

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>
УДК 556.55



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

Районирование Арктической зоны РФ как основа разработки системы наблюдений за пресными водами

В.А. Румянцев¹, А.В. Измайлова^{2*}

¹ — Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

² — Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

*ianna64@mail.ru

Резюме

Обосновывается необходимость создания программы облегченных исследований на малых озерах и реках Арктической зоны РФ, крайне многочисленных и чрезвычайно уязвимых к различным видам антропогенного воздействия. При создании сети таких наблюдений основное внимание должно уделяться не состоянию конкретных объектов, а выявлению негативных трендов в различных частях АЗ РФ с целью своевременного предупреждения масштабных катастроф с пресными водами. В основу создания сети предлагается положить принцип ландшафтно-гидрологического районирования, учитывающего как генезис формирования водных объектов, так и особенности функционирования водных экосистем.

Ключевые слова: Арктическая зона, ландшафтно-гидрологическое районирование, малые реки, озерный фонд, сеть гидрологических и лимнологических наблюдений.

Для цитирования: Румянцев В.А., Измайлова А.В. Районирование Арктической зоны РФ как основа разработки системы наблюдений за пресными водами // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68. № 2. С. 173–190. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>.

Поступила 17.05.2022

После переработки 11.06.2022

Принята 17.06.2022

Zoning of the Arctic zone of the Russian Federation as the basis for the development of a fresh water observation system

Vladislav A. Rumyantsev¹, Anna V. Izmailova^{2*}

¹ — St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia

² — State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*ianna64@mail.ru

Summary

Solving the problem of developing the Arctic zone of the Russian Federation without causing irreparable damage to the environment requires monitoring its various components. The article discusses the need to create a network of systems for the observation of the state of water resources in the polar regions. It is shown that, along

with the existing monitoring system for large water bodies and streams, it is necessary to create a program of facilitated research on small lakes and rivers, which are extremely numerous within the Arctic zone and extremely vulnerable to various types of anthropogenic impact. In developing a network of such observation systems, the main attention should be paid not to the state of specific objects, but to identifying negative trends in various parts of the Russian Arctic zone in order to timely prevent large-scale fresh waters disasters. It is proposed that the creation of the network should be based on the principle of landscape-hydrological zoning, which takes into account both the genesis of water bodies and the specific features of the functioning of aquatic ecosystems. After the zoning of the territory of the Russian Federation Arctic Zone is completed, it is recommended that observations be carried out at reference water bodies located within all the selected regions, taking into account landscapes, both at the regional and, in the case of a significant scale of anthropogenic impact, at the local level. Along with general observations that need to be carried out at all points, which will make it possible to obtain data on the features of hydrological and in-lake processes in various parts of the Arctic zone and compare their course, it is also necessary to develop special observations. The latter, developed within each selected region, must meet the requirements for identifying the features of regional processes and information support for mathematical modeling of emergency situations and the ecological crisis caused by the main types of anthropogenic activity. The information obtained on reference lakes and streams of a hydrological region may reveal negative processes occurring throughout its area and indicate the need for emergency measures.

Keywords: Arctic zone, hydrological zoning, lake fund, network of hydrological and limnological observations small rivers.

For Citation: *Rumyantsev V.A., Izmailova A.V. Zoning of the Arctic zone of the Russian Federation as the basis for the development of a fresh water observation system. Problemy Arktiki i Antarktiki. Arctic and Antarctic Research. 2022, 68 (2): 173–190. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>.*

Received 17.05.2022

Revised 11.06.2022

Accepted 17.06.2022

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) до 2035 года намечено широкомасштабное хозяйственное освоение северных регионов [1], оборотной стороной которого является резкое усиление антропогенного пресса на природную среду и, в силу этого, возможное серьезное ухудшение ее экологического состояния. При этом наибольшую и трудно устранимую угрозу представляет масштабное пространственное загрязнение, вызванное техногенным переносом опасных веществ от горнодобывающих, горноперерабатывающих и металлургических предприятий, которое распространяется на большие расстояния и одновременно охватывает огромные территории. Планами промышленного освоения АЗ РФ предусматривается дальнейшее расширение существующих производств и строительство новых минерально-сырьевых центров, что обострит в ряде регионов и без того напряженную экологическую ситуацию. Большую угрозу крупного пространственного загрязнения территорий представляет также интенсивное развитие нефтяных и газовых промыслов в целом ряде арктических регионов. Достаточно напомнить о последствиях крупнейшего разлива нефтепродуктов в мае 2020 г. на ГМК «Норильский никель», а также об аварии на нефтепроводе в 1994 г. в г. Усинске, Республика Коми.

Следует напомнить, что в директивных документах по развитию Арктической зоны подчеркивается необходимость промышленного освоения территорий без нанесения непоправимого вреда природной среде. Чтобы, в условиях интенсивного освоения, обеспечить выполнение данного положения, необходима «обратная связь» между ростом антропогенной нагрузки, происходящей в условиях наблюдающегося потепления климата, и реакцией различных составляющих природной среды на производимое антропогенное воздействие. Такая связь может быть обеспечена лишь за счет построения на территории АЗ РФ сети станций контроля за трен-

дом в ее состоянии. Заметим, что при организации сети для каждой составляющей природной среды (воздушной, водной, растительной, почвенной) потребуется свой индивидуальный подход.

В рамках настоящей статьи остановимся на одной из важнейших составляющих природной среды, а именно — пресных водах, запасы которых определяют как жизнедеятельность человека, так и возможности экономического развития регионов. И поставим своей задачей обоснование необходимости создания сети специальных наблюдений на водоемах и водотоках арктических территорий, разработка которой может основываться на принципах ландшафтно-гидрологического районирования.

ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Арктические регионы России характеризуются богатством водных ресурсов, включающих сток рек и запасы озерных вод. Однако по мере освоения северных регионов качество поверхностных вод неуклонно ухудшается. К настоящему времени большинство крупнейших рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана, характеризуется 2–4-м классом загрязненности (от слабо загрязненной до грязной и очень грязной). Они являются загрязненными уже на входе в Арктическую зону, поскольку собирают стоки с полей и предприятий, расположенных в наиболее освоенных центральных и южных регионах страны. Низким качеством воды отличается и целый ряд рек, бассейны которых полностью лежат в пределах Арктической зоны. Так, воды наиболее крупных рек Кольского полуострова, активное хозяйственное освоение которого началось еще в первой половине XX в., характеризуются в диапазоне от загрязненных до экстремально загрязненных [2]. Наряду с речными водами, ухудшение качества воды характерно и для многих арктических озер. Согласно оценке [3, 4], во всех субъектах Российской Федерации, расположенных в пределах АЗ РФ, преобразования, происходящие в озерных системах, пока еще охватывают менее половины водоемов, однако на целом ряде больших озер они квалифицируются уже как чрезвычайно опасные.

