

## ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ГИДРОХИМИЯ

УДК 556.55 (211)

DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100

### СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОЗЕР АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*В.А. РУМЯНЦЕВ\*, А.В. ИЗМАЙЛОВА, Л.Н. КРЮКОВ*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт озероведения  
Российской академии наук (ИНОЗ РАН). Санкт-Петербург, Россия*

*\*rum.ran@mail.ru*

### STATE OF THE LAKE WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN ARCTIC ZONE

*V.A. RUMYANTSEV\*, A.V. IZMAILOVA, L.N. KRYUKOV*

*Federal State Budgetary Institution Research Institute of Lake Hydrology of the Russian  
Academy of Sciences (RAS INOS), St. Petersburg, Russia*

*\*rum.ran@mail.ru*

*Received February, 19, 2018*

*Accepted March, 12, 2018*

*Keywords: Arctic zone, Far North, microorganism, , toxic contamination, virus, water resources.*

#### Summary

Regions of the Russian Federation classified among Arctic zone estimated to 22% of Russian territory. Arctic is characterized by the richest reserves of natural resources, and its phased, balanced development is the most important strategic task of Russia's socioeconomic development. Production and household activities of the population of Russia living and working in the far North is associated with difficult climatic and geographical conditions. In this case, the constant cold and consumption of contaminated water can lead to aggravation of various human disease. The Arctic zone of the Russian Federation is characterized by the richness of water resources as rapidly renewable (river runoff and its underground component), and static one to which are assigned the waters of lakes, underground waters, waters (ice) of mountain and polar glaciers. A characteristic feature of water consumption in the Arctic regions is the active use of lake water, which in a number of settlements is the main source of drinking water supply. In this regard, the assessment of the lake's fund of Arctic zone and its ecological status is extremely topical.

According to the assessments, more than 2.5 million water bodies, that is a ~2/3 of all water bodies of the country, are decoded in the Arctic zone of the Russian Federation on satellite images. Mainly, these are small water bodies, only about 975 thousand of them exceed 1 ha. The total area of the water surface of Arctic lakes is ~160 thousand km<sup>2</sup> (slightly less than a half of the total water surface of all natural water bodies of the Russian Federation), and the total volume of water enclosed in them is ~760 km<sup>3</sup>.

---

**Citation:** *V.A. Rumyantsev, A.V. Izmailova, L.N. Kryukov. State of Lake Water Resources in the Russian Arctic Zone. Problemy Arktiki i Antarktiki. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64 (1): 84–100. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100*

---

Even in the middle of the 20th century, the lakes of the Russian Arctic, with rare exceptions, were characterized by the highest quality of their waters, but by now the ecological status of many water bodies has deteriorated significantly. The vulnerability of Arctic lakes to pollution is enhanced both by virtue of the peculiarities of their orometry and by the simplicity of the biological communities of northern ecosystems characterized by a low degree of stability. The poor knowledge of Arctic water bodies does not allow taking the necessary preventive measures for their protection and rational use. In this connection, attention to the expansion of works on the integrated study of limnology of water bodies included in the lake fund of the Arctic zone should be paid.

An estimation of water resources of lakes of the Arctic zone of Russia, their ecological status and the questions of etiology of diseases on the territories of the Far North are given in this article. The morbidity of the population of the Arctic regions of Russia today is much higher than the national average. Further development of the territory and the observed warming of the climate will lead to increasing pollution of freshwater resources with toxic substances, pathogenic microorganisms and viruses. This will exacerbate the issue of ensuring environmental safety and meeting the needs of the population in quality drinking water. The situation is further aggravated by the fact that the most affordable technologies for water treatment and wastewater treatment in conditions of low temperatures and high content of humic substances in the initial water cannot ensure the proper level of disinfection. In this regard, one of the topical issues is the creation of innovative technologies for water purification that are more adequate to the conditions of the Arctic zone of Russia.

*Поступила 19 февраля 2018 г.*

*Принята к печати 12 марта 2018 г.*

*Ключевые слова:* Арктическая зона, вирус, водные ресурсы, Крайний Север, микроорганизм, токсическая загрязненность.

Производственно-бытовая деятельность населения России, проживающего и работающего в районах Крайнего Севера, связана со сложными климатическими и географическими условиями. При этом фактически постоянный холод и потребление некачественной воды может приводить к обострению различных заболеваний. Особенностью арктических регионов России является наличие значительного количества озер и рек. Во многих северных регионах озерные воды являются важнейшим источником водоснабжения. В этой связи в настоящей работе дана оценка водных ресурсов озер Арктической зоны России, проанализировано их экологическое состояние и рассмотрены вопросы этиологии заболеваний на территориях Крайнего Севера.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Регионы, отнесенные к Арктической зоне Российской Федерации, составляют ~22 % территории государства. Арктика характеризуется богатейшими запасами природных ископаемых, и ее поэтапное сбалансированное освоение является важнейшей стратегической задачей социально-экономического развития России. В области охраны окружающей среды основным вопросом является определение возможностей рационального использования имеющихся здесь ресурсов, в том числе — водных, обеспечивающих как экономический рост, так и развитие необходимых параметров качества жизни проживающего в Арктике населения. Закономерно, что в число приоритетных направлений развития северных регионов Российской Федерации входят технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний. При этом в области медицины экстремальных территорий остается много необъясненных фактов, противоречивых данных и нерешенных проблем, требующих фундаментального изучения и дальнейшей разработки [1].

Результаты современных медико-биологических исследований существенно расширили представления о причинно-следственных связях инфекционных и неинфекционных заболеваний с загрязнением воды и безусловным воздействием водного

фактора на формирование здоровья человека. Известны многочисленные сведения о связи уровня раковых и сосудистых заболеваний, являющихся лидерами в числе причин повышенной смертности населения, с состоянием поверхностных и подземных источников водоснабжения и качеством питьевой воды [2]. Воздействие водных растворов биологически активных веществ в малых и сверхмалых дозах в сочетании с солнечной активностью, электромагнитными полями, ионизирующим и неионизирующим излучением приводит к «массовым заболеваниям неясной этиологии» типа «токсической ангины», «токсического полиневрита» и даже «синдрома войны в Персидском заливе» [3–5]. Обращает на себя внимание тот факт, что при этих заболеваниях в первую очередь происходило поражение пищеварительного тракта. Причем в употребляемой воде уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ соответствовал самым строгим современным нормативам качества.

В этой связи, оценивая значение водного фактора в формировании здоровья человека на Севере, следует отметить, что влияние этого фактора необходимо рассматривать в контексте гидрологической и гидрогеологической обстановки в территориальном разрезе, зависящей от количества, качества и термического режима вод. Прежде всего это касается прямого патогенного воздействия водных сред в зависимости от их природного состава и антропогенных примесей, что рассмотрено далее.

#### ОЦЕНКА ОЗЕРНОГО ФОНДА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Арктическая зона РФ характеризуется богатством водных ресурсов, как быстро возобновляемых (речной сток и его подземная составляющая), так и статических (вековых), к которым отнесены воды озер, подземные воды, воды (льды) горных и полярных ледников. Характерной чертой водопотребления арктических регионов является активное использование озерных вод, которые в целом ряде населенных пунктов являются основным источником питьевого водоснабжения. В этой связи оценка озерного фонда Арктической зоны и его экологического состояния представляется крайне актуальной.

