

УДК 91:502.7(571.56)
DOI 10.17513/use.38348

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

Николаева Н.А.

*ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru*

Цель работы – формирование показателей оценки экологического воздействия объектов энергоснабжения арктических территорий Якутии на природную среду. Применение методики геоэкологического подхода позволило провести группирование показателей оценки взаимодействия объектов энергоснабжения и природной среды: воздействия объектов энергетики на компоненты природы; изменений в них и степени устойчивости ландшафтов бассейнов арктических рек. Анализ информации по показателям загрязнений атмосферы и водных ресурсов показал, что степень их трансформации зависит от степени количественного и качественного воздействия объектов энергетики и от степени устойчивости природных комплексов. Показано, что экологическое воздействие энергисточников в целом незначительно – выбросы и сбросы загрязняющих веществ в атмосферу и водную среду не превышают нормируемых показателей. Определено, что уровень изменения основных компонентов ландшафтов водной и воздушной сред зависит как от степени воздействия, мощности и интенсивности выбросов и сбросов, так и от природной устойчивости самих ландшафтов. Показателем природных условий территории изучения является устойчивость ландшафтов, оценка которых была определена по их мерзлотным и биогидроклиматическим показателям. Выявлены крайне низкая и низкая степени устойчивости северных ландшафтов к техногенным воздействиям. Составленная в результате исследования экологическая карта ландшафтов арктической зоны Якутии дает возможность выбора направлений рационального природопользования и охраны изучаемого региона.

Ключевые слова: Арктика, энергетика, ландшафты, воздействие, изменения, показатели, устойчивость

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWRS-2024-0031 «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных энергетических систем в труднодоступных изолированных территориях Севера и Арктики».

FORMATION OF INDICATORS FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE ENERGY SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA ON THE NATURAL ENVIRONMENT

Nikolaeva N.A.

*V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru*

The aim of the work is to form indicators for assessing the environmental impact of energy supply facilities in the Arctic territories of Yakutia on the natural environment. The application of the geoecological approach methodology made it possible to group indicators for assessing the interaction of energy supply facilities and the natural environment: the impact of energy facilities on natural components; changes in them and the degree of stability of landscapes in the Arctic river basins. An analysis of information on indicators of atmospheric and water pollution showed that the degree of their transformation depends on the degree of quantitative and qualitative impact of energy facilities and on the degree of stability of natural complexes. To collect indicators of changes in natural components, an analysis of data on changes in the air and water environments was carried out in comparison with indicators of their standard states. It has been shown that the environmental impact of energy sources is generally insignificant – emissions and discharges of pollutants into the atmosphere and aquatic environment do not exceed standard indicators. It has been determined that the level of change in the main components of landscapes of water and air environments depends both on the degree of impact, power and intensity of emissions and discharges, and on the natural stability of the landscapes themselves. The indicator of natural conditions of the study area is the stability of landscapes, the assessment of which was determined by their permafrost and biogidroclimatic indicators. Extremely low and low degrees of stability of northern landscapes to man-made impacts were revealed. The ecological map of landscapes of the Arctic zone of Yakutia compiled as a result of the study makes it possible to choose the directions of rational nature management and protection of the studied region.

Keywords: Arctic, energy, landscapes, impact, consequences, indicators, stability

The work was carried out within the framework of the state assignment project FWRS-2024-0031 “Comprehensive studies of priorities for the development of energy in the Republic of Sakha (Yakutia), taking into account the impact on the environment and the development of methods and techniques for increasing the energy efficiency and reliability of local energy systems in hard-to-reach isolated areas of the North and the Arctic”.

Введение

В современных социально-экономических условиях одним из ключевых стратегических направлений развития Азиатского Севера РФ является разработка потенциала экспортноориентированных минерально-сырьевых ресурсов Арктической зоны Республики Саха (Якутия), которая происходит в труднодоступных районах с суровым климатом и является экологически рискованным видом природопользования.