Крупные реки и озера отличаются большим разнообразием формирующих их природных и антропогенных факторов и, в силу этого, мозаичностью экологического состояния и качества воды в различных частях водного объекта. Контроль за их состоянием в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» (ред. от 18.04.2014) возложен на Федеральное агентство водных ресурсов, Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное агентство по недропользованию, Федеральную службу по надзору в сфере природопользования, Федеральные органы исполнительной власти и органы исполнительной власти субъектов РФ, которые проводят его совместно в пределах закрепленных за ними функциональных обязанностей [5]. Вместе с тем подавляющее большинство рек и озер в Арктической зоне по существующей классификации относятся к классу малых водных объектов и небольшая часть — к классу средних [6, 7]. Эти водные объекты совершенно не охвачены регулярными наблюдениями, при том что они, в силу своей слабой устойчивости к антропогенным воздействиям и потеплению климата, могут быть подвержены наиболее сильным негативным изменениям.

В работе [4] дан предварительный качественный прогноз возможного положения дел с экологическим состоянием небольших арктических озер при существующих планах развития регионов. Отмечено, что в большинстве арктических районов

следует ожидать появления более масштабного антропогенного пресса и, по этой причине, — быстрого ухудшения экологического состояния водоемов, которое может заметно отразиться на жизнедеятельности людей и представителей животного мира. Для некрупных водных объектов это может привести к пагубным последствиям. Вместе с тем было бы ошибкой недооценивать значение таких объектов как источников пресной воды и природоформирующего фактора. Их роль при реализации планов развития отдельных регионов, несомненно, велика, и сохранение качества пресных вод небольших водоемов и водотоков является важной социальной задачей.

Чтобы избежать в будущем появления обширных территорий с множеством водных объектов, фактически загубленных как источник воды для представителей животного мира и опасных для здоровья людей [3], необходимо иметь систему регулярного контроля за их состоянием. При огромной территории АЗ РФ, множестве расположенных на ней водоемов и водотоков и в то же время при малочисленности населения и слабых коммуникационных связях, создание сети мониторинга, который чаще всего воспринимают как систему наблюдений для принятия оперативных решений, является крайне сложным и дорогостоящим мероприятием. Однако применительно к небольшим водным объектам такая оперативная система и не требуется. Нас в данном случае должно интересовать не положение дел с отдельными объектами, а негативные изменения экологического состояния пресных вод Арктической зоны, происходящие в течение длительного времени на обширных территориях, которые способны спровоцировать масштабные необратимые изменения и других компонентов природной среды. Поэтому здесь необходима система наблюдений по сути своей стратегического характера, задача которой будет прежде всего заключаться в своевременном получении данных о некотором обобщенном по площади показателе, свидетельствующем об ухудшении состояния пресных вод на рассматриваемой территории и возникновении опасной ситуации. Достижение критических значений исследуемых параметров реперных водоемов и выявление негативных трендов для обобщенного показателя изменения водной среды, разработанного для конкретного региона, будут свидетельствовать о приближении экологической катастрофы всей природной среды, а наличие такой информации послужит обоснованием для постановки вопроса о необходимости осуществления соответствующих природоохранных мер. Последние могут включать как модернизацию технологических процессов на отдельных предприятиях, так и возможную корректировку планов промышленного освоения той или иной территории с тем, чтобы избежать дальнейшего роста угрозы социально-экономическому развитию АЗ РФ регионального или даже межрегионального масштабов.

Таким образом, исходя из вышесказанного, единственно возможное решение сформулированной задачи состоит в отказе от идеализированного представления о всеобъемлющем мониторинге и переходе к рассмотрению укрупненной и реально осуществимой системы, достаточной для получения вполне приемлемых результатов с позиции предупреждения масштабных катастроф с пресными водами Арктической зоны. Очевидно, что при построении системы наблюдений за пресными водами АЗ РФ стратегической направленности наиболее разумным явится подход, в основу которого будет положено ландшафтно-гидрологическое районирование территории, учитывающее как генезис формирования водных объектов и особенностей функционирования их экосистем, так и воздействие на них антропогенных факторов. В этом случае можно ожидать, что различия в величинах важнейших показателей пресных вод внутри каждого района будут в среднем существенно меньше, чем при сравнении их с показателями других районов. Это дает основание говорить об

условной гидрологической однородности района и возможности переносить обобщенные величины показателей, полученные по данным наблюдений на выбранных реперных водных объектах, на всю площадь района. За основную стратегическую пространственную единицу при организации системы наблюдений за пресными водами малых рек и озер в АЗ РФ естественно принять условно однородный ландшафтно-гидрологический район.

Для того чтобы негативные изменения водной среды не только фиксировались на единичных объектах, расположенных в непосредственной близости к источникам загрязнения в пресных водах, но и оказывали воздействие на удаленные объекты конкретного региона, требуется определенное время, поэтому отпадает необходимость частых регулярных наблюдений на реперных объектах и важное значение приобретает вопрос об индикаторе происходящих изменений, отвечающем поставленной в рамках исследования конечной цели. В работе [4] в качестве наиболее объективного индикатора для поверхностных вод было предложено использовать природно-ресурсный потенциал водных объектов, который для рек включает ресурсы воды должного качества, а также биологические, прежде всего рыбные ресурсы, а для озер, наряду с ними, также и запасы сапропеля. Ресурсная оценка, с одной стороны, определяет возможность хозяйственно-питьевого использования водных объектов, а с другой — необходима при расчетах ущерба, позволяя установить реальную эффективность хозяйственного освоения регионов.

Слабая изученность средних и малых рек и озер Арктической зоны практически исключает использование при ландшафтно-гидрологическом районировании территории морфометрических характеристик водных объектов и рядов наблюдений на гидрологических постах Росгидромета. Требуемая морфометрическая информация может быть частично восполнена данными космических съемок. Кроме того, дополнительная информация о сходстве водных объектов в пределах определенной территории может быть получена при анализе ландшафтных, геоморфологических и геологических карт.