В пределах Арктической зоны РФ на современных спутниковых снимках дешифрируется более 2,5 млн водоемов, то есть  $\sim 2/3$  всех водоемов страны или  $3/4$  всех водоемов, расположенных в пределах российской части водосбора Северного Ледовитого океана [6]. Необходимо уточнить, что почти вся Арктическая зона относится к бассейну Северного Ледовитого океана, за исключением части территории Чукотского автономного округа, имеющей сток в Тихий океан. Около 975 тысяч водоемов Арктической зоны превышают по площади зеркала 1 га (площадь, выше которой водоем принято считать озером), большинство из них характеризуются малыми размерами. Лишь  $\sim 19$  тысяч озер имеют площадь более 1 км<sup>2</sup>, 930 относятся к категории средних (с площадью зеркала от 10 до 100 км<sup>2</sup>), 70 — к категории больших (от 100 до 1000 км<sup>2</sup>) и одно (оз. Таймыр) — к категории очень больших или великих (>1000 км<sup>2</sup>).

Суммарная площадь водной поверхности арктических озер составляет  $\sim 160$  тыс. км<sup>2</sup>, или чуть менее половины суммарной площади водной поверхности всех естественных водоемов РФ. Удельной величиной, характеризующей площадь водной поверхности региона, является его озерность, рассчитанная как отношение суммарной водной поверхности к его площади. Средняя озерность Арктической зоны РФ составляет 4,2 %, что в 2 раза превышает среднюю озерность по стране (рис. 1). Высокий коэффициент озерности характерен практически для всех территорий,

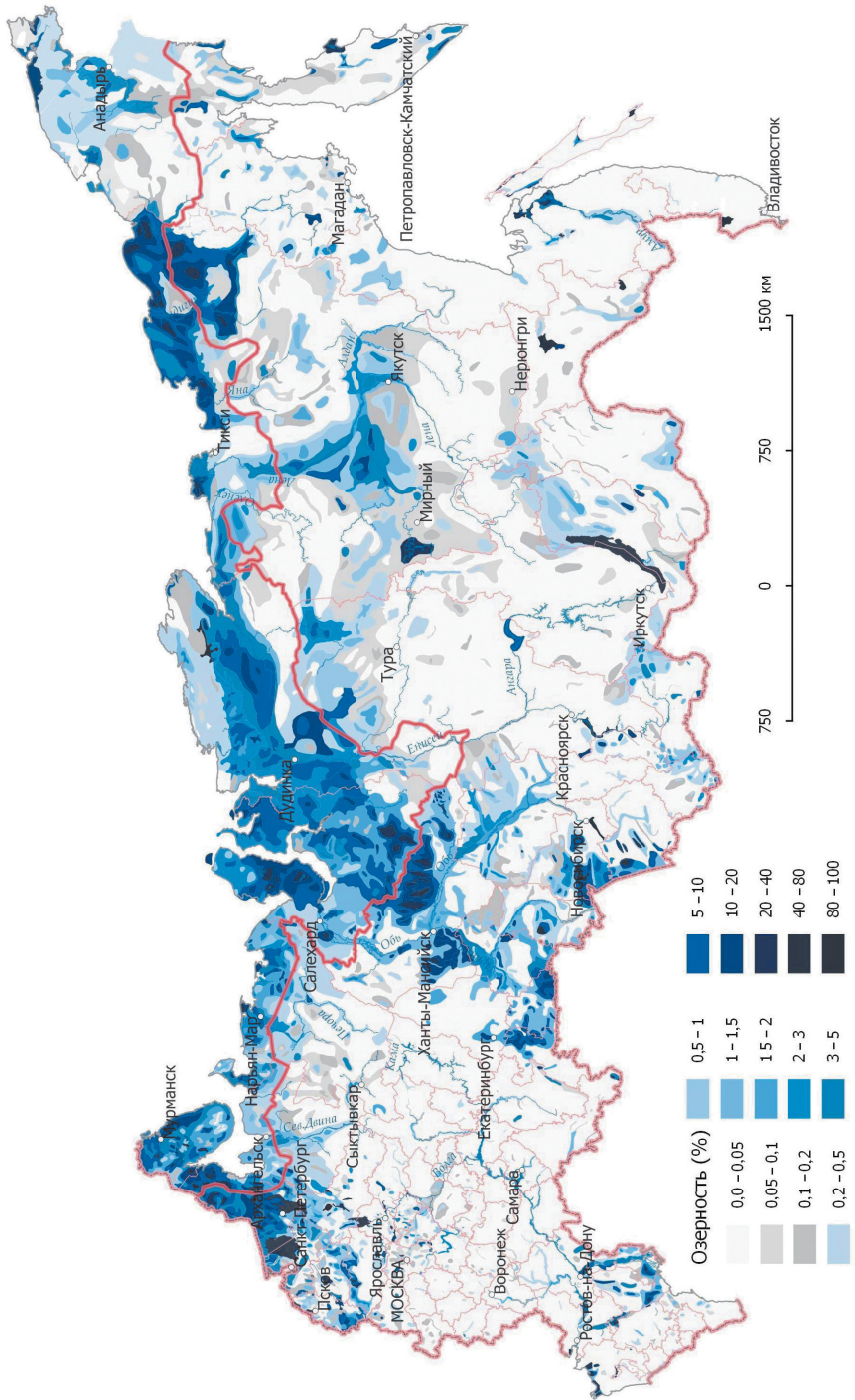


Рис. 1. Естественная озерность Российской Федерации  
 Fig. 1. Natural lakeiness of the Russian Federation

включенных в Арктическую зону. Наиболее высокие его значения наблюдаются в пределах входящих в зону районов Республики Карелия (~12 %), Мурманской области (7,64 %) и Ямало-Ненецкого автономного округа (5,06) % [6]. Пониженные значения коэффициента озерности характерны лишь для Чукотского авт. округа (1,87 %) и входящих в Арктическую зону районов Архангельской области (~1,5 %).

Суммарный объем вод, заключенных в озера Арктической зоны, составляет ~760 км<sup>3</sup>, или ~3 % от суммарного запаса озерных вод России, который согласно последней оценке [6] без учета вод водохранилищ достигает 25 910 км<sup>3</sup>. Поскольку ~91 % озерных вод РФ заключен в оз. Байкал, а без его учета суммарный запас российских озерных вод составляет лишь 2295 км<sup>3</sup>, можно заключить, что 1/3 этой величины приходится на водоемы Арктической зоны.

В пределах Арктической зоны находятся разнообразные по своему происхождению озера. Побережье морей Северного Ледовитого океана практически повсеместно покрыто густой сетью водоемов, значительная часть которых обязана своим происхождением относительно недавним (в геологическом масштабе времени) морским трансгрессиям. Непосредственно вдоль прибрежной зоны располагаются прибрежно-лагунные водоемы с соленой водой и близкие к ним морские реликтовые озера — обособившиеся и опреснившиеся морские заливы. Наряду с прибрежно-лагунными водоемами, в пределах морских аккумулятивных, водно-ледниковых и озерно-аллювиальных равнин широко распространены термокарстовые, ледниковые, просадочные, пойменные и западинные озера. Большинство из них характеризуется малыми площадями и незначительными глубинами, составляющими от 1 до 2 м и лишь иногда — до 3 и более метров. Самым крупным среди расположенных здесь озер является оз. Таймыр.

