватории водоема происходит постоянное перераспределение загрязнителей, которое обусловлено разбавлением поступающими с водосбора водами, перемешиванием течениями и зависит от сезона (Денисов, 2008). Это позволяет предполагать, что состав и структура бентосных сообществ "незагрязненной" части водоема в первую очередь определяются характером грунтов и глубиной и в меньшей степени – загрязнением.

Среди исследованных водотоков наиболее неблагоприятная экологическая ситуация для развития зообентоса складывается в основном русле в р. Саамка. В отстойнике шахтных вод Кировского рудника донная фауна не выявлена. В верхнем и среднем течении река характеризуется высокой скоростью течения, каменистым дном и значительными колебаниями уровня воды по сезонам (рис. 6). Эти факторы оказывают негативное влияние на формирование бентосных сообществ. Обнаруженные единичные представители донной фауны были приурочены к прибрежной растительности и представлены почвенными беспозвоночными, адаптированными к высокой влажности – малощетинковыми червями сем. *Lumbricidae* и *Enchytraeidae* и личинками сем. *Diptera*.

Типично бентосные сообщества формируются в притоках р. Саамка. Притоки 1 и 2 протекают по территории пос. Кукисвумчорр, подвержены значительному антропогенному влиянию, в первую очередь загрязнению хозяйственными и канализационными стоками. Зообентос характеризовался преобладанием олигохет, доля которых составляла 85-90 % численности, единично встречались личинки хирономид и двукрылых сем. *Limoniidae*. Приток 3, расположенный в лесной зоне, отличается наиболее высоким таксономическим разнообразием бентосных сообществ. Здесь отмечено 6 групп беспозвоночных, среди которых преобладали личинки хирономид и ручейников (рис. 6).

Отбор полуколичественных проб зообентоса реки Большая Белая проводили на створах, расположенных в истоке реки (из оз. Бол. Вудъявр) и ее верхнем течении (рис. 1). Исток реки отличается высокой скоростью течения и каменистым дном. Здесь преобладают литореофильные группы беспозвоночных (ручейники, хирономиды, двустворчатые моллюски), приуроченные, преимущественно, к зарослям макрофитов. Наличие в пробах веснянок и отсутствие малощетинковых червей свидетельствует о благоприятных условиях для донных беспозвоночных и низком уровне загрязнения водной среды.

Таким образом, несмотря на высокий уровень загрязнения отдельных участков водоема и интенсивное поступление загрязнителей с водами рек Саамка и Юкспорйок, на стоке оз. Бол. Вудъявр формируются благоприятные условия для развития донной фауны, что свидетельствует о высокой интенсивности процессов самоочищения в озере. Очевидно, большую роль в этом играет поступление чистых вод реки Вудъяврйок. Для оценки состояния сообществ зообентоса в фоновых водотоках был проведен отбор полуколичественных образцов зообентоса на створе, расположенном в устье реки Вудъяврйок (рис. 1). В составе донной фауны были отмечены личинки хирономид, личинки ручейников и нимфы веснянок. Присутствие в пробах индикаторной группы веснянок свидетельствует о благоприятных условиях для донных беспозвоночных и крайне низком уровне загрязнения воды и грунта в реке.

Ихтиофауна

Состав ихтиофауны в оз. Бол. Вудъявр насчитывал в 1930-х гг. 6 видов: кумжа (*Salmo trutta* L.), арктический голец (*Salvelinus alpinus* L.), сиг (*Coregonus lavaretus* L.), хариус (*Thymallus thymallus* L.), налим (*Lota lota* L.), девятииглая колюшка (*Pungitius pungitius* L.). Интенсификация промышленного производства (спуск флотационных вод по р. Б. Белая предприятием АНОФ-1, бытовых сточных вод) привела к практически полному исчезновению рыб в озерно-речной системе. В настоящее время абсолютным доминантом ихтиофауны в озерах Мал. и Бол. Вудъявр по результатам проведенных исследований является арктический голец (L.), представляющий собой сложный, комплексный вид (*Ихтиофауна...*, 2005). Вторым видом в современном составе фауны рыб исследованного бассейна является девятииглая колюшка.