Геологическая структура и геологическая история, относящиеся к аazonальным факторам, определяют генезис озерных котловин, а также особенности скульптурных форм рельефа, формирующих типологический облик водных объектов, и во многом предопределяют происходящие в водных экосистемах процессы. Функционирование водных экосистем находится в зависимости также и от зональных факторов, среди которых особая роль принадлежит климатическим. Интегральной характеристикой зональных и аazonальных факторов может служить принадлежность к тому или иному типу ландшафта. Водные объекты, расположенные в схожих ландшафтах, чаще всего характеризуются сходством функционирования их экосистем, а также реакции на внешнее воздействие (как частный случай — на антропогенную нагрузку). Настоящее утверждение относится прежде всего к объектам малого и среднего размера, которые отличаются и наиболее быстрым реагированием на антропогенный пресс. Данный факт представляется важным при планировании сети наблюдений за водными объектами, поскольку позволяет, используя метод аналогии, распространить информацию, полученную при изучении ограниченного количества водных объектов, на близлежащую территорию. При этом корректность распространения информации во многом будет определяться правильностью выбора реперных объектов, который, в свою очередь, может опираться на накопленный в гидрологии успешный многолетний опыт использования метода аналогии. Еще раз подчеркнем, что наиболее крупные водные объекты, собирающие сток с обширного водосбора,

характеризующегося мозаичностью ландшафтов, обычно выпадают из каких-либо классификаций. Их водная масса в порядки больше, чем у малых и средних объектов, в силу чего реакция на изменение внешних условий замедлена. Анализ происходящих в крупнейших водоемах процессов всегда требует индивидуального рассмотрения.

После выполнения ландшафтно-гидрологического районирования территории АЗ РФ наблюдения рационально проводить на реперных водных объектах, расположенных в пределах всех выделенных регионов, с учетом ландшафтов как регионального, так и, в случае значительного масштаба антропогенного воздействия, — локального уровня. Это позволит не только выявить изменения, происходящие на водных объектах в связи с определенным характером хозяйственной деятельности, но и отследить особенности реакции на схожие виды воздействия водных экосистем, расположенных в различных физико-географических условиях. Последнее, бесспорно, требует организации наблюдений, которые бы проводились с периодической частотой в одних и тех же пунктах и на основе единой разработанной программы.

В основу ландшафтно-гидрологического районирования на региональном уровне, приведенного далее, наряду со схожестью различных характеристик ландшафта, положена общность геологической структуры, в значительной степени определяющая генезис формирования водных объектов. Необходимо заметить, что тот или иной тип геологических структур, имея собственную историю формирования, обладает и специфической металлогенией, то есть с ним связаны месторождения тех или иных ископаемых. К горным регионам и древним щитам приурочены рудные полезные ископаемые, тогда как в осадочных породах предгорных прогибов и платформ находятся месторождения углеводородного сырья. На уровне локальных геологических структур к антиклинальным складкам тяготеют залежи нефти и газа, в синклинальных складках (мульдах) могут формироваться пласты оолитовых железных руд. Как результат, в Арктической зоне, где освоение различных видов природных ископаемых является основным видом антропогенного воздействия, принадлежность к геологической структуре во многом будет предопределять и основной вид хозяйственного воздействия (извлечение горючих, металлических или неметаллических ископаемых с их дальнейшей переработкой). В силу сказанного выделяемые регионы будут чаще всего характеризоваться общностью как генезиса водных объектов, так и специфики антропогенного пресса (кардинально различается загрязнение вод, связанное с добычей рудных или же углеводородных ископаемых). То есть внутри выделенного региона основные антропогенные факторы, приводящие к изменениям водных экосистем, чаще всего окажутся схожими.

РАЙОНИРОВАНИЕ АЗ РФ

С учетом проведенного ландшафтно-гидрологического районирования в пределах Арктической зоны выделены 9 основных регионов (рис. 1). Внутри регионов могут отмечаться различия по ряду компонентов природной среды на уровне экосистем локального уровня, однако по основным компонентам, таким как геология и климат, наблюдается определенное единство. Существующая пестрота отдельных природных составляющих внутри региона в свою очередь может учитываться за счет его внутренней детальной классификации, проведенной с учетом основных морфоскульптур рельефа, которые во многом определяют типологию речных русел и озерных котловин. Однако подробная детализация имеет особый смысл лишь в случае масштабности антропогенного воздействия, которое пока отмечается не во всех выделенных регионах АЗ РФ.