На территории Арктической зоны расположены месторождения многих полезных ископаемых: золота, серебра, редкоземельных металлов, россыпей алмазов на реках Анабар, Оленек, Молодо [1], а также обширных запасов многих других полезных ископаемых. Для освоения месторождений предполагается усовершенствование существующей энергоснабжающей инфраструктуры, диверсификация схем электроснабжения и формирование альтернативных источников энергии.

Важнейшим аспектом освоения минерально-сырьевых ресурсов региона и их энергоснабжения является экологическая безопасность, что связано со значительным воздействием на окружающую среду на слабоустойчивые северные ландшафты и требует проведения анализа и научной оценки современного состояния природной среды и экологических последствий. Необходимость минимизации негативных последствий обуславливает необходимость поиска различных направлений методических подходов и их совершенствование. Это диктует необходимость разработки набора показателей, включение которых в комплексную оценку схем энергоснабжения позволит принять обоснованное рациональное решение перспективного развития конкретных объектов.

Для решения этих задач предлагается применение геоэкологических методов исследования, а именно комплексного геоэкологического подхода, располагающего ландшафтной методикой, позволяющей установить механизм взаимосвязи между компонентами геосистемы [2, с. 33], произвести геоэкологическую оценку территорий с антропогенной нагрузкой [3], а также применить принципы концепции геотехнических систем, обеспечивающие изучение взаимодействия объектов энергетики с природной средой [4].

В связи со значительным количеством различных проявлений взаимодействия технических сооружений с природной средой возникает необходимость группирования

набора показателей оценки экологического воздействия на природную среду энергосистемы арктических территорий Якутии.

Разработка набора показателей и включение их в комплексную оценку схем энергоснабжения позволит принять обоснованное и рациональное решение перспективного развития конкретных объектов.

Характеристика энергосистемы арктической зоны Республики Саха (Якутия)

Арктическая зона Республики Саха (Якутия) охватывает 13 районов (улусов) республики: Абыйский, Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский, Момский, Нижнеколымский, Оленёкский, Среднеколымский, Усть-Янский, Эвено-Быгантайский.

Эти районы, входящие в состав Северного энергорайона Якутии, наряду с другими северными районами относятся к децентрализованной зоне энергоснабжения. Основным источником энергоснабжения здесь являются изолированные локальные дизельные электростанции. Суммарная установленная электрическая мощность электростанций Арктической зоны составила на 01.01.2020 более 167,2 МВт [5]. Объекты энергоснабжения состоят из 166 электростанций, из которых 135 дизельных, 3 газопоршневых, 4 газотурбинных. В п. Депутатском функционирует единственная мини-ТЭЦ на угле мощностью 7,5 МВт. Кроме того, функционируют 23 возобновляемых энергоисточника суммарной мощностью 2602 кВт, из которых 21 составляют солнечные электростанции (СЭС) суммарной мощностью 1662 кВт и 2 ветроэлектростанции (ВЭС) суммарной мощностью 940 кВт [6]. В 2021 г. запланировано строительство возобновляемых источников энергии 6 солнечных электростанций суммарной мощностью 3343 кВт и две СЭС суммарной мощностью 125 кВт с накопителями энергии [5].

Целью исследования является формирование показателей оценки экологического воздействия объектов энергоснабжения арктических территорий Якутии на природную среду.

Материалы и методы исследования

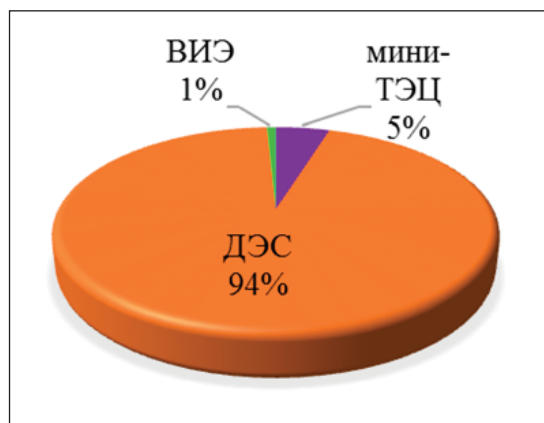
Путем применения геоэкологического подхода было проведено группирование показателей, раскрывающих процессы трансформации природной среды под влиянием техногенной деятельности для оценки экологического воздействия энергосистемы

бассейнов р. Яна, Индигирка, Колыма и для обоснования направлений снижения негативного воздействия при разработке и освоении минерально-сырьевых ресурсов.