Наиболее глубокие озера в пределах Арктической зоны приурочены к плато Путорана и Балтийскому кристаллическому щиту. Плато Путорана представляет собой комплекс высоких плосковершинных горных массивов, появившихся благодаря поднятию древних лавовых плато и разделенных глубокими и широкими ступенчатыми каньонами, образованными в результате гигантских тектонических разломов. В четвертичное время, согласно ряду гипотез [7], плато являлось одним из центров Сибирского оледенения. Сползавшие с него ледники переуглубили существующие здесь тектонические впадины, расширили каньоны и сформировали ущелья современных рек и глубочайшие узкие, вытянутые озера. Среди наиболее крупных озер — Хантайское, Кета, Лама, Мелкое, Виви, Дюпкун, Глубокое, Агата и другие. Максимальные глубины некоторых путоранских озер превышают сто метров. Озера плато Путорана — крупнейшее в Арктикеместилище пресных вод, только в 32 самых крупных водоемах сконцентрировано ~45 % от суммарного запаса озерных вод российской Арктической зоны.

Наряду с плато Путорана, достаточно глубокие водоемы встречаются и в пределах российской части Балтийского кристаллического щита. В период позднего плейстоцена данная территория находилась под сплошным покровом валдайского ледника. Наследием оледенения явилось огромное число озер, встречающихся на Кольском полуострове и в Карелии; значительная их часть имеет ледниковое происхождение, а наиболее крупные и глубокие — ледниково-тектоническое (оз. Имандра, Умбозеро, Ловозеро, Топозеро, Пяозеро и др.). Несмотря на то, что площадь Балтийского кристаллического щита в пределах Арктической зоны невелика (менее 5 %), в расположенных здесь

водоемах сконцентрировано более 11 % от суммарного объема вод Арктической зоны. Значительными глубинами (превышающими 10 м) характеризуется также ряд горных ледниковых и ледниково-тектонических водоемов Полярного и Приполярного Урала, а также островов архипелага Новая Земля. Здесь нет больших водоемов, а к категории средних относятся озера Гольцовое, Ледниковое, Нехватова 1, Нехватова 2, Гусиное, Крест-То (Саханова), Большое Пуховое, Обманный Шар, Большое Щучье.

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕР АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Еще в середине XX столетия озера Российской Арктики, за редким исключением, характеризовались высочайшим качеством своих вод. Постепенное загрязнение северных озер происходило по мере разработки здесь месторождений полезных ископаемых, создания вблизи них населенных пунктов и развития производственной и социальной инфраструктуры.

Первым арктическим регионом, освоение рудных месторождений которого сопровождалось значительными экологическими изменениями, явился Кольский полуостров. В 1930 г. было начато строительство апатито-нефелиновой обогатительной фабрики в Хибинах, на берегу оз. Большой Вудъявр. В 1935 г. на берегу оз. Имандра (губа Монче) развернулось строительство медно-никелевого предприятия. В 1946 г. на месте открытого в 1921 г. Печенегского рудного месторождения был сооружен комбинат «Печенганикель» с горнорудным и металлургическим производством. С 1953 г. комбинированным способом ведется разработка Оленегорского месторождения железных руд, а с 1962 г. — Ковдорского. В конце 1940-х гг. начата добыча лопарита на рудниках Ловозерского месторождения редкоземельных металлов [8].

Активное развитие горнодобывающей и перерабатывающей промышленности привело к значительной антропогенной нагрузке на поверхностные воды Кольского полуострова [9, 10]. Только с конца 1980-х гг. предпринятые природоохранные меры, а также снижение объема производства, связанное с начавшимся в это время экономическим кризисом, позволили приостановить масштабы и скорости загрязнения поверхностных вод полуострова. Восстановление ряда производств, начавшееся с конца 1990-х гг., проходило уже на фоне принятых мер по охране окружающей среды [11]. Снижение токсической нагрузки способствовало интенсификации процессов самоочищения водных экосистем, и экологическое состояние ряда водоемов заметно улучшилось. Однако и в настоящее время загрязнение озер Кольского полуострова остается актуальной проблемой, а комплекс предложенных для региона мер пока недостаточен. На водные объекты Мурманской области приходится около 80 % всех случаев высокого и экстремально высокого загрязнения в континентальной Арктической зоне РФ [12]. Тысячи тонн минеральных солей, взвешенных веществ, биогенных элементов, сотни тонн тяжелых металлов продолжают поступать в озера со стоками горнопромышленного комплекса. Кроме того, происходит аэротехногенное загрязнение территории за счет переноса некоторых из этих веществ через атмосферу. Находящиеся в зоне влияния промышленных предприятий природные комплексы испытывают деградацию на всех уровнях организации, прежде всего это сказывается на озерах центральной и западной части Кольского п-ова, где сконцентрировано основное производство. Так, важнейшие промышленные объекты Мурманской области сосредоточены в бассейне озера Имандра, среди основных производств выделяются ОАО «Апатит», Кольский ГМК ОАО «Североникель» и Оленегорский горно-обогатительный комбинат (ОАО «Олкон»). Разрабатывающее апатит-нефелит

линовые месторождения ПО «Апатит» загрязняет восточную часть оз. Имандра, а занимающийся переработкой медно-никелевого сырья комбинат «Североникель» сбрасывает сточные воды по реке Нюдуай в его северо-западную часть. В северную часть Большой Имандры поступает загрязнение с Оленегорского ГОК (ОАО «Олкон»), а в губу Молочная — подогретые воды Кольской АЭС. Основными поступающими в озеро загрязнителями являются сульфаты, хлориды, фосфор, нефтепродукты, никель, железо, медь, взвешенные и органические вещества, до 1975 г. к ним также относились гематитовые шлаки и фенолы. Кроме того, аэротехногенное загрязнение водосбора вызывают выбросы сернистого газа, приводящие к закислению водосбора. Многолетнее загрязнение озера привело к значительному росту минерализации воды и существенным изменениям ее ионного состава. Даже в относительно незагрязненном плесе Бабинская Имандра минерализация воды к концу XX в. повысилась до 45 мг/л, а в наиболее загрязненном плесе Большая Имандра — до 72 мг/л [10]. В воде большинства плесов увеличилось содержание общего фосфора, что способствовало быстрому антропогенному эвтрофированию водоема. Эвтрофирование, в сочетании с изменениями ионного состава воды, привело к значительным изменениям в озерной биоте, охватывающим не только планктонные и бентосные сообщества, но и рыбное население. В природном состоянии оз. Имандра являлось сигово-гольцовым водоемом, в настоящее время в озере преобладают сиговые, значительно сократилась численность голец и кумжи. В зонах загрязнения у рыб наблюдаются массовые патологии [10, 11]. Среди других наиболее изученных озер Кольского полуострова, экологическое состояние которых существенно изменено в связи с антропогенной активностью, — озера Большой Вудъявр, Умбозеро, Ловозеро, Куэтъярви, Ковдор, Чунозеро.

С середины 1930-х гг. крупное промышленное строительство, связанное с освоением Норильского медно-никелевого месторождения, было развернуто и на севере Центральной Сибири. Решение о постройке рудников и обогатительной фабрики было принято в 1935 г., и к 1939 г. на открывшемся комбинате был получен первый медно-никелевый штейн. Уже к началу 1950-х гг. комбинат вышел на лидирующие позиции в цветной металлургии страны, однако наибольшее развитие медно-никелевое производство получило после создания в 1989 г. концерна «Норильский никель».