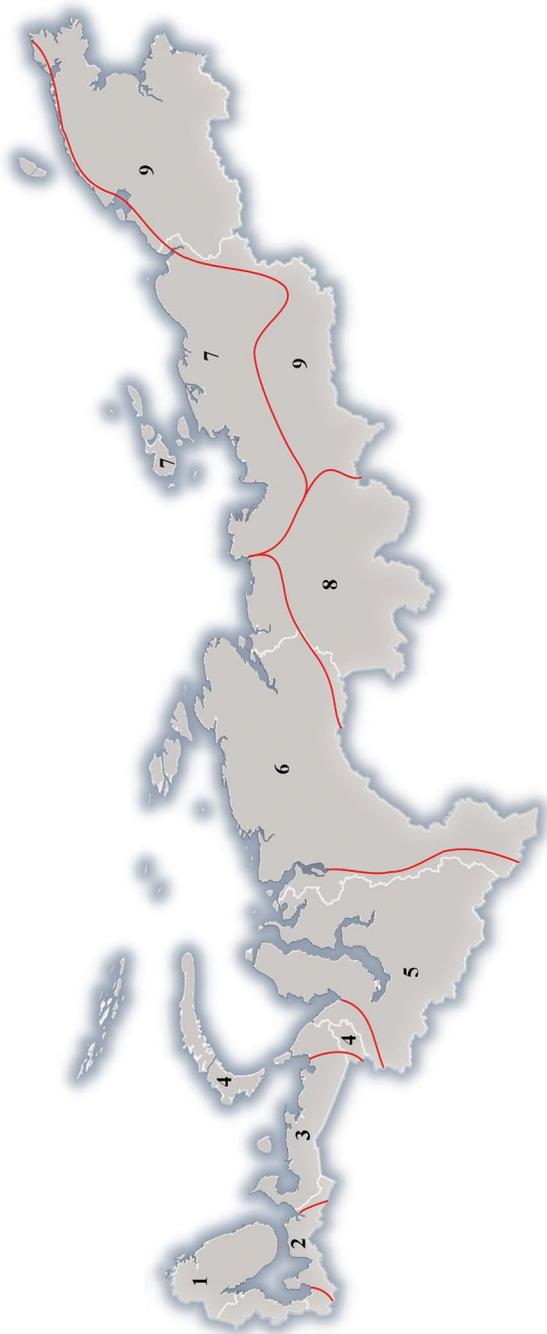


Рис. 1. Регионы АЗ РФ

1 — регион включает Кольский полуостров, северную часть Карелии; 2 — регион включает север Архангельской области; 3 — регион включает Ненецкий автономный округ и небольшие части Архангельской области и Республики Коми; 4 — регион включает северную часть Уралско-Новоземельской горной страны; 5 — регион включает равнинные районы на севере Западной Сибири; 6 — регион включает север Средней Сибири; 7 — регион включает север Северо-Восточной Сибири; 8 — регион расположен в пределах Среднесибирского плоскогорья; 9 — регион включает горные области Северо-Восточной Сибири

Fig. 1. Regions of Arctic zone of Russian Federation

1 — the region includes the Kola Peninsula, the northern part of Karelia; 2 — the region includes the north of the Arkhangelsk region; 3 — the region includes the Nenets Autonomous Okrug and small parts of the Arkhangelsk region and the Komi Republic; 4 — the region includes the northern part of the Ural-Novaya Zemlya mountainous country; 5 — the region includes plain areas in the north of Western Siberia; 6 — the region includes the north of Central Siberia; 7 — the region includes the north of northeastern Siberia; 8 — the region is located within the Central Siberian Plateau; 9 — the region includes the mountainous regions of North-Eastern Siberia

В пределах европейской части АЗ РФ, согласно генетическому принципу, выделяются 3 региона. Первый включает Кольский полуостров, часть материка, к которой он примыкает, а также северную часть Карелии. Весь регион находится на территории Балтийского кристаллического щита, характеризуется высоким коэффициентом озерности и сосредоточением большого количества крупных водоемов, преимущественно ледникового и ледниково-тектонического происхождения. Речная сеть густая, участки крутого падения русел чередуются с плесами, течение на которых значительно замедляется. Многие реки берут начало из крупных озер и, несмотря на небольшую длину, несут в себе много воды. Регион включает Мурманскую область и три муниципальных образования Республики Карелия, отнесенные к АЗ РФ, а также небольшую часть Архангельской области. Более подробная регионализация требует выделения 5 самостоятельных подрайонов:

1. Моренные и водно-ледниковые аккумулятивные равнины последнего оледенения (центр и восток Кольского полуострова).
2. Горная часть Кольского полуострова (центр полуострова, экзарационно-нивальные и аккумулятивные формы рельефа).
3. Прибрежные равнины Баренцева моря с преобладанием экзарационных форм рельефа; область распространения участков вечной мерзлоты (северо-восток полуострова).
4. Прибрежные равнины Белого моря, на которых преобладают экзарационные формы рельефа; область отсутствия вечной мерзлоты (юг полуострова).
5. Моренные и водно-ледниковые аккумулятивные равнины последнего оледенения (в т. ч. в пределах северной части Карельского сегмента Балтийского кристаллического щита).

Освоение первого региона прежде всего связано с разработкой ресурсов металлургических полезных ископаемых. Необходимо подчеркнуть, что это наиболее изученный в гидрологическом отношении регион АЗ РФ, по которому накоплены данные о функционировании водных экосистем различного генезиса и размера. Практически по всем выделенным подрайонам можно достаточно легко определить реперные объекты, в том числе из ранее исследованных, пусть даже эпизодически.

Сразу за пределами Балтийского кристаллического щита при выходе на Русскую равнину значения коэффициента озерности резко снижаются, в том числе на прибрежных равнинах Белого моря, затронутых валдайским оледенением. Речная сеть густая, характеризующаяся множеством водотоков низкого порядка. С учетом общности процессов лимногенеза, а также особенностей формирования гидрологической сети данные территории имеет смысл выделить во 2-й ландшафтно-гидрологический регион, включающий муниципальные образования севера Архангельской области, входящие в АЗ РФ. В его пределах имеет смысл выделить два самостоятельных подрайона:

1. Моренные, водно-ледниковые аккумулятивные и ледниково-озерные равнины последнего оледенения.
2. Морские аккумулятивные равнины Белого моря.

Гидрологическая и лимнологическая изученность второго региона слабее, чем первого, что отчасти вызвано и меньшей антропогенной нагрузкой на его водоемы и водотоки. Главным районом современной хозяйственной активности является устье Северной Двины, где сосредоточена большая часть предприятий Архангельской области. Существующие планы экономического развития сфокусированы на строительстве новых предприятий и модернизации порта в пределах данной, относительно небольшой части Архангельской области. В рассматриваемом регионе также не

сложно наметить реперные водные объекты, в том числе из ранее исследованных, расположенных в непосредственной близости к устью Северной Двины.

Значительно отличается по лимногенезу, а также по рисунку гидрографической сети территория, отнесенная к третьему региону, расположенному на северо-восточной окраине Русской плиты. Административно это территория Ненецкого автономного округа и небольшие части Архангельской области и Республики Коми. Регион характеризуется повсеместным распространением криогенных и посткриогенных ландшафтов и множеством термокарстовых озер, сочетающихся с ледниковыми водоемами, тесно переплетенными между собой небольшими водотоками. Реки отличаются спокойным течением, широкими долинами и обширными поймами. Их русла часто сильно меандрируют, как результат — долины изобилуют водоемами гидрогенного происхождения. Большинство озер характеризуются малыми площадями и незначительными глубинами. В пределах региона выделяются два самостоятельных подрайона:

1. Морские аккумулятивные слаборасчлененные равнины Баренцева моря, Малоземельская тундра.

2. Равнины ледниково-морской аккумуляции, Большеземельская тундра.