Использованы методы ландшафтного анализа, комплексного географического подхода, концепции геотехнических систем, сравнительный, статистический, картографический, оценочный методы. Также применены данные наблюдений ФБГУ ЯУГМС (Федерального бюджетного государственного управления Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Результаты исследования и их обсуждение

Были сгруппированы показатели воздействия на природную среду существующих стационарных источников энергии, представленных в основном ДЭС, ТЭЦ, угольным разрезом в п. Депутатский: объемы и состав выбросов в атмосферу загрязняющих веществ; показатели химического загрязнения поверхностных вод от различных источников, объемы и состав поступающих в природу загрязняющих веществ от развешивания отходов, отвалов, шламохранилища. При этом наибольшее воздействие на природную среду приходится на дизельные электростанции [7], а другие источники энергии, включая ТЭЦ, угольный разрез, а также альтернативные (СЭС и ВЭУ), оказывают незначительное воздействие на экологическое состояние природной среды (рисунок).



Структура установленной электрической мощности электростанций в арктической зоне

Показателями воздействия на воздух являются выбросы загрязняющих веществ в Нижне-Колымском, Момском, Абыйском, Верхоянском, Аллаиховском, Среднеколымском, Верхнеколымском, Усть-Янском улусах от функционирования 215 дизельных энергетических установок, которые оказывают локальное воздействие на окружающую среду. Поскольку на изучаемой территории систематический контроль за загрязнением атмосферного воздуха не ведется, то объемы максимальных и валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от ДЭУ были подсчитаны в соответствии с требованиями методики [8]. В табл. 1 приведены суммарные сведения о выбросах загрязняющих веществ по районам.

Таблица 1

Суммарные выбросы загрязняющих веществ от дизельных установок по арктическим районам за 2000–2005 и 2014–2018 гг.

| Выбросы | Нижнеколымский | Аллаиховский | Момский | Среднеколымский | Абыйский | Верхнеколымский | Верхоянский | Усть-Янский |
|----------------|----------------|--------------|---------|-----------------|----------|-----------------|-------------|-------------|
| Оксид углерода | 5,48 | 18,79 | 12,32 | 19,18 | 1,15 | 20,95 | 16,4 | 29,14 |
| Оксид азота | 8,49 | 57,38 | 19,19 | 30,06 | 1,77 | 32,76 | 25,97 | 45,64 |
| Углеводороды | 2,57 | 8,62 | 3,99 | 7,06 | 0,54 | 9,68 | 7,46 | 14,00 |
| Сажа | 0,45 | 1,35 | 0,91 | 1,39 | 0,09 | 1,55 | 1,10 | 10,38 |
| Диоксид серы | 1,06 | 4,94 | 2,78 | 4,52 | 0,22 | 4,73 | 4,28 | 6,77 |
| Формальдегид | 0,13 | 0,35 | 0,33 | 0,50 | 0,02 | 0,4 | 0,30 | 0,57 |
| Бензапирен | 1,06 | 3,78 | 2,44 | 3,87 | 0,22 | 4,12 | 3,40 | 6,18 |

