

ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.92> EDN: ZQDAHW

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МОНЧЕГОРСКОГО РАЙОНА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Светлова М.В.^{1,*}, Ангелова Е.Ю.²¹ORCID : 0000-0002-1358-1081;²ORCID : 0000-0001-9310-1414;^{1,2} Мурманский арктический университет, Мурманск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (svetlova.mv[at]mauniver.ru)

Предложена: 04.05.2026; Принята: 26.06.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

Проведена сравнительная функциональная оценка экологического состояния территории в зоне влияния Кольской горно-металлургической компании за 2023 и 2025 гг. Рассчитан интегральный индекс функциональности территории на основе шести биоиндикационных показателей, выделены уровни экологического состояния и функциональности территории для исследуемого района. Наблюдается улучшение экологического состояния и функциональности территории по мере удаления от источника воздействия. Выделено 2 уровня экологического состояния и функциональности территории для исследуемого района: районы до 11 км от источника имеют критическое состояние, на удалении от 11 км — стабильное экологическое состояние. Для каждого участка дана функциональная характеристика, предложены рекомендации по улучшению экологической ситуации.

Ключевые слова: биологический мониторинг, биоиндикационные показатели, индекс функциональности территории, функциональная оценка территории, экологическое состояние территории.

ENVIRONMENTAL FUNCTIONAL ASSESSMENT IN THE MONCHEGORSK MINING COMPLEX IMPACT ZONE, MURMANSK REGION

Research article

Svetlova M.V.^{1,*}, Angelova E.Y.²¹ORCID : 0000-0002-1358-1081;²ORCID : 0000-0001-9310-1414;^{1,2} Murmansk Arctic University, Murmansk, Russian Federation

* Corresponding author (svetlova.mv[at]mauniver.ru)

Suggested: 04.05.2026; Accepted: 26.06.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

A comparative functional assessment of the ecological state of the territory within the zone of influence of the Kola Mining and Metallurgical Company was conducted for the years 2023 and 2025. An integral index of territorial functionality was calculated based on six bioindication indicators, and the levels of ecological state and functionality for the study area were determined. The ecological state and functionality of the territory improve as the distance from the source of impact increases. Two levels of ecological condition and territorial functionality were identified in the study area: areas within 11 km of the source are classified as having a critical condition, while areas beyond 11 km exhibit a stable ecological state. Each area is characterized by specific functional parameters, and recommendations for improving the local ecological situation are provided.

Keywords: biological monitoring, bioindication indicators, territory functionality index, territory functional assessment, and territory ecological state.

Введение

Вследствие усиливающегося техногенного давления, связанного с развитием горнопромышленного комплекса Мурманской области, наблюдается прогрессирующая дигрессия почвенного покрова и древесной растительности, в окружающей среде обнаруживаются повышенные концентрации тяжелых металлов, диоксида серы и других поллютантов [3], [5], [9]. В связи с этим в Мончегорском районе Мурманской области с 1970-х гг. проводятся биоиндикационные исследования состояния хвойных растений, произрастающих в зоне воздействия Кольской горно-металлургической компании (КГМК) [6], [8], [10]. Как показывают исследования, данные по разным биоиндикационным признакам сильно варьируют на разных участках и определяются многими факторами: различиями в орографических и эдафических параметрах (рельеф, тип почв, pH и др.), частой сменой направлений аэротехногенного переноса загрязняющих веществ и др. [2], [4]. Возникает необходимость комплексной функциональной оценки экологического состояния территории на основании интеграции разных биоиндикационных показателей.

Цель исследования: сравнить экологическое состояние и функциональность территории в зоне воздействия Кольской горно-металлургической компании в 2023 и 2025 гг. (Мончегорский район, Мурманская область) с

использованием авторского подхода, основанного на интеграции разных биоиндикационных показателей для ели сибирской.

Новизна исследования: впервые для оценки экологического состояния территории в зоне воздействия Кольской горно-металлургической компании предложен и применён интегральный индекс, объединяющий несколько (в том числе независимых) показателей состояния хвойных растений. Предлагаемый подход позволяет дать более объективную и комплексную характеристику среды по сравнению с традиционными методами, основанными на 1–2 показателях состояния биоиндикаторных видов растений.

Теоретическая значимость: исследование расширяет теоретические основы биоиндикации, демонстрирует преимущество использования интегральных индексов для анализа экологического состояния территорий с позиций их функциональности. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего развития методик комплексной оценки антропогенного воздействия на природные экосистемы, а также для совершенствования подходов к мониторингу и диагностике состояния окружающей среды.

Практическая значимость: предлагаемый авторами интегральный подход оценки может быть внедрён в систему экологического мониторинга промышленных регионов, что позволит повысить точность и оперативность выявления зон с неблагоприятной экологической обстановкой. Это будет способствовать принятию обоснованных управленческих решений по снижению негативного воздействия на природную среду в промышленно-развитых районах.

Методы и принципы исследования

Проанализированы биоиндикационные показатели для хвой ели сибирской за 2023 и 2025 гг. Для расчета биоиндикационных показателей отбиралась хвоя ели на 5 экспериментальных участках в северо-восточном направлении (ЭУ-1: 67.972651 с.ш., 32.880231 в.д., 7 км от КГМК; ЭУ-2: 67.992235 с.ш., 32.908234 в.д., 9 км от КГМК; ЭУ-3: 68.010916 с.ш., 32.935182 в.д., 11 км от КГМК; ЭУ-4: 68.025921 с.ш., 32.976436 в.д., 13 км от КГМК; ЭУ-5: 68.0555 с.ш., 33.058845 в.д., 18 км от КГМК) (рис. 1). Для эталона сравнения (ЭС) был выделен контрольный участок в районе Пушное-Лопарская (68.5546 с.ш., 33.0434 в.д.). На каждом участке выбрано по 4 дерева, отобрано 200 хвоинок с центральной части побегов 5-6 летнего возраста (по 50 хвоинок с каждого дерева). Всего обследовано 24 дерева. Отбор проб проводился на высоте 1,3-1,5 м с одновозрастных деревьев [7]. Для исследования выбраны 6 первичных биоиндикационных показателей, оценка которых проводилась по общепринятым методикам биологического мониторинга [1]:

- (1) КС — класс состояния среды (от 1 до 3, где класс 1 — наилучшее состояние);