Ведущее в регионе с конца XX в. интенсивное развитие нефтяных и газовых промыслов обусловило резкое увеличение антропогенной нагрузки на его экосистемы, в том числе водные. При этом по степени лимнологической и гидрологической изученности рассматриваемый регион резко уступает ранее описанным. Первые всесторонние работы на его водоемах были проведены в 1960-е гг., после чего эпизодически осуществлялись на протяжении XX и XXI вв. [8–11 и др.]. Это позволило получить информацию не только о природном состоянии водоемов данного региона, но и об изменениях, происходивших в них по мере развития нефте- и газопромыслов. Однако эпизодичность этих исследований не отвечает современным экологическим вызовам в данном активно осваиваемом регионе. На рис. 2 показана схема

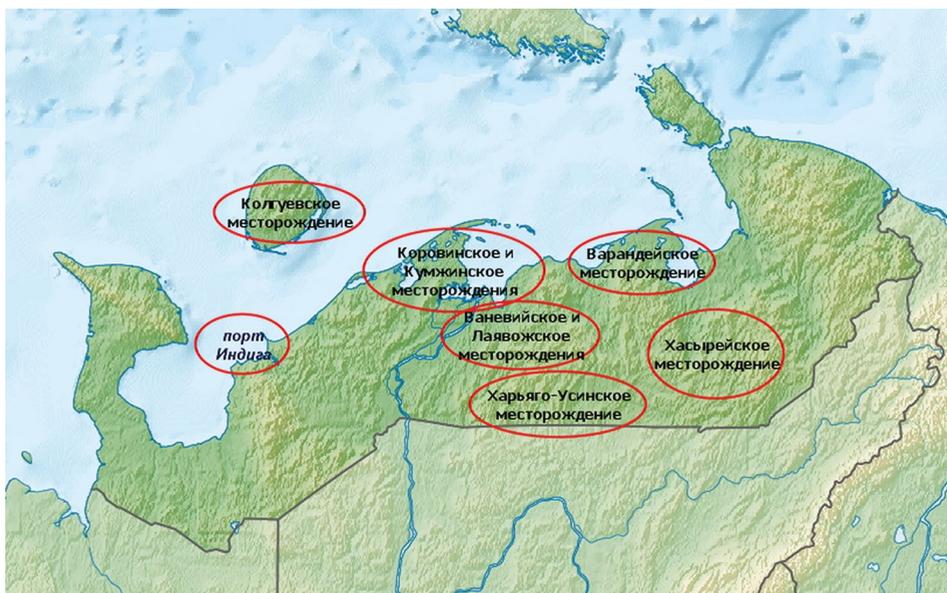


Рис. 2. Схема планируемых минерально-сырьевых центров НАО

Fig. 2. Scheme of the planned mineral resource centers of the Nenets Autonomous region

планируемых минерально-сырьевых центров Ненецкого автономного округа (НАО). Представляется, что организация постоянных наблюдений за состоянием водных объектов будет способствовать снятию имеющей место напряженности в отношениях с местными жителями [3], образ жизни которых предполагает озерное и речное рыболовство и использование неочищенной воды в питьевых целях.

На границе между европейской и азиатской частями страны находится четвертый регион, включающий северную часть Уральско-Новоземельской горной страны. Реки имеют большое падение, часто порожи́сты, нередко с каньонообразными долинами. Водоемы преимущественно небольшого размера, тектонического, ледникового и термокарстового происхождения, в речных долинах — водно-эрозионного и водно-аккумулятивного типа. Наиболее крупные по площади озера расположены на островах Новой Земли. Административно материковая часть региона относится к территориям Республики Коми и Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), островная — к Архангельской области.

В пределах региона выделяются три крупных подрайона:

1. Возвышенная часть Полярного Урала с преобладанием горно-ледниковых, нивальных и мерзлотных форм рельефа.
2. Предуралье с преобладанием экзарационно-нивалных и аккумулятивных форм горных оледенений.
3. Острова Новой Земли с преобладанием горно-ледниковых, нивальных и мерзлотных форм рельефа и обширным распространением ледников.

Изучение водоемов северной части Урала было начато со второй половины XX в. [12], когда они оставались практически не затронутыми антропогенной деятельностью. В последние десятилетия были предприняты комплексные исследования, направленные на современную оценку водоемов и долгосрочный прогноз [13 и др.]. Они свидетельствовали, что экологическое состояние водоемов Полярного Урала продолжает сохраняться на относительно высоком уровне, основное загрязнение связано с аэрогенным переносом с сопредельных территорий. Существующие планы по промышленному освоению региона [1] требуют перевода исследований на стационарную основу. Наряду с озерами и малыми реками Урала, необходимо продумать и возможность проведения исследований на водоемах островов Новой Земли. Согласно Стратегии развития Арктической зоны на Южном острове запланировано развитие свинцово-цинкового минерально-сырьевого центра на базе Павловского месторождения, которое, в силу высокой токсичности данного производства, может существенно отразиться на экологическом состоянии водоемов.

На азиатскую часть России приходится около 80 % от площади АЗ РФ. В ее пределах представляется необходимым выделить 5 основных ландшафтно-гидрологических регионов.

Пятый регион включает равнинные районы на севере Западной Сибири. Весь регион покрыт густой сетью озер и соединяющих их водотоков. Большинство рек относится к равнинному типу, с медленным течением, широкими поймами, избытком проток, стариц и руслых озер. Вдоль береговой линии встречаются прибрежно-лагунные водоемы, заполненные солеными водами. На прибрежных равнинах высока доля термокарстовых озер, которые, по мере удаления от побережья, сочетаются с ледниковыми и просадочными водоемами [7]. Административно весь регион расположен на территории ЯНАО.

В силу равнинности территории, а также значительной схожести процессов лимногенеза на большей части региона, в его пределах выделяются два основных самостоятельных подрайона:

1. Морские аккумулятивные равнины с широко развитыми реликтовыми формами морской, ледниковой, ледниково-морской аккумуляции, занимающие большую часть Ямальского, Тазовского и Гыданского полуостровов.

2. Моренные и водно-ледниковые слабо-эродированные равнины, расположенные в материковой части региона, с хорошо выраженными моренными грядами и холмами, озами, камами, котловинами в краевых частях ледниковой равнины, прилегающих к Уралу и Средне-Сибирскому плоскогорью.