Таблица 2

Оценка степени загрязнения воды рек Яна, Индигирка и Колыма

| Годы | Оценка качественного состояния вод бассейнов исследуемых рек Арктики | | | | | | | | |
|------|--|--------|---------------------|--------------|--------|---------------------|-----------|--------|---------------------|
| | Р. Яна | | | Р. Индигирка | | | Р. Колыма | | |
| | Класс | Разряд | Степень загрязнения | Класс | Разряд | Степень загрязнения | Класс | Разряд | Степень Загрязнения |
| 2009 | 4 | а | грязная | 4 | а | грязная | 3 | а | загрязненная |
| 2010 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2011 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2012 | 3 | б | очень загрязненная | 3 | б | очень загрязненная | 2 | – | слабо загрязненная |
| 2013 | 4 | а | грязная | 4 | а | грязная | 3 | а | загрязненная |
| 2015 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2016 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2017 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | б | очень загрязненная |
| 2018 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | б | очень загрязненная |
| 2019 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | б | очень загрязненная |
| 2020 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2021 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2022 | 4 | а | грязная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |
| 2023 | 3 | б | очень загрязненная | 3 | б | очень загрязненная | 3 | а | загрязненная |

В целом можно заключить, что с каждым годом постепенно происходит небольшое увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в связи с увеличением расхода дизельного топлива.

Гидрохимическое состояние воды исследуемых рек дано на основе статистической обработки данных гидрохимической сети наблюдений ФБГУ ЯУГМС [9] и оценено на основе значений УКИЗВ (удельного комбинаторного индекса загрязненности воды), что позволяет подразделить качество поверхностных вод на 5 основных классов и 6 разрядов в зависимости от степени их загрязненности [9]. Характерными загрязняющими веществами бассейнов северных рек являлись органические вещества по ХПК (химическому потреблению кислорода) и БПК₅ (биохимическому потреблению кислорода в течение 5 суток), соединения меди, железа, цинка, марганца, фенолы, нефтепродукты, ртути [9]. Собранные данные были сопоставлены с предельно до-

пустимыми концентрациями нормируемых веществ, что отражает отклонения от этих нормативов. Степень измененности природы определена на основе сравнения ее с базовым или фоновым состоянием. Общая характеристика загрязненности рек приведена из [9] и отражена в табл. 2.

Оценка природных условий территории Якутии для целей развития энергетики должна базироваться на понятиях об устойчивости ландшафтных комплексов в условиях техногенного воздействия, определяемой характером техногенных воздействий и свойствами ландшафтов. Так, устойчивость ландшафтов бассейнов изучаемых рек оценена по их мерзлотным и биогидроклиматическим показателям с использованием балльного метода.

Основой методики оценки степени устойчивости ландшафтных комплексов явился расчет устойчивости северных ландшафтов [10] с применением карты Республики Саха (Якутия) [11]. В результате

оценки определено, что степень устойчивости северных ландшафтов закономерно согласуется с их широтно-зональным и высотно-поясным распространением. Выявлено, что преобладающая часть ландшафтов арктической территории Якутии является неустойчивой. Так, оценка ландшафтов бассейна р. Яны показала, что тундровая ландшафтная провинция с низкотеррасовым ландшафтом поймы в устье, относящаяся к субарктическим и арктическим тундрам, определена как природный комплекс крайней степени неустойчивости. Горнотундровая, а также моренная провинции с преобладанием горноредколесных ландшафтов и заболоченные редколесья речных долин отнесены к неустойчивым. Среднегорная провинция с горнотундровыми и горноредколесными ландшафтами, представленная горными арктическими пустынями и горными тундрами лишайниковыми и зарослями кедрового стланика, определена как относительно неустойчивая [12].

В бассейне р. Индигирки крайне неустойчивой к внешним воздействиям явилась озерно-термокарстовая ландшафтная провинция с арктическими тундрами. К неустойчивым отнесены также горнотундровая и горноредколесная озерно-термокарстовая и низкогорная провинции. Среднегорная горнотундровая и горноредколесная северотаежная ландшафтные провинции определены как слабоустойчивые [13].

Устойчивость ландшафтов бассейна р. Колымы оценена таким образом, что наиболее неустойчивыми по сумме баллов явились провинции, относящиеся к субарктическим и арктическим тундрам, горным тундрам и лесотундрам: озерно-термокарстовые, тундровая низкогорные. Горноредколесные и подгольцово-редколесные плоскогорная, низкогорная и среднегорная провинции являются слабоустойчивыми, а занимающая наиболее южную часть бассейна р. Колымы северотаежная низкогорная провинция имеет среднюю степень устойчивости к антропогенным [14].