Многолетняя деятельность крупнейшего горнодобывающего и металлопроизводящего комбината привела к огромным экологическим проблемам как в непосредственной к нему близости, так и на значительной части Таймырского полуострова. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от ГМК «Норильский никель» в 2016 г. составили около 1,76 млн т, в отдельные годы они достигали 22,5 млн т. Для Норильска характерны самые загрязненные сульфатами в стране атмосферные осадки, содержание которых в 2016 г. составляло 89,5 мг/л (62 % от суммарного состава ионов осадков) [12]. Номенклатура нормируемых загрязняющих компонентов ГМК «Норильский никель» превышает 30 позиций, среди которых диоксид серы вносит наибольший вклад. Как результат колоссального аэрогенного загрязнения, вызываемого деятельностью ГМК «Норильский никель», кислотные дожди, выпадающие на Таймырском п-ове, привели к закислению большинства водоемов и другим негативным изменениям среды. Особенно опасны они в районах выходов обедненных кристаллических пород, где водоемы характеризуются минимальной буферной способностью. Площадь, попадающая в зону закисления атмосферных

осадков, покрывает все пространство Северного Таймыра к западу от оз. Таймыр до берегов Пясинского залива [13]. Особенно сильно деятельность ГМК «Норильский никель» сказалась на экологии оз. Пясино, принимающего часть сточных вод горно-металлургического производства. Вследствие значительного загрязнения, уже не одно десятилетие поступающего в водоем, озеро приобрело дистрофный статус [14], почти полностью лишилось рыбы, оставшиеся же особи характеризуются аномалиями и уродствами внутренних органов.

Особого масштаба география загрязнения поверхностных вод Арктической зоны достигла на рубеже XX–XXI вв., когда было развернуто активное освоение нефтегазовых месторождений Сибири (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция) и европейского северо-востока (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция). Интенсивное развитие нефтегазовых промыслов обусловило создание в регионах их добычи развитой инфраструктуры и резкое увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы, в том числе лимнические. Среди загрязняющих веществ, связанных с нефте- и газодобычей, наиболее жесткое влияние на экологическое состояние водных объектов оказывают тяжелые металлы и нефтепродукты. Повышенные концентрации нефтепродуктов наблюдаются не только вблизи источников их поступления, но и на значительном расстоянии от них, так как, в силу своей гидрофобности, они разносятся с речным стоком на дальние расстояния, вызывая загрязнение всей водной системы, включая озера. Загрязнение еще более усиливается из-за неудовлетворительного технического состояния трубопроводов нефтедобывающих предприятий. Только в Республике Коми, согласно данным [15], в 2013 г. было официально зарегистрировано 14 случаев (в 2012 г. — 7 случаев) аварийных разливов нефти и нефтепродуктов общим объемом 79,1 м<sup>3</sup>.

Проведенное в 1990-е гг. сотрудниками ИНОЗ РАН на озерах Большеземельской тундры исследование антропогенных преобразований в водных объектах, связанных с проведением буровых работ, позволило выявить формирование в регионе специфических техногенных ландшафтов [16]. Мелководные озера техногенных территорий в наибольшей степени реагируют на антропогенное воздействие, которое затрагивает их функциональные особенности, что отрицательно сказывается на жизнеспособности обитающих в них организмов. Наличие существенного загрязнения озерных вод было выявлено и сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН, изучавшими экологическое состояние озер в бассейне р. Печоры в 2000–2003 гг. в рамках международного проекта «Устойчивое развитие Печорского региона в изменяющихся условиях природы и общества». На ряде озер исследования проходили повторно, спустя несколько десятилетий после 1960-х гг., когда гидрохимический режим водоемов полностью определялся природными факторами. В рамках работ выяснилось, что содержание Fe, Cu, Mn, Al и нефтепродуктов в воде практически всех водоемов превышало значения предельно допустимых концентраций для воды водоемов рыбохозяйственного назначения. Ряд загрязнителей, и прежде всего обнаруженные нефтепродукты (110–170 мкг/л), был связан исключительно с развитием нефтегазовой индустрии в регионе [17].

Активное развитие в арктических регионах нефте- и газодобычи приводит также и к аэротехногенному загрязнению водоемов. Его причиной являются растущие в регионе крупные центры хозяйственного освоения. Исследования, проведенные на водоемах севера Западной Сибири, показывают снижение pH [18], связанное



с глобальным и локальным атмосферными переносами. Опасность закисления озер заключается не только в его негативном воздействии на водные организмы, оно приводит к изменениям геохимических циклов элементов, увеличивая концентрацию и токсичность тяжелых металлов [19]. Работы, проведенные на 11 водоемах Надым-Пурского междуречья Е.В. Агбалян и др. [20] с целью выявления экологических изменений, происходящих в водных экосистемах ЯНАО, не подверженных прямому антропогенному воздействию, показали, что воды 18 % обследованных малых озер имеют признаки антропогенного закисления, выражающиеся в низких значениях рН и цветности при преобладании сульфатов в анионном составе. Во всех обследованных озерах были выявлены повышенные концентрации свинца, представляющие высокую экологическую опасность для окружающей среды. Кроме того, для 40 % обследованных озер Надым-Пурского междуречья отмечалось чрезмерное обогащение вод фосфором и азотом.

Ухудшение экологического состояния арктических озер связано и с возросшим загрязнением речных вод. Согласно данным [12] наиболее высоким уровнем загрязненности («грязная» — «очень грязная» — «экстремально грязная») в пределах Ямало-Ненецкого АО характеризуются воды рек Надым, Пур, Таз. Как «грязные» — «очень грязные» характеризуются воды рек Роста (Мурманская область), Онега и Мезень (Архангельская область), Печора (Ненецкий автономный округ). Значительно загрязнены малые реки Кольского п-ова — Колос-йоки, Хаука-лампи-йоки, Нюдуай. В последние годы наблюдается снижение качества воды дельты р. Лены, воды нижнего течения которой в придонном слое характеризуются как «загрязненные», а в поверхностном — «слабо загрязненные». По содержанию нефтепродуктов значительно загрязнены воды низовьев рек, протекающих по основным регионам нефтегазопромыслов, — Оби (в 2016 году поступление нефтепродуктов с водосбора в замыкающем створе составило 6,41 тыс. т), Печоры (6,17 тыс. т) и Северной Двины (2,83 тыс. т) [12].

Северные озерные экосистемы в силу своей упрощенности характеризуются меньшей устойчивостью к загрязнениям, чем водоемы таежной зоны. Их реакция на антропогенное воздействие резко проявляется уже на этапе разведывательных работ. Использование гусеничного транспорта сопровождается широкомасштабными нарушениями почв и растительности водосборов, вызывает развитие гидротермокарстовых, водно-эрозионных и дефляционных процессов, усиливающих вынос различных химических элементов, в том числе обогащающих озерные воды органическим веществом. В результате большинство северных озер, расположенных в регионах разведки новых месторождений, уже сегодня начинают испытывать значительный антропогенный пресс.

В настоящее время география промышленного производства в северных регионах продолжает расширяться. Наряду с уже протянутыми нефте- и газопроводами идет активная разведка новых месторождений на п-ове Ямал. Разведаны Лено-Тунгусская нефтегазоносная и Лено-Вилуйская газонефтеносная провинции. Предполагается расширение геологоразведочных работ на платиноиды и никель на п-ове Таймыр, проведение широкого комплекса геологоразведочных работ по оценке золотоносности на островах Северной Земли, в прибрежной части Таймыра, на полуострове Челюскин.