Интерес к экологическому состоянию водных экосистем региона проявился в конце XX в. и был связан с ухудшением качества поверхностных вод Сибири, вызванным освоением ее нефтегазовых ресурсов. В 2011 г. департаментом по науке и инновациям ЯНАО был создан «Научный центр изучения Арктики», одной из задач



Рис. 3. Схема планируемых минерально-сырьевых центров ЯНАО

Fig. 3. Scheme of the planned mineral resource centers of the Yamalo-Nenets Autonomous region

которого является мониторинг естественных и трансформированных природных сообществ и изучение процессов их адаптации к изменениям климата, включая оценку устойчивости водных экосистем к кислотным выпадениям [14 и др.]. Значительный научный интерес вызвали и вопросы изменений площадей термокарстовых озер [15–17]. Однако, несмотря на все усилия последних десятилетий, степень гидрологической и лимнологической изученности рассматриваемого региона не соответствует как масштабу его современного хозяйственного освоения, так и грандиозным планам его развития в ближайшей перспективе (рис. 3).

Уже сегодня в пределах региона отмечается масштабное химическое загрязнение поверхностных вод, закисление водоемов, характеризующихся здесь низкой кислотно-нейтрализующей способностью, изменение их гидрологического и гидрохимического режимов, сокращение видового разнообразия и упрощение структуры различных групп гидробионтов [14, 18 и др.]. Активное хозяйственное освоение ЯНАО может вызвать резкое усиление экологических проблем и привести к количественным изменениям озерного фонда. При отсутствии постоянного мониторинга водных объектов загрязнение водоемов и водотоков, расположенных вблизи промышленных центров, может произойти очень быстро, необходимо также учитывать и аэротехногенное загрязнение территории, приводящее к закислению водных объектов, расположенных на значительном расстоянии от промышленных центров [4]. Как результат, масштаб загрязнения водных объектов ЯНАО за несколько десятилетий может достичь масштаба загрязнения соседнего с ним Ханты-Мансийского автономного округа и, в силу повышенной уязвимости к загрязнению арктических экосистем, превзойти его. Все вышесказанное требует не просто организации системы наблюдений на водоемах и водотоках, но и тщательного обдумывания сети стационаров, которая позволяла бы адекватно отражать процессы, происходящие в различных частях региона.

Шестой регион включает север Средней Сибири, как ее низменную часть, наиболее затронутую хозяйственной деятельностью, так и низкогорные массивы гор Бырранга, плато Путорана, а также острова Северной Земли. Экологические проблемы на водоемах и водотоках Бырранга и Путорана могут возникать вследствие аэрогенного переноса с равнинной части данного региона, что требует рассмотрения горных массивов совместно с равнинными территориями. Административно к региону относятся большинство входящих в АЗ РФ территорий севера Красноярского края. Для региона характерна густая речная сеть, распределение и густота которой значительно изменяются в зависимости от рельефа и геологического строения местности. В горных районах, прежде всего на Путорана, реки имеют бурное течение, тогда как по низменностям текут спокойно, а их русла значительно меандрируют. Основная масса озер относится к термокарстовому типу, также встречаются ледниковые (преимущественно остаточные), пойменные и просадочные водоемы, вдоль побережья — озера прибрежно-лагунного типа [7]. Есть и водоемы, занимающие тектонические котловины, хорошо представленные в горах.

В силу разнообразия ландшафтной структуры в пределах региона необходимо выделить пять самостоятельных подрайонов:

1. Морские аккумулятивные слаборасчлененные равнины восточной части побережья Карского моря.
2. Ледниково-морские и зандровые равнины Северо-Сибирской низменности.
3. Денудационно-эрозионные возвышенные равнины Таймырского полуострова.
4. Низкогорные массивы гор Бырранга и островов Северной Земли.
5. Горы Путорана.

Лимнологическая и гидрологическая изученность северной части Восточной Сибири существенно ниже, чем расположенной по соседству Западной Сибири. Основное загрязнение в пределах рассматриваемого региона связано с Норильским горнодобывающим и металлопроизводящим комбинатом («ГМК Норильский никель»). Наряду с промышленными сбросами непосредственно в водные объекты, работа ГМК приводит к колоссальному аэрогенному загрязнению, связанному с выбросами диоксида серы ($\approx 97\%$ всех выбросов Заполярного филиала «Норильского никеля») и тяжелых металлов, вызывающему закисление водоемов и другие негативные изменения среды на огромных пространствах Таймыра [19]. Серная кислота в атмосферных осадках опасна не только как компонент воздуха, оказы-



Рис. 4. Схема планируемых минерально-сырьевых центров на севере Красноярского края

Fig. 4. Scheme of planned mineral resource centers in the north of the Krasnoyarsk region

вающий отрицательное воздействие на биоту, но и как растворитель минеральных и органических соединений металлов в аэрозолях и в почвах, способствующий высвобождению и миграции металлов [20].

Несмотря на наблюдающуюся в настоящее время локальность очагов загрязнения, производимый ими эффект требует организации системы наблюдений на целом ряде озер и водотоков севера Средней Сибири, расположенных в различных ландшафтах и на разном удалении от Норильска. Тем более что, согласно стратегии развития АЗ РФ, наряду с дальнейшим развитием Норильского промышленного района планируется создание еще целого ряда производств в пределах Таймырского полуострова (рис. 4).

Седьмой регион расположен на севере Северо-Восточной Сибири и простирается от нижнего течения Лены до восточных границ континента. Реки типично равнинные, протекающие по обширным заболоченным низменностям. В их долинах расположено большое количество озер гидрогенного и эрозионно-термокарстового типов. Вдоль побережья встречаются лагунные водоемы и близкие к ним морские реликтовые озера. С продвижением в глубь материка абсолютное преобладание получают термокарстовые водоемы. Административно регион включает часть территории Республики Саха и арктическое побережье Чукотского автономного округа.

Восьмой регион охватывает равнины и плоскогорья зоны повсеместного распространения многолетней мерзлоты, расположенные в пределах Среднесибирского плоскогорья, и протягивается от долины р. Енисей на западе до долины р. Лены на востоке. Регион расчленен густой сетью речных долин, в его возвышенной части реки имеют горно-равнинный характер, с падением высоты — приобретают черты типичных равнинных рек. Восьмой регион характеризуется относительно невысокой озерностью. Наличие мерзлоты и ее значительная мощность создают условия для образования и развития озер термокарстового происхождения, чередующихся близ речной сети с пойменно-долинными и эрозионно-термокарстовыми водоемами. Административно регион включает территорию Республики Саха и небольшую часть Красноярского края.