Заключение

Разработаны показатели, характеризующие экологические последствия, необходимые для комплексной оценки воздействия объектов энергоснабжения на природную среду при освоении минерально-сырьевых ресурсов в арктическом секторе Республики Саха (Якутия). Использование геоэкологического подхода позволило дать количественные оценки эмиссии загрязняющих

веществ в основные элементы природной среды – в атмосферу и водные объекты и произвести экологическую оценку изменения состояния природной среды в результате функционирования объектов энергетики для условий Арктики.

Определено, что степень изменения водной и воздушной сред зависит от степени техногенного воздействия и устойчивости ландшафтов. Степень устойчивости ландшафтов обусловлена соотношением криогенных и биогидроклиматических условий, являющихся основными факторами ландшафтообразования в каждом природном комплексе.

Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от дизельных электростанций не превышают предельных концентраций, но с каждым годом отмечается небольшое увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в связи с увеличением расхода дизельного топлива. Сбросы сточных вод объектов энергоснабжения в бассейны изучаемых рек не являются существенным фактором техногенного влияния на качество воды, хотя вносят определенный вклад в загрязнение вод. К основным загрязнителям относятся производственные сбросы горнодобывающих предприятий и хозяйственно-бытовые стоки населенных пунктов. Характерными загрязняющими веществами бассейна являются органические вещества по ХПК и БПК₅, соединения меди, железа, цинка, марганца, фенолы, нефтепродукты, ртути.

Одним из основных факторов риска при освоении минерально-сырьевых ресурсов Арктики является низкая степень устойчивости ландшафтов. Оценка степени устойчивости ландшафтов бассейнов р. Яны, Индигирки и Колымы позволила определить, что в целом все ландшафтные провинции неустойчивы. Крайней степенью неустойчивости обладают арктические и субарктические тундры и горные тундры. Таким образом, основным фактором риска является низкая устойчивость северных ландшафтов, что определяет дальнейшее изучение влияния энергетических объектов на состояние природных ландшафтов Арктики.

Результаты могут быть востребованы при разработке комплексной оценки схем энергоснабжения арктических территорий РФ, выдаче рекомендаций республиканским органам власти, горнодобывающим предприятиям и энергетическим компаниям при планировании развития территории и регламентации хозяйственной деятельности.

Список литературы

1. Роднина Н.В. Арктическое оленеводство Якутии в условиях промышленного освоения территории: конфликт интересов или перспективы для сотрудничества // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12, № 1. С. 140–151.
2. Сочава В.Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Избранные труды. Новосибирск: Наука, 1986. 344 с.
3. Платонова С.Г., Стрельникова Т.О., Скрипко В.В., Адам А.А., Цимбалай Ю.М. Геоэкологическая оценка районов угледобычи на примере Новокузнецкого района Кемеровской области // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 156–167.
4. Исаев С.В. Концепция геотехнических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 105–113. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-3-105-113.
5. Иванов А.В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 13. С. 62–80. DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
6. Шакиров В.А., Тугузова Т.Ф., Муzychук Р.И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. 2020. № 4 (40) С. 106–114. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116.
7. Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Тугузова Т.Ф., Шакиров В.А., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Факторы, влияющие на эффективность использования ветропотенциала в локальной энергетике Якутии // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017. № 1. С. 84–92.
8. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок. СПб., 2001. 14 с.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Саха (Якутия) за 2005–2023 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/doki/doklady-o-sostojanii-okruzhajuschej-sredy> (дата обращения: 12.10.2024).
10. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
11. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
12. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Яны // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 79–84. DOI: 10.17513/use.37201.
13. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна реки Индигирка к антропогенному воздействию // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 59–64. DOI: 10.17513/use.37686.
14. Nikolaeva N.A. Landscape approach towards developing nature-preserving measures in the pool of the river Kolyma of Sakha Republic (Yakutiya) // European Journal of Natural History. 2013. № 2. P. 70–71.