В целом, по мере усиления антропогенного пресса, следует ожидать значительное химическое и механическое загрязнение крайне чувствительных арктических

экосистем с соответствующими последствиями для биоты, в том числе уникальной. При этом обращает на себя внимание слабая изученность большинства озер Арктической зоны, прежде всего регионов активного современного освоения, таких как арктические острова, север Западной и Центральной Сибири.

### ЭТИОЛОГИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Широко известно, что водные среды Севера характеризуются повышенным содержанием гумуса, накопившегося за многие миллионы лет эволюции планеты. Эти вещества при повышении температуры окружающей среды становятся источником активного размножения микроорганизмов и образования метана, одного из основных парниковых газов. При этом в свете рассматриваемой проблемы исключительное значение имеют данные экспериментальных исследований северных вод, в результате которых были установлены следующие закономерности сорбции металлов к гумусовым веществам:  $Fe > Cu > Pb > Al > Co > Ni > Cd > Zn > Cr > Mg > Sr > Ca > Mn$  [21]. В этой связи при оценке качества воды источников питьевого водоснабжения на северных территориях России пристальное внимание в первую очередь следует обращать на динамику золь-гель процессов образования наноразмерных частиц Fe, Cu, Pb и Al с гумусовыми веществами. Известно, что избыток железа провоцирует онкологические заболевания (ферроптоз), болезни крови, печени, кожи и подкожной клетчатки у человека [22]. Было также детально изучено биологическое действие наночастиц железа размером 20–40 нм, установлено их токсическое действие при попадании в желудочно-кишечный тракт, проявляющееся в изменении показателей углеводного, липидного и белкового обмена [23]. Сильными токсическими свойствами обладают наночастицы алюминия размером 30–103 нм, которые способны подавлять синтез мРНК, вызывать пролиферацию клеток, индуцировать проатерогенное воспаление и нарушение функций митохондрий [24]. Результаты зарубежных изысканий подтверждают значение наночастиц Fe, Al и других металлов, включая Pb, Ag, Co и Zr, в этиологии онкологических заболеваний человека [25–27]. С высокой долей вероятности золь-гель процессы в водных объектах Севера России могут быть важной причиной роста онкологических патологий, аналогично медико-экологической обстановке на территориях водосбора Ладоги [28].

Вместе с тем в соответствии с руководящими документами Российской Федерации (ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.4.1074-01) предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде имеют достаточно высокие значения и не учитывают постоянное (хроническое) воздействие малых и сверхмалых концентраций этих соединений на человека на территориях Крайнего Севера. Более того, нормативы ПДК до сих пор устанавливаются в стационарных лабораториях без учета того, что в природных экосистемах нет изолированного действия множества факторов.

В этой связи, исследуя соответствующие медико-экологические закономерности, нельзя не обратить внимания на тот факт, что в полярных широтах происходит быстрый перенос на большие расстояния аэрозолей из частиц (до 400 нм) вредных органических соединений (полиароматических углеводородов) и тяжелых металлов (Ni, Co, Zn, Se, As и Sb) [29, 30]. Не вызывает сомнений, что с течением времени происходит их седиментация на поверхность воды, снега, льда и почвы с последующей трансформацией в условиях низких температур и образованием веществ неизвестной молекулярной структуры и биологической активности. При

этом отмечается, что развитие экологически зависимых заболеваний индуцируется пролонгированным воздействием какого-либо фактора и действием на очень малом, подпороговом (субпороговом) уровне [3]. В частности, в лабораторных условиях было детально исследовано резкое повышение биологической активности химических соединений в результате воздействия электромагнитного поля на водные растворы веществ в малых и сверхмалых дозах за счет образования наноассоциатов размером до 400 нм [31].

Закономерно, что в ИНОЗ РАН среди причин заболеваемости населения на территориях Севера был рассмотрен сложный комплекс механических, физических, химических, биологических и генетических факторов [32]. Показатели динамики заболеваемости населения, проживающего в пределах субъектов РФ, включенных в Арктическую зону России в течение 2000–2016 гг., и число наиболее опасных патологий у взрослых и детей до 14 лет в 2012 и 2016 гг. суммированы в таблицах 1 и 2. Таблицы составлены на основании публикаций сборников «Здравоохранение в России», информация в которых приведена по данным Федеральной службы государственной статистики [33, 34]. Приведены данные по количеству зарегистрированных заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни, на 1000 человек населения. Для сравнения, наряду с регионами, входящими в Арктическую зону, также приведены сведения для Российской Федерации в целом, Москвы и Санкт-Петербурга.

Из анализа данных табл. 1 следует, что во всех субъектах РФ, полностью или частично включенных в Арктическую зону, заболеваемость населения выше средней по стране и чем в Москве. Наибольшую озабоченность вызывает состояние здоровья людей, проживающих и работающих в Ненецком, Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах, в Республиках Коми, Саха (Якутия) и Карелия, а также в Архангельской области. Чуть лучшая статистика наблюдается лишь в Мурманской области и Красноярском крае. Однако необходимо иметь в виду, что статистические данные публикуются по всему Красноярскому краю в целом, так что они могут не отражать специфику ситуации, складывающейся в его северной части, где основное население проживает вблизи ГМК «Норильский никель».

Таблица 1

**Динамика заболеваемости населения районов,  
отнесенных к Арктической зоне России**

| Субъект статистики       | 2000 | 2005 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация     | 731  | 744  | 780  | 797  | 794  | 799  | 787  | 778  | 785  |
| Москва                   | 727  | 680  | 697  | 715  | 699  | 684  | 662  | 631  | 645  |
| Санкт-Петербург          | 694  | 725  | 857  | 879  | 884  | 877  | 878  | 932  | 1010 |
| Мурманская область       | 870  | 799  | 892  | 851  | 853  | 897  | 850  | 836  | 876  |
| Республика Карелия       | 1002 | 1027 | 1079 | 1101 | 1076 | 1115 | 1114 | 1114 | 1126 |
| Архангельская область    | 915  | 927  | 1049 | 1061 | 1067 | 1029 | 1007 | 1031 | 1016 |
| Республика Коми          | 1092 | 960  | 1035 | 1047 | 1054 | 1047 | 1055 | 1072 | 1121 |
| Ненецкий АО              | 1296 | 1632 | 1813 | 1750 | 1752 | 1573 | 1437 | 1422 | 1381 |
| Ямало-Ненецкий АО        | 1096 | 1178 | 1152 | 1181 | 1122 | 1192 | 1132 | 1097 | 1180 |
| Красноярский край        | 671  | 761  | 813  | 831  | 826  | 808  | 805  | 785  | 783  |
| Республика Саха (Якутия) | 774  | 882  | 1023 | 1047 | 1067 | 1107 | 1098 | 1027 | 1044 |
| Чукотский АО             | 1041 | 1189 | 1214 | 1247 | 1173 | 1123 | 1025 | 1076 | 1289 |