Исследованная популяция гольца оз. Мал. Вудъявр была представлена рыбами небольших размеров. В уловах доминировали особи с длиной тела 13-16 см. Единично были представлены рыбы с длиной тела 20-24 см (рис. 7). Наиболее массовая часть выборки (81 %) приходилась на особей весом 20-60 грамм (рис. 7). Средний вес самок (69 г) превосходил средний вес самцов (42 г). Максимальный возраст гольцов достигал 4+, а основу выборки (55 %) составляли особи в возрасте трех лет (2+). Особи старше 4+ встречались единично (рис. 8). В уловах самцы (70 %) доминировали над самками (30 %).

Популяция гольца в уловах была представлена особями с высоким процентом готовности к нересту. В выборке у 98.6 % самцов отмечалась высокая степень созревания гонад, в отличие от самок –

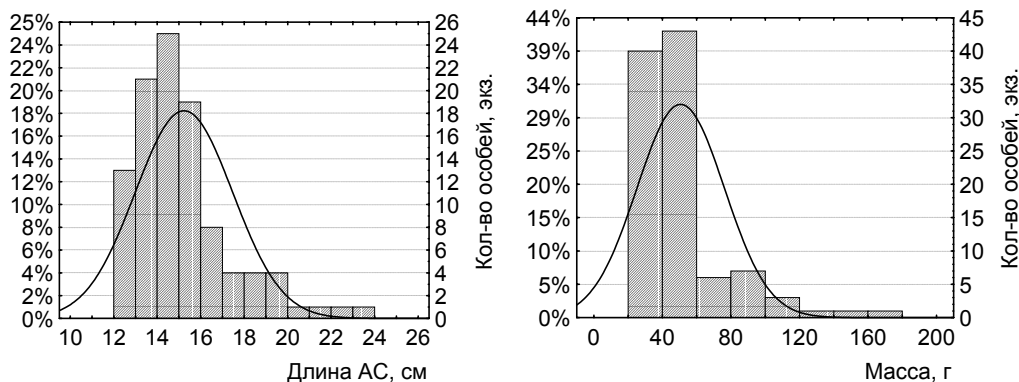


Рис. 7. Размерно-весовое распределение гольца оз. Мал. Вудъявр

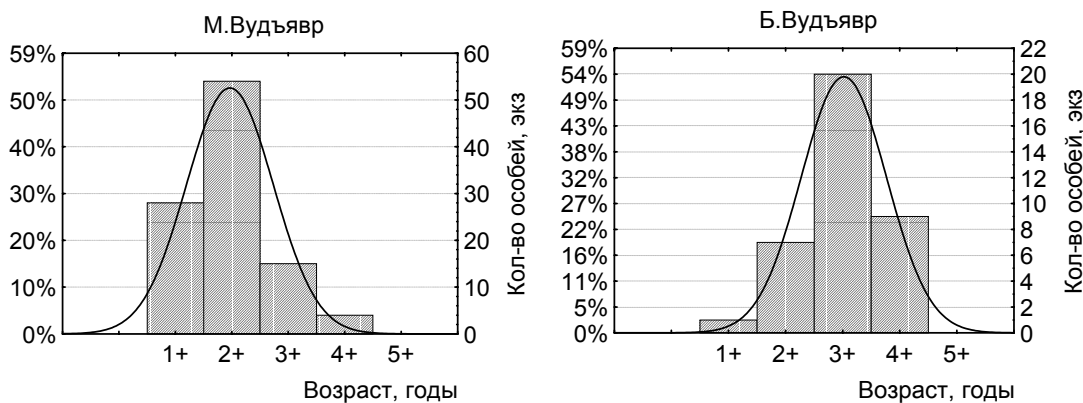


Рис. 8. Возрастная структура гольца озер Мал. и Бол. Вудъявр

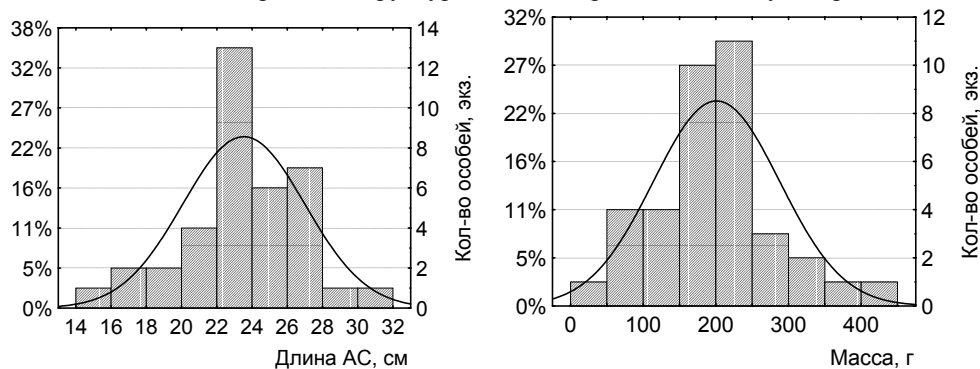


Рис. 9. Размерно-весовое распределение гольца оз. Большой Вудъявр

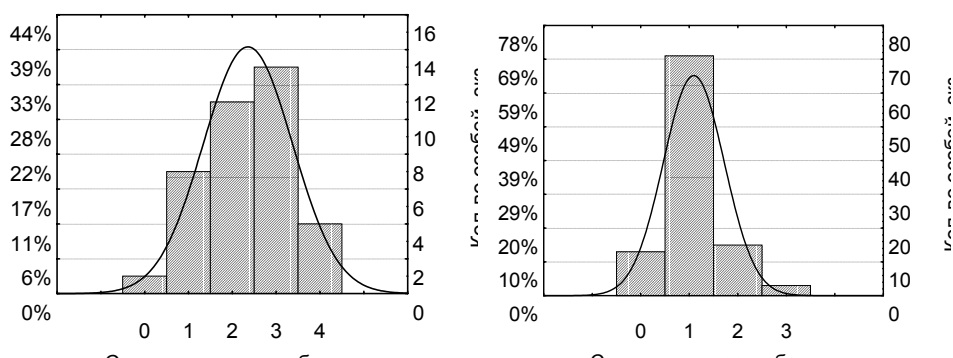


Рис. 10. Сравнительная характеристика степени жирности гольца Бол. (слева) и Мал. (справа) Вудъявра

54.8 %. Впервые созревающие самцы были представлены двухлетками (1+), самки созревали в возрасте 2+. Минимальные размеры зрелых рыб в составили: 23 г при длине 12.3 см для самцов и 52 г и 16 см для самок.

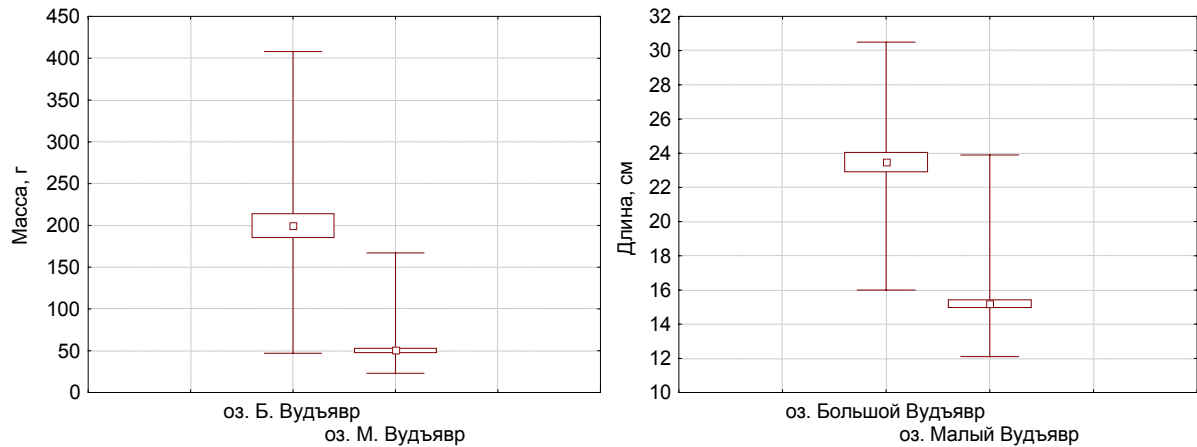


Рис. 11. Сравнительные размерно-весовые показатели гольца Бол. и Мал. Вудъявра

Гольц оз. **Бол. Вудъявр** был представлен рыбами достоверно больших размеров и веса по сравнению с особями Мал. Вудъявр. Наиболее многочисленными в выборке были особи длиной 22-24 см и массой 150-250 г (рис. 9). Средний вес самок (202 г) превосходил средний вес самцов (195 г). Максимальный возраст рыб Бол. Вудъявр не превышал 4+. Однако здесь доминировали особи в возрасте 3+ с наиболее массовой частью популяции от 2+ до 4+. Среди особей младших возрастных групп (1+) была зарегистрирована лишь одна особь (рис. 8). В целом в уловах самки преобладали над самцами по численности: 71 % и 29 %, соответственно.

При патолого-анатомическом исследовании гольца озера Бол. и Мал. Вудъявр были отмечены изменения внутренних органов. У преобладающей части популяций гольцов отмечались соединительно-тканые разрастания в почке: в оз. Мал. Вудъявр – 63 %, в оз. Бол. Вудъявр – 92 %. Степень паразитарных инвазий не превышала 6 %. Необходимо отметить, что в целом у рыб не было выявлено ярко выраженных патологий развития органов и тканей.

Для оценки различий в условиях обитания гольца в фоновых и загрязняемых условиях, был выполнен сравнительный анализ биологических характеристик гольца исследованных озер. По показателям массы и длины гольца оз. Бол. Вудъявр достоверно отличались от гольцов оз. Мал. Вудъявр ($t=14.9$, $p<0.05$ и $t=16.5$, $p<0.05$, соответственно) (рис. 11). Несмотря на то, что гольц оз. Мал. Вудъявр характеризуется относительно однородным распределением особей с доминирующей частью особей массой 20-60 г длиной 13-16 см, архивные источники свидетельствуют о том, что в 1930-х гг. в озере отмечались гольцы длиной 40-50 см (рис. 11).

Среди гольцов оз. Бол. Вудъявр в настоящее время отмечаются особи длиной более 30 см. Анализ особенностей отдельных организмов гольца двух озер показал, что упитанность (по Кларк) гольца оз. Мал. Вудъявр составила 1.29 по сравнению со значением 1.45 гольца оз. Бол. Вудъявр. Степень жирности гольца оз. Бол. Вудъявр также была выше по сравнению с рыбами оз. Мал. Вудъявр. Изучение характера питания рыб показало, что в рационе гольца наиболее загрязняемого водоема (Бол. Вудъявр) отмечаются 10 таксономических групп, а разнообразие формируется за счет представителей класса насекомых и девятиглай колюшки. Основными кормовыми объектами в питании гольца Мал. Вудъявр являются личинки хирономид, а спектр питания включает 6 таксономических групп.

Специфика антропогенного воздействия на экосистему оз. Бол. Вудъявр предприятия апатитовой промышленности связана с увеличением количества поступающих в водоем биогенных элементов и ростом уровня его трофности. Данные особенности обеспечивают более выгодные и благоприятные условия развития кормовой базы гольца, и, как следствие, обуславливают более высокие показатели размерных и весовых характеристик рыб, несмотря на загрязнение. Вместе с тем материалы ихтиологических отборов свидетельствуют о немногочисленности популяции гольца оз. Бол. Вудъявр. По-видимому, поддержание популяции гольца данного водоема происходит главным образом за счет мигрантов оз. Мал. Вудъявр. Зарегистрированные различия основных биологических показателей гольца оз. Мал. Вудъявр по сравнению с рыбами более загрязняемого водоема могут быть объяснены менее выгодными кормовыми условиями и некоторыми природными особенностями оз. Мал. Вудъявр: озеро находится на высоте 356.5 м. над уровнем моря, свободно ото льда только 4-5 месяцев, характеризуется более низким температурным режимом, т.е. развитие водорослей, планктона, бентоса и всех компонентов пищевой цепи ограничено малым по продолжительности вегетационным периодом, низкими температурами.