Девятый регион включает горные области Северо-Восточной Сибири, простирающиеся почти до Тихоокеанского побережья, где горы сменяются прибрежными равнинами, включая самую крупную — Анадырскую. Реки имеют горный, отчасти горно-равнинный характер. Озера гидрогенного, ледникового, тектонического и ледниково-тектонического происхождения, реликтовые, термокарстовые, завально-запрудные и кратерные. Административно регион включает большую часть Чукотского автономного округа и часть горных районов Республики Саха.

Гидрологическая и лимнологическая изученность всех трех регионов низкая, что в значительной степени оправдывается пока малой степенью их хозяйственной освоенности, связанной с удаленностью и неблагоприятными условиями проживания. Как результат, загрязненность водоемов и водотоков носит локальный характер. Планируемое развитие регионов требует создания здесь лишь небольшой сети стационарных наблюдений на озерах и малых реках, привязанной к основным районам освоения. В силу того, что климат данной части АЗ РФ крайне суровый, расположенные в ее пределах водные объекты отличаются очень низкой степенью устойчивости к любым загрязнениям, так что даже при относительно небольшом воздействии происходит быстрая перестройка их экосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется, что планируемая сеть наблюдений за озерами и малыми реками АЗ РФ должна строиться для каждого региона с учетом мозаичности его ландшафтного деления (основываясь на выделенные подрайоны), а также степени антропогенной нагрузки. В связи с последним расширенная сеть наблюдений требуется прежде всего на западе и в центральной части АЗ РФ. На северо-востоке Сибири современный и планируемый уровень антропогенной активности пока позволяет иметь разреженную сеть, привязанную к основным хозяйственным центрам, фактически без учета мозаичности ландшафтного деления.

Необходимо отметить, что наряду с общими наблюдениями, которые необходимо проводить на всех пунктах, что позволит получить данные об особенностях гидрологических и внутриозерных процессов в различных частях Арктической зоны и сравнивать их течение, необходима разработка и специальных наблюдений. Последние, разрабатываемые в рамках каждого выделенного региона, должны отвечать требованиям выявления особенностей региональных процессов и информационного обеспечения математического моделирования прогноза аварийных ситуаций и экологического кризиса, вызванных основными видами антропогенной деятельности в пределах конкретного региона. Соответственно, они должны учитывать вид добываемых природных ресурсов, степень их токсичности, характер распространения в окружающей среде загрязнения, возникающего при их добыче и переработке, особенности протекания биогеохимических циклов различных химических элементов. Очевидно, что характер распространения загрязнения при добыче углеводородных ресурсов резко отличается от характера распространения загрязнения, связанного с добычей твердых горючих ископаемых, и в еще большей степени — добычей и переработкой металлических или неметаллических ископаемых. В этой связи набор специальных наблюдений, проводимых на северо-западе АЗ РФ и на прибрежных равнинах ее центральной части (Ненецкий и Ямало-Ненецкий автономные округа), будут отличаться. В то же время на севере Центральной Сибири имеет смысл разумно сочетать и те, и другие наблюдения.

Предлагается на начальном этапе отработать принципы организации сети наблюдений за экологическим состоянием водных объектов на примере нескольких выделенных регионов, характеризующихся наиболее высоким антропогенным прессом, отличающихся наиболее развитыми коммуникационными связями и к настоящему времени являющихся наиболее гидрологически и лимнологически изученными. Такими регионами представляются прежде всего первый (Кольский полуостров с частью материка, к которой он примыкает) и пятый (север Западной Сибири), принципиально различающиеся между собой по характеру антропогенного воздействия. Для указанных регионов выбор реперных водных объектов представляется наименее сложным, поэтому на их примере предлагается отработать принципы размещения пунктов наблюдений, разработать программу наблюдений с учетом особенностей антропогенного воздействия в пределах каждого региона, решить вопросы сбора и передачи получаемой информации.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме АААА-А19-119091990011-1 «Закономерности распределения озер по территории Евразии и оценка их водных ресурсов» и АААА-А20-120112690064-2 «Разработка методов оценки и прогнозирования состояния водных объектов по

количественным характеристикам, подготовка новых видов гидрологической информационной продукции».

Competing interests. The authors have no competing interests.

Funding. The work was carried out within the framework of the state task on the topic АААА-А19-119091990011-1 “Patterns of the lakes distribution across the territory of Eurasia and assessment of their water resources” and АААА-А20-120112690064-2 “Development of methods for assessing and predicting the state of water bodies by quantitative characteristics, preparation of new types of hydrological information products”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020. № 645. 35 с.
2. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2016 год. М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. 164 с.
3. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Крюков Л.Н. Состояние водных ресурсов озер Арктической зоны Российской Федерации // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 1. С. 84–100. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100.
4. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Макаров А.С. Состояние озерного фонда Арктической зоны Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 2. С. 13–24. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100.
5. Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов». С изменениями и дополнениями от: 22 апреля, 17 октября 2009 г., 13 июля, 14 ноября 2011 г., 5 июня 2013 г., 18 апреля 2014 г. URL: <http://base.garant.ru/2162365/> (дата обращения 05.05.2020).
6. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России. СПб.: Лема, 2015. 392 с.
7. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера азиатской части России. СПб.: Лема, 2017. 480 с.
8. Гидробиологическое изучение и рыбохозяйственное освоение озер Крайнего Севера СССР. М.: Наука, 1966. 168 с.
9. Голдина Л.П. География озер Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 101 с.
10. Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера: (На примере озер Большеземельской тундры) / Отв. ред. В.Г. Драбкова, И.С. Трифонова. СПб.: Наука, 1994. 259 с.
11. Продуктивность озер Восточной части Большеземельской тундры / Отв. ред. Г.Г. Винберг, Т.А. Власова. Л.: Наука, 1976. 146 с.
12. Кеммерих А.О. Гидрография Северного, Приполярного и Полярного Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 139 с.
13. Биоразнообразие экосистем Полярного Урала. Сыктывкар: ОАО «Коми республиканская типография», 2007. 251 с.
14. Агбалян Е.В., Хорошавин В.Ю., Шинкаур Е.В. Оценка устойчивости озерных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа к кислотным выпадениям // Вестник Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 1 (1). С. 45–54.
15. Брыскина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. База данных по термокарстовым озерам Западной Сибири на основе космических снимков и возможности ее использования // Соврем. пробл. дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 175–180.