**Опасные заболевания в 2012 и 2016 гг. взрослых / и детей до 14 лет,  
проживающих в районах, отнесенных к Арктической зоне России**

| Субъект статистики       | Год  | Онкология   | Болезни<br>сосудистой<br>системы | Болезни<br>эндокринной<br>системы | Инфекционные<br>и паразитарные<br>болезни |
|--------------------------|------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Российская Федерация     | 2012 | 11,6 / 4,8  | 4,7 / 16,2                       | 10,6 / 16,8                       | 32,1 / 82,4                               |
|                          | 2016 | 11,4 / 4,7  | 4,7 / 13,6                       | 13,9 / 15,5                       | 27,9 / 71,0                               |
| Москва                   | 2012 | 12,5 / 6,7  | 0,7 / 3,8                        | 7,8 / 18,9                        | 24,6 / 68,1                               |
|                          | 2016 | 10,3 / 7,0  | 0,9 / 3,6                        | 8,1 / 14,3                        | 21,2 / 54,3                               |
| Санкт-Петербург          | 2012 | 13,8 / 8,9  | 1,6 / 6,2                        | 10,8 / 21,5                       | 42,5 / 135,1                              |
|                          | 2016 | 15,7 / 10,1 | 2,3 / 5,5                        | 18,1 / 17,5                       | 39,2 / 110,3                              |
| Мурманская область       | 2012 | 14,5 / 8,3  | 3,1 / 9,2                        | 14,6 / 39,3                       | 32,4 / 93,4                               |
|                          | 2016 | 15,3 / 9,4  | 3,0 / 7,8                        | 17,8 / 33,4                       | 36,6 / 98,0                               |
| Республика Карелия       | 2012 | 16,1 / 8,3  | 3,9 / 11,5                       | 17,6 / 29,5                       | 47,2 / 128,2                              |
|                          | 2016 | 14,4 / 8,2  | 3,8 / 10,3                       | 17,0 / 23,0                       | 42,2 / 128,4                              |
| Архангельская область    | 2012 | 12,8 / 11,0 | 5,4 / 18,4                       | 14,0 / 19,9                       | 41,4 / 138,5                              |
|                          | 2016 | 11,4 / 9,4  | 4,8 / 15,4                       | 13,6 / 21,8                       | 40,2 / 129,9                              |
| Республика Коми          | 2012 | 12,2 / 8,8  | 6,2 / 23,7                       | 14,4 / 21,2                       | 51,3 / 129,0                              |
|                          | 2016 | 15,9 / 7,3  | 6,1 / 12,0                       | 18,7 / 36,5                       | 45,7 / 143,8                              |
| Ненецкий АО              | 2012 | 29,9 / 12,9 | 11,1 / 23,4                      | 44,8 / 54,8                       | 102,2 / 228,8                             |
|                          | 2016 | 15,0 /      | 8,9 /                            | 30,7 /                            | 55,6 /                                    |
| Ямало-Ненецкий АО        | 2012 | 16,0 / 6,0  | 7,9 / 20,4                       | 16,2 / 15,6                       | 44,7 / 104,0                              |
|                          | 2016 | 16,1 / 6,9  | 10,2 / 27,2                      | 19,3 / 19,4                       | 37,2 / 86,2                               |
| Красноярский край        | 2012 | 14,8 / 6,8  | 4,1 / 10,3                       | 12,1 / 22,6                       | 36,1 / 88,9                               |
|                          | 2016 | 15,9 / 7,2  | 3,9 / 9,6                        | 13,8 / 19,2                       | 30,1 / 67,7                               |
| Республика Саха (Якутия) | 2012 | 11,9 / 8,4  | 5,3 / 10,9                       | 14,7 / 11,8                       | 27,9 / 66,0                               |
|                          | 2016 | 10,4 / 6,9  | 4,3 / 8,1                        | 9,2 / 6,8                         | 28,2 / 66,3                               |
| Чукотский АО             | 2012 | 17,8 / 13,9 | 4,6 / 11,0                       | 19,5 / 15,4                       | 27,8 / 66,7                               |
|                          | 2016 | 14,3 / 8,0  | 9,5 / 22,7                       | 12,9 / 4,5                        | 33,4 / 86,7                               |

Хочется обратить внимание на данные табл. 2, касающиеся болезней сосудистой системы, которые, по нашему мнению, напрямую связаны с питьевой водой. Известна связь некоторых патологических состояний человека с употреблением «мягкой» и «жесткой» питьевой воды [2]. В случае «мягкой» воды и низкой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния происходит инициация сосудистых патологий, а при «жесткой» воде с повышенным содержанием названных соединений имеет место прогрессирование заболеваний желудочно-кишечного тракта. Дети более чувствительны к качеству питьевой воды, поэтому доля заболеваний сосудистой системы у них выше, чем у взрослых. Для снижения уровня этих заболеваний в советское время в регионах с «мягкой» водой существовала оправдавшая себя практика выдачи молока в детских и учебных заведениях. По-видимому, к этой практике стоит вернуться и в наше время.

В результате наблюдающегося потепления и вызванного этим таяния ледников Севера происходит элиминирование из льда патогенных микроорганизмов, которые до этого находились в состоянии анабиоза много веков. Удивительным примером этого процесса является обнаружение в 2014 г. в вечных льдах Сибири

вируса *Pithovirus sibericum*, который покоился в холоде нетронутым ~30 тыс. лет [35]. Вирионы *Pithovirus* достигают около 1,5 мкм в длину и 0,5 мкм в диаметре, что в полтора раза больше открытого в 2013 г. вируса *Pandoravirus* (1,0 × 0,5 мкм), считавшегося до этого самым крупным из известных вирусов. После длительного анабиоза гигантский вирус *Pithovirus sibericum* все еще активен и способен поражать даже клетки амёб [35]. В дополнение к этому напомним, что совсем недавно, в августе 2016 г. в России была зафиксирована неожиданная вспышка сибирской язвы, которая, по данным СМИ, стала причиной смерти 12-летнего мальчика и госпитализации 72 односельчан-сибиряков. Эта эпидемия напрямую связана с заражением местных грунтовых вод трупными останками оттаявших оленей, умерших от опасной инфекции.

Таким образом, как следует из кратко представленных выше данных, целесообразно обратить пристальное внимание на содержание патогенных микроорганизмов и наноассоциатов размером до 400 нм в воде хозяйственно-бытового назначения на Севере России.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Арктическая зона РФ включает важнейшие регионы современного и перспективного промышленного освоения. В ее пределах расположено огромное количество водных объектов, в большинстве своем малых размеров, слабая изученность которых не позволяет принимать необходимые упреждающие меры по их охране и рациональному использованию. Уязвимость таких объектов к загрязнению усиливается как в силу особенностей их морфометрии, так и в силу упрощенности биологических сообществ северных экосистем, характеризующихся пониженной степенью устойчивости. В силу особой чувствительности северных водоемов к антропогенным нагрузкам, реализация существующих планов промышленного развития Арктики может привести к катастрофическим последствиям для водных экосистем, оказавшихся в непосредственной близости к зонам освоения. Это отразится на снижении биоразнообразия водных экосистем, обеднении рыбных запасов и на заметном ухудшении параметров качества жизни проживающего здесь населения. В связи с этим следует обратить внимание на расширение работ по комплексному изучению лимнологии водоемов, входящих в озерный фонд Арктической зоны РФ.