Таблица 5. Средние содержания тяжелых металлов в органах и тканях гольца некоторых озер Мурманской области

		Cu	Ni	Cd	Co	Cr	Zn	Mn	Al	Sr	Pb	Hg
Малый Вудъявр	мышцы	1.75	0.74	0.01	0.43	0.33	18.87	0.68	1.10	13.69	0.09	0.24
	печень	16.78	1.41	0.20	0.83	0.21	115.63	5.61	11.35	11.75	0.20	0.18
	почка	7.90	1.97	0.98	2.50	0.48	112.08	2.55	6.45	13.92	0.23	0.26
	жабры	2.18	1.02	0.12	0.70	0.41	82.18	7.20	18.31	665.23	0.26	0.09
	скелет	1.15	2.02	0.003	1.66	0.75	79.21	12.21	6.75	1804.98	0.19	0.07
Большой Вудъявр	мышцы	1.34	0.89	0.001	0.62	0.16	17.86	0.57	0.69	8.60	0.12	0.30
	печень	23.33	0.68	0.04	0.69	0.11	78.09	3.18	7.48	1.96	0.09	0.31
	почка	8.28	1.56	0.24	2.58	0.22	114.35	3.57	3.25	5.06	0.26	0.47
	жабры	2.10	1.33	0.03	1.12	0.17	88.86	9.30	16.41	373.68	0.20	0.16
	скелет	1.33	5.67	0.00	0.66	0.72	80.75	11.68	4.27	990.98	0.14	0.07
Титовское	мышцы	1.20	0.59	0.01	0.02	0.05	16.42	0.75	2.63	3.76	0.09	0.18
	печень	38.99	0.67	0.37	0.32	0.06	122.59	6.58	4.83	1.33	0.10	0.29
	почка	7.12	2.27	3.00	2.10	0.20	105.28	1.64	13.89	5.95	0.15	0.13
	жабры	1.88	1.37	0.39	0.04	0.14	79.51	10.40	25.44	178.82	0.15	0.07
	скелет	1.08	2.19	-	-	-	43.08	7.22	35.55	259.09		0.04
Шуониярви	мышцы	1.03	1.58	0.012	-	-	19	0.86	2.54	2.12	0.02	0.3
	печень	67.00	2.62	1.75	-	-	131.00	6.00	16.80	0.75	0.07	0.33
	почка	20.53	16.21	28.42	-	-	216.05	5.20	33.39	8.05	0.46	0.91
	жабры	4.33	4.51	1.12	-	-	112.93	18.59	10.56	100.69	0.52	0.13
	скелет	1.42	3.39	-	-	-	66.77	19.08	7.53	116.81	0.18	0.09

Оценка уровней накопления ряда тяжелых металлов в организмах гольца исследованных озер показала, что содержания цинка, марганца, свинца и ртути в тканях в целом сопоставимы с данными показателями у рыб водоемов, расположенных как на значительной удаленности от источников промышленного загрязнения (оз. Титовское, бассейн Баренцева моря), так и находящихся в зоне влияния комбината "Печенганикель" (оз. Шуониярви, водосбор р. Пасвик). Содержание приоритетных загрязняющих веществ – меди и никеля у рыб озер Малый и Большой Вудъявр, испытывающих разноразное загрязнение были сопоставимы, что свидетельствует об одинаковой нагрузке металлов в данные водоемы. К числу специфических тяжелых металлов озер Хибинского горного массива можно отнести стронций (табл. 5).

Особое внимание вызывает наиболее высокая концентрация металлов в органах гольца фонового водоема – Мал. Вудъявр, что может быть объяснено природными особенностями водоема и требует дальнейшего контроля в последующем. Максимальные содержания металлов, как правило, связаны с определенным органом. Так, медь в значительно более высоких концентрациях аккумулируется в печени рыб, никель – в почках и костной ткани, цинк – в почках и жабрах, а ртуть – в мышцах и почках рыб. Максимальное накопление стронция характерно для костной ткани. Характер уровней накопления тяжелых металлов в организмах рыб озер системы р. Большая Белая позволяет сделать вывод о том, что нагрузка загрязняющих веществ данного класса в водоемы определяется главным образом аэротехногенным поступлением.

4. Заключение

Проведенные в период с 2005 по 2008 гг. исследования на базе комплексного бассейнового подхода на примере водосбора озерно-речной системы оз. Бол. Вудъявр позволили сформировать представления об особенностях формирования качества вод арктических водоемов в зависимости от типа представленных ландшафтно-географических условий, степени антропогенных преобразований, интенсивности и длительности загрязнения, а также получить информацию о современных тенденциях изменения биосистем.

Поступление шахтных вод апатитового производства с высоким содержанием взвеси, повышенными концентрациями Al, биогенных элементов (P, N), Sr и высокими рН (до 9.00) в малые горные реки оказывает негативное влияние на развитие биоты.

Развитие фитопланктона в озерах зависит от множества взаимосвязанных гидрохимических и метеорологических факторов. В условиях постоянного наличия доступных биогенных элементов, обусловленного деятельностью предприятий апатитовой промышленности, основными регулирующими факторами являются градиент рН, минерализация и наличие других элементов биогенного питания, в частности, кремния, а также температура воды и воздуха, время схода снега. С другой стороны, атмосферные осадки влияют на концентрацию фосфатов антропогенного происхождения в водоемах за счет разбавления дождевой водой, что сказывается на изменении гидрохимических параметров водной среды в течении сезона. В фоновых водоемах преобладающая роль принадлежит метеорологическим факторам, в частности, температуре. На примере модельного озера Бол. Вудъявр было показано, что, несмотря на сравнительно малую площадь зеркала, водоем характеризуется неоднородностью качества вод, формирующих динамичные гидрохимические зоны, что определяет условия обитания организмов всех трофических уровней.

Неоднородная структура водных масс и гидродинамические процессы в водоеме, а также интенсивное развитие водорослей за счет наличия доступных биогенных элементов определяет интенсификацию процессов самоочищения озера Бол. Вудъявр, за счет которых в отдельных участках водоема формируются благоприятные условия для развития чувствительных к загрязнению представителей зообентоса и ихтиофауны. Очевидно, большую роль в этом играет поступление чистых вод с фоновых участков водосбора. Среди представителей зообентоса наличествуют ценные в отношении кормовой базы рыб организмы, которые интенсивнее развиваются в загрязняемом биогенными элементами водоеме. Исследования показали, что, несмотря на более высокое качество вод фоновых регионов (оз. Малый Вудъявр), рыбы данного водоема уступают по размерно-весовым характеристикам, упитанности и жирности гольцу загрязняемых стоками апатитовых рудников озер (оз. Большой Вудъявр). Богатая кормовая база оз. Большой Вудъявр отчасти способна компенсировать неблагоприятные условия среды, связанные с поступлением в озеро рудничных вод. Установлено, что накопление элементов-загрязнителей в организмах рыб модельной озеро-речной системы р. Большая Белая определяется в большей степени аэротехногенным загрязнением Кольского региона, чем непосредственным влиянием деятельности рудников ОАО "Апатит".

Литература

- Jeffrey W., Humphrey G.** New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and O₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol.*, v.167, p.191-194, 1975.
Standard method for examination for water and wastewater. *USA, NY*, 1195 p., 1975.
- Аршаница Н.М., Лесников Л.А.** Патологоморфологический анализ состояния рыб в полевых и экспериментальных токсикологических исследованиях. *Методы ихтиотоксикологических исследований. Л., ГосНИОРХ НПО Промрыбвод*, с.7-9, 1987.
- Баринова С.С., Медведева Л.А.** Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). *Владивосток, Дальнаука*, с.364, 1996.
- Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.** Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. *PiliesStudio, Тель Авив*, 498 с., 2006.
- Всеволодова-Перель Т.С.** Дождевые черви фауны России: Кадастр и определитель. *М., Наука*, 102 с., 1997.
- Гладцин И.Н.** Геоморфологические наблюдения в Хибинских тундрах. Несколько слов об озерах и реках Хибинского массива. *М., Тр. Ин-та по изучению Севера*, т.2, с.70-75, 1928.
- Даувальтер В.А.** Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской субарктики (природоохранные аспекты проблемы). *Дис. ... д-ра геогр. наук, Апатиты*, 398 с., 1999.
- Денисов Д.Б.** Динамика водорослевых сообществ горных субарктических водоемов. *Материалы Всеросс. научн. конф. с междунар. участием "Экологические проблемы северных регионов и пути их решения" (14-16 октября 2008 г.)*. Апатиты, КНЦ РАН, ч. 1, с.205-210, 2008.
- Денисов Д.Б.** Изменения гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский полуостров). *Водные ресурсы*, т.34, № 6, с.719-730, 2007.
- Денисов Д.Б.** Экологические особенности условий обитания *Surirella brebissonii*. Морфология, систематика, онтогенез, экология и биогеография диатомовых водорослей. *Сб. тез. IX школы диатомологов России и стран СНГ. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина, Борок*, с.32, 2005.
- Денисов Д.Б., Валькова С.А.** Состояние экосистемы субарктического водоема в условиях промышленного загрязнения. Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в экстремальных

условиях северного климата. *Мат. докладов междунар. научн. конф., Апатиты-Кировск, 29-30 сентября 2008 г. Апатиты, "К&М", с.22-24, 2008.*

Денисов Д.Б., Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Каган Л.Я. Долговременные изменения состояния субарктических водоемов в условиях антропогенной нагрузки (по данным диатомового анализа). *Биология внутренних вод*, № 1, с.24-30, 2006.

Денисов Д.Б., Кашулин Н.А. Экологические особенности функционирования разнотипных субарктических водоемов. 2007. URL: http://www.kolasc.net.ru/russian/sever07/sever07_1.pdf.

Денисов Д.Б., Терентьев П.М., Кашулин Н.А. Оценка условий обитания арктического гольца под воздействие стоков апатитовых рудников. *Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов-2. Мат. междунар. научно-практ. конф., Борок, М., Россельхозакадемия*, с.148-152, 2007.

Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.-Л., АН СССР, 376 с., 1952.

Известия всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Т. XLVI. Л., 65 с., 1956.

Исследование закономерностей миграции приоритетных загрязняющих веществ от площадок горнотехнических работ ОАО "Апатит" в поверхностных и подземных водах. Отчет о выполнении научно-исследовательских работ по договорной теме № 22-6-2000. *Апатиты, ИППЭС КНЦ РАН*, 179 с., 2002.

Ихтиофауна малых озер и рек Восточного Мурмана: биология, экология, ресурсы. *Апатиты, КНЦ РАН*, 2005.

Каныгина А.В. Гидробиологическое и гидрохимическое исследование озер Большой и Малый Вудъявр. *Кольская база АН СССР, Апатиты*, 206 с., 1939. (Фонды КНЦ РАН, № 105)

Кашулин Н.А. Рыбы малых озер северной Фенноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения. *Апатиты, КНЦ РАН*, 130 с., 2004.

Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Часть 2: Озерно-речная система реки Чуна в условиях аэротехногенного загрязнения. *Апатиты, КНЦ РАН*, 238 с., 2007.

Кашулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. *Апатиты, КНЦ РАН*, 142 с., 1999.

Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. М., Наука, 309 с., 1984.

Куплетский Б.М. Географический очерк, рельеф и орография Хибинских и Ловозерских тундр. М., Тр. Ин-та по изучению Севера, т.2, с.3-45, 1928.

Лепнева С.Г. Личинки *Integripalpia* подотряда целнощупиковых (*Integripalpia*). Фауна СССР. Ручейники. М., Наука, т.II, вып. 2, 560 с., 1966.

Максимова Н.А. Отчет о результатах разведки подземных вод для водоснабжения г. Кировска Мурманской области за 1991-1998 гг. (с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.1999 г.). *Фонды Комитета природных ресурсов по Мурман. обл., Мурманск*, № 5270, 1999.

Материалы к изучению вод Кольского пол-ва. Собрание 1. М., АН СССР, 256 с., 1940.

Мина М.В. Задачи и методы изучения роста в природных условиях. Современные проблемы ихтиологии. М., Наука, с.177-195, 1981.

Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос). *От. ред. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Л., Гидрометеоиздат*, 510 с., 1977.

Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства *Chironomidae* фауны СССР. Л., Наука, 295 с., 1983.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М., Пищевая промышленность, 456 с., 1966.

Природные условия Хибинского учебного полигона. Учебное пособие по практикам студентов-географов в Хибинах. *Под ред. С.М. Мягкова, М., МГУ*, 170 с., 1986.

Раткин Н.Е. Закономерности аэротехногенного загрязнения снежного покрова (на примере Печенгского района). *Дис. ... канд. геогр. наук, Апатиты*, 135 с., 1996.

Раткин Н.Е., Асминг В.Э., Кошкин В.В. Влияние природных локальных факторов на загрязнение снежного покрова (на примере Печенгского района). *Вестник МГТУ*, т.1, № 3, с.151-160, 1998.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб., Гидрометеоиздат, 320 с., 1992а.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. *Под ред. Абакумова В.А. СПб., Гидрометеоиздат*, 1992б.

Руководство по методам химического анализа морских вод. Л., Гидрометеоиздат, 208 с., 1977.