16. Днепровская В.П., Полищук Ю.М. Геоинформационный анализ геокриологических изменений в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков // Геоинформатика. 2008. № 2. С. 9–14.
17. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестн. Том. ун-та. 2008. № 311. С. 185–189.
18. Якубсон К.И., Корниенко С.Г., Разумов С.О. и др. Геоиндикаторы изменения окружающей среды в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений и методы их оценки // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика: Электр. научный журнал. 2012. Вып. 2. № 6. URL: <http://www.oilgasjournal.ru> (дата обращения 15.12.2019).
19. Базова М.М., Кошевой Д.В. Оценка современного состояния качества вод Норильского промышленного района // Арктика: экология и экономика. 2017. № 3 (27). С. 49–60. doi: 10.25283/2223-4594-2017-3-49-60.
20. Гурский Ю.Н. Анализ экологических проблем Российского Севера на примере комплексного геолого-геохимического изучения Норило-Пясинской водной системы // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н. до наших дней: Мат-лы Всерос. форума с межд. участ. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. С. 479–482.

REFERENCES

1. *Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 goda*. Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035. Approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 645. 26.10.2020. № 645. 35 p. [In Russian].
2. *Resursy poverhnostnyh i podzemnyh vod, ih ispol'zovanie i kachestvo. 2016 god*. Resources of surface and ground waters, their use and quality. Annual Edition. 2016. Moscow: ООО «RPC Ofort», 2017: 164 p. [In Russian].
3. Rumyantsev V.A., Izmajlova A.V., Kryukov L.N. The state of water resources of the lakes of the Arctic zone of the Russian Federation. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64 (1): 84–100. [In Russian].
4. Rumyantsev V.A., Izmajlova A.V., Makarov A.S. State of the lake fund of the Arctic zone of the Russian Federation. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2021, 91 (2): 13–24. [In Russian].
5. *Postanovlenie Pravitel'stva RF 10.04.2007 N 219 "Ob utverzhdenii Polozheniya ob osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa vodnyh ob'ektov" s izmeneniyami i dopolneniyami ot 17.10.2009, 13.07, 14.11 2011., 5.06.2013, 18.04. 2014*. Decree of the Government of the Russian Federation of April 10, 2007 N 219. Available at: <http://base.garant.ru/2162365/> (accessed 05.05.2020). [In Russian].
6. Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmajlova A.V. *Ozera evropejskoj chasti Rossii*. Lakes of the European part of Russia. St. Petersburg: Lema, 2015: 392 p. [In Russian].
7. Rumyatscev V.A., Drabkova V.G., Izmajlova A.V. *Ozera aziatskoj chasti Rossii*. Lakes of the Asian part of Russia. St. Petersburg: Lema, 2017: 480 p. [In Russian].
8. *Gidrobiologicheskoe izuchenie i rybohozyajstvennoe osvoenie ozer Krajnego Severa SSSR*. Hydrobiological study and fishery development of lakes in the Far North of the USSR. Moscow: Nauka, 1966: 168 p. [In Russian].
9. Goldina L.P. *Geografiya ozer Bol'shezemel'skoj tundry*. Geography of lakes Bolshezemel'skaya tundra. Leningrad: Nauka, 1972: 101 p. [In Russian].
10. *Osobennosti struktury ekosistem ozer Krajnego Severa. (Na primere ozer Bol'shezemel'skoj tundry)*. Features of the structure of ecosystems of the lakes of the Far North. (On the example of the

- lakes of the Bolshezemelskaya tundra). Ed. V.G. Drabkova, I.S. Trifonova. St. Petersburg: Nauka, 1994: 259 p. [In Russian].
11. *Produktivnost' ozyor Vostochnoj chasti Bol'shezemel'skoj tundry*. Productivity of lakes in the Eastern part of the Bolshezemelskaya tundra. Ed. G.G. Vinberg, T.A. Vlasova. Leningrad: Nauka, 1976: 146 p. [In Russian].
12. *Kemmerih A.O. Hidrografiya Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala*. Hydrography of the Northern, Subpolar and Polar Urals. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961: 139 p. [In Russian].
13. *Bioraznoobrazie ekosistem Polyarnogo Urala*. Biodiversity of ecosystems of the Polar Urals. Syktyvkar: OAO « Komi republican printing house », 2007: 251 p. [In Russian].
14. *Agbalyan E.V., Horoshavin V.Yu., SHinkaur E.V.* Assessment of the resistance of lake ecosystems in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug to acid deposition. *Vestnik Tyumenskogo gos. un-ta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*. Bull. Of Tyumen University. 2015, 1 (1): 45–54. [In Russian].
15. *Bryskina N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M.* Database on thermokarst lakes in Western Siberia based on satellite images and the possibility of its use. *Sovremennye problemy dinacionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2011, 8 (3): 175–180. [In Russian].
16. *Dneprovskaya V.P., Polishchuk Yu.M.* Geoinformation analysis of geocryological changes in the permafrost zone of Western Siberia using space images. *Geoinformatika*. Geoinformatics. 2008, 2: 9–14. [In Russian].
17. *Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., Bryskina N.A.* Dynamics of areas of thermokarst lakes in continuous and discontinuous permafrost zones of Western Siberia under the conditions of global warming. *Vestnik Tomskogo universiteta*. Bulletin of Tomsk University. 2008, 311: 185–189. [In Russian].
18. *Yakubson K.I., Kornienko S.G., Razumov S.O.* Geoindicators of environmental change in areas of intensive development of oil and gas fields and methods for their assessment. *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika*. Elektronnyj nauchnyj zhurnal. Georesources. Geoenergetics. Geopolitics. Electronic journal. 2012, 2 (6): 20. Available at: <http://www.oilgasjournal.ru> (accessed 15.12.2019). [In Russian].
19. *Bazova M.M., Koshevoj D.V.* Assessment of the current state of water quality in the Norilsk industrial region. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. Arctica: ecology and economics. 2017, 3 (27): 49–60. [In Russian].
20. *Gurskij Yu.N.* Analysis of the environmental problems of the Russian North on the example of a comprehensive geological and geochemical study of the Norilo-Pyasinsky water system. *Razvitie mineral'no-syr'evoj bazy Sibiri: ot Obrucheva V.A., Usova M.A., Urvanceva N.N. do nashih dnei: materialy Vseros. forum s mezhd. uchastiem*. All Russian conference “Development of the mineral resource base of Siberia from Obruchev V. to the present day”. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2013: 479–482. [In Russian].