Заболееваемость населения арктических регионов России сегодня существенно выше, чем в среднем по стране. Дальнейшее освоение территории и наблюдающееся потепление климата приведут к возрастающему загрязнению пресноводных водоемов токсическими веществами, патогенными микроорганизмами и вирусами. Это обострит вопрос обеспечения экологической безопасности и удовлетворения потребностей населения в качественной питьевой воде. Ситуация усугубляется еще и тем, что наиболее доступные технологии водоподготовки и очистки сточных вод в условиях пониженных температур и высокого содержания в исходной воде гумусовых веществ не могут обеспечить должного уровня обеззараживания. В связи с этим одним из первоочередных становится вопрос создания инновационных технологий очистки вод, более адекватных условиям Арктической зоны России.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по темам № 0154-2014-0005 «Пространственная структура озерных и речных водных ресурсов России и ее изменение во времени» и № 0154-2014-0001 «Разра-

ботка физических и химико-биологических методов регулирования цветения воды в пресноводных водоемах» (№ гос. регистрации: № 01201363378).

**Acknowledgments.** This work was carried out within the framework of the state task of Institute of Limnology RAS on topics No. 0154-2014-0005 “Spatial structure of lake and river water resources in Russia and its change over time” and No. 0154-2014-0001 “Development of physical and chemical-biological methods for regulating water flow in freshwater bodies” (State Registration Number: No. 01201363378).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Медико-физиологические аспекты жизнедеятельности в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 70–75.
2. Эльпинер Л.И. Влияние водного фактора на формирование здоровья человека // Вода: химия и экология. 2009. № 3. С. 6–10.
3. Лошадкин Н.А., Голденков В.А., Дикий В.В., Пушкин И.А., Дружинин А.А., Рембовский В.Р., Дарьина Л.В., Хохоев Т.А. Случаи массовых заболеваний «неясной этиологии». Роль малых доз физиологически активных веществ // Российский химический журнал. 2002. Т. 56. № 6. С. 46–57.
4. Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Е.Л. Мальцева Е.Л. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов // Химическая физика. 2003. Т. 22. № 2. С. 21–40.
5. Коновалов А.И. Образование наноразмерных молекулярных ансамблей в высококонцентрированных водных растворах // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83. № 12. С. 1076–1082.
6. Измайлова А.В. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
7. Сакс В.Н. Некоторые спорные вопросы истории четвертичного периода в Сибири // Тр. НИИГА. 1959. Т. 96. Вып. 8. С. 151–163.
8. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России. СПб.: Изд-во Лема, 2015. 392 с.
9. Никонов В.В., Моисеенко Т.И., Лукина Н.В. Структура и функции наземных и водных экосистем Севера в условиях антропогенного воздействия. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ АН СССР, 1990. 130 с.

## REFERENCES

1. Solonin YU.G., Bojko E.R. Medical-physiological aspects of life in the Arctic. *Arktika: ehkologiya i ehkonomika*. Arctic: ecology and economy. 2015, 1 (17): 70–75. [In Russian].
2. El'piner L.I. The influence of the water factor on the formation of human health. *Voda: khimiya i ekologiya*. Water: chemistry and ecology. 2009, 3: 6–10. [In Russian].
3. Loshadkin N.A., Goldenkov V.A., Dikij V.V., Pushkin I.A., Druzhinin A.A., Rembovskij V.R., Dar'ina L.V., KHokhoviev T.A. Cases of mass diseases “of unknown etiology”. The role of low doses of physiologically active substances. *Rossijskij khimicheskij zhurnal*. Russian chemical journal. 2002, 56 (6): 46–57. [In Russian].
4. Burlakova E.B., Konradov A.A., Mal'tseva E.L. The Effect of ultra-low doses of biologically active substances and low intensity physical factors. *Khimicheskaya fizika*. Chemical physics. 2003, 22 (2): 21–40. [In Russian].
5. Konovalov A.I. The Formation of nanorazmernykh molecular ensembles in vysokorazvitykh water solutions. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2013, 83 (12): 1076–1082. [In Russian].
6. Izmailova A.V. Water resources of the lakes of the Russia. *Geografija i prirodnye resursy*. Geography and Natural Resources. 2016, 4: 281–289. [In Russian].
7. Saks V.N. Some controversial issues of the history of the Quaternary period in Siberia. *Tr. NIIGA*. Proc. NIIGA. 1959, 96 (8): 151–163. [In Russian].
8. Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmailova A.V. *Ozera evropeiskoi chasti Rossii*. Lake of the European part of Russia. St. Petersburg: Publishing house Lema, 2015: 392 p. [In Russian].
9. Nikonov V.V., Moiseenko T.I., Lukina N.V. Structure and functions of terrestrial and aquatic ecosystems of the North in conditions of anthropogenic impact. *Apatity*: Publishing house

10. Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 221 с.
11. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона // Тр. Кольского НЦ РАН. Прикладная экология севера. Апатиты, 2012. № 1. С. 6–54.
12. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. 760 с.
13. Сыроечковский Е.Е., Рогачева Э.В., Сыроечковский-мл. Е.Е., Куваев В.Б., Латно Е.Г., Романенко Ф.А., Хрулева О.А., Чернов Ю.И., Чупров В.Л., Чупрова И.Л. Большой Арктический заповедник // Заповедники России. Заповедники Сибири. II. М.: Логата, 2000. С. 56–81.
14. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Великие озера мира. СПб.: Изд-во Лема, 2012. 372 с.
15. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2013 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2014. 199 с.
16. Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (На примере озер Большеземельской тундры) / Отв. ред. В.Г. Драбкова, И.С. Трифонова. СПб.: Наука, 1994. 260 с.
17. Даувальтер В.А., Хлопцева Е.В. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры // Вестн. МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 407–414.
18. Ермилов О.М., Грива Г.И., Москвин В.И. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 148 с.
19. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
20. Азбалин Е.В., Хорошавин В.Ю., Шинкаур Е.В. Оценка устойчивости озерных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа к кислотным выпадениям // Вестник Тюменско-
- of the Kola Science Center of the USSR Academy of Sciences, 1990: 130 p. [In Russian].
10. Moiseenko T.I., Yakovlev V.A. Anthropogenic transformations of the aquatic ecosystems of the Kola North. Leningrad: Nauka, 1990: 221 p. [In Russian].
11. Kashulin N.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., Terentiev P.M. Modern trends in changes in freshwater ecosystems in the Euro-Arctic region. Tr. Kolskogo NC RAN. Prikladnaya ekologiya severa. Proc. Kola Scientific Center of RAS. Applied ecology of the North. Apatity: 2012, 1: 6–54. [In Russian].
12. State report “The status and environment of the Russian Federation in 2016”. M.: Minprirody Rossii; NIAPriroda. Moscow: Russian Ministry Of Natural Resources; NIA-Priroda, 2017: 760 p. [In Russian].
13. Syroechkovskiy E.E., Rogacheva E.V., Syroechkovski, Jr, E.E., Kuvaev, V.B., Lappo E.G., Romanenko F.A., Khruleva O.A., Chernov Y.I., Chuprova V.L. Great Arctic nature reserve. Zapovedniki Rossii. Zapovedniki Sibiri. M.: Logata. II. Moscow: Logata. 2000: 56–81. [In Russian].
14. Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmailov A.V. Great lakes of the world. SPb.: Izd-vo Lema, 2012. St. Petersburg: Publishing house Lema, 2012: 372 p. [In Russian].
15. State report “The status and environment of the Komi Republic in 2013”. Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhaustchei sredy Respubliki Komi; GBU RK “TFI RK”. Syktyvkar, 2014: 199 p. [In Russian].
16. Features of ecosystem structure of lakes of the far North (On the example of lakes Bolshezemelskaya tundra) / Ed. edited by V.G. Drabkova, I.S. Trifonova. SPb.: Nauka, 1994. St. Petersburg: Science, 1994: 260 p. [In Russian].
17. Dauvalter V.A., Hloptseva E.V. Hydrological and hydrochemical features of the lakes Bolshezemelskaya tundra. Vestn. MG TU. Vestn. MSTU, 2008, 11(3): 407–414. [In Russian].
18. Ermilov O.M., Griva G.I., Moskvina V.I. The impact of the gas industry in Northern ecosystems and the ecological stability of geotechnical systems in cryolithozone. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. Novosibirsk: Publishing house SO RAS, 2002: 148 p. [In Russian].
19. Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Formation of the chemical composition of lake waters under conditions of environmental change. M.: Nauka. Moscow: Science, 2010: 268 p. [In Russian].

- го гос. ун-та. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 1 (1). С. 45–54.
21. Дину М.И. Взаимодействие ионов металлов в водах с гумусовыми веществами глееподзолистых почв // Геохимия. 2015. № 3. С. 276–288.
  22. Иванов С.Д. Железо и рак: роль ионов железа в процессе канцерогенеза и при лучевой терапии опухоленосителей // Успехи современной биологии. 2013. № 5. С. 481–494.
  23. Бородулин В.Б., Горошинская И.А., Качесова П.С., Бабушкина И.В., Положенцев О.Е., Дурнова Н.А., Василиадис Р.А., Лосев О.Э., Чесовских Ю.С., Чеботарева Е.Г. Изучение биологического действия наночастиц железа // Российские нанотехнологии. 2015. № 3–4. С. 86–93.
  24. Song H.M. Elastomeric nanoparticle composites covalently bound to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GaAs surfaces // Langmuir. 2007. № 23. P. 9472–9480.
  25. Donaldson K. Nanotoxicology // Occupational Environmental Medicine. 2004. Vol. 61. P. 727–728.
  26. Gatti A.M., Rivasi F. Biocompatibility of micro- and nanoparticles Part 1 in liver and kidney // Biomaterials. 2002. Vol. 23 (11). P. 2381–2387.
  27. Gatti A.M. Risk assessment of micro and nanoparticles and the human health // Chapter of Handbook of Nanostructured biomaterials and their applications ed American Scientific Publisher USA. 2005. No. 12. P. 347–369.
  28. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. Влияние золь-гель процессов в бассейне Ладоги на медико-экологическую обстановку на территориях водосбора озера // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86. № 1. С. 43–47.
  29. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И., Серова В.В. Состав морского аэрозоля в западной части Северного Ледовитого океана // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1998. Т. 34. № 5. С. 664–668.
  30. Немировская И.А. Содержание и состав органических соединений в отделяющих озерах в Антарктиде и Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 4 (114). С. 76–85.
  20. Aghbalyan E.V., Khoroshavin V.Yu., Sincar E.V. Assessment of the sustainability of lake ecosystems of the Yamal-Nenets Autonomous region to acid deposition. *Vestnik Tyumenskogo gos. un-ta. Ehkologiya i prirodnopol'zovanie*. Bulletin of the Tyumen state University. Ecology and natural resource management. 2015, 1 (1): 45–54. [In Russian].
  21. Dinu M.I. The Interaction of metal ions in waters with humic substances of soils leipojarvi. *Geohimiya*. Geochemistry. 2015, 3: 276–288. [In Russian].
  22. Ivanov S.D. Iron and cancer: role of iron ions in the process of carcinogenesis and in radiation therapy of tumours. *Uspekhi sovremennoj biologii*. Successes of modern biology. 2013, 5: 481–494. [In Russian].
  23. Borodulin V.B., Goroshinskaya I.A., Kachesova P.S., Babushkina I.V., Polozhencev O.E., Durnova N.A., Vasiliadis R.A., Losev O.E., Chesovskikh YU.S., Chebotareva E.G. Study of the biological action of iron nanoparticles. *Rossiiskie nanotekhnologii*. Russian nanotechnology. 2015, 3–4: 86–93. [In Russian].
  24. Song H.M. Elastomeric nanoparticle composites covalently bound to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GaAs surfaces. *Langmuir*. 2007, 23: 9472–9480.
  25. Donaldson K. Nanotoxicology. *Occupational Environmental Medicine*. 2004, 61: 727–728.
  26. Gatti A.M., Rivasi F. Biocompatibility of micro- and nanoparticles Part 1 in liver and kidney. *Biomaterials*. 2002, 23 (11): 2381–2387.
  27. Gatti A.M. Risk assessment of micro and nanoparticles and the human health. Chapter of Handbook of Nanostructured biomaterials and their applications ed American Scientific Publisher USA. 2005, 12: 347–369.
  28. Rumyantsev V.A., Pozdnyakov S.R., Kryukov L.N. The influence of Sol-gel processes in the basin of Ladoga on medical-environmental situation in the catchment areas of lakes. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2016, 86 (1): 43–47. [In Russian].
  29. Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Ivanov G.I., Serova V.V. Composition of marine aerosol in the Western part of the Arctic ocean. *Izvestiya AN. Fizika atmosfery i okeana*. Proceedings of the Academy of Sciences. Physics of atmosphere and ocean. 1998, 34 (5): 664–668. [In Russian].
  30. Nemirovskaya I.A. Content and composition of organic compounds in the separating lakes in Antarctica and the Arctic. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of Arctic and Antarctic. 2017, 4 (114): 76–85. [In Russian].



31. Коновалов А.И., Мальцева Е.Л., Рыжкина И.С., Муртазина Л.И., Киселева Ю.И., Каспаров В.В., Пальмина Н.П. Образование наноассоциатов — фактор, определяющий физико-химические и биологические свойства высокоразбавленных водных растворов // Доклады Академии наук. 2014. Т. 456. № 5. С. 561–564.
32. Стожаров А.Н. Медицинская экология. Минск: Высш. шк., 2007. 368 с.
33. Здравоохранение в России: Статистический сборник. М.: Росстат, 2013. 380 с. Табл. 2.22, 2.23, 2.25, 2.59, 2.66.
34. Здравоохранение в России: Статистический сборник. М.: Росстат, 2017. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1139919134734](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1139919134734) (дата обращения 30.01.2018).
35. Kou Z., Li T. Pithovirus: a new giant DNA virus found from more than 30,000-year-old sample // *Virologica Sinica*. 2014. Vol. 29. No. 2. P. 71–73.
31. Konovalov A.I., Mal'ceva E.L., Ryzhkina I.S., Murtazina L.I., Kiseleva YU.I., Kasparov V.V., Pal'mina N.P. The education of nonassociative factor that determines the physico-chemical and biological properties vysokorazvityh aqueous solutions. *Doklady Akademii nauk*. Reports of Academy of Sciences. 2014, 456 (5): 561–564. [In Russian].
32. Stozharov A.N. Medical ecology. Minsk: Vyssh. shk. Minsk: Vysshiaia shkola, 2007: 368 p. [In Russian].
33. *Zdravoohranenie v Rossii*. Health care in Russia. Moscow: Federal service of state statistics (Rosstat), 2013: 380 p. 2.22, 2.23, 2.25, 2.59, 2.66 tabl. [In Russian].
34. *Zdravoohranenie v Rossii*. Health care in Russia. M.: Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). Federal service of state statistics (Rosstat). URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1139919134734](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1139919134734). (accessed 30.01.2018)
35. Kou Z., Li T. Pithovirus: a new giant DNA virus found from more than 30,000-year-old sample. *Virologica Sinica*. 2014, 29 (2): 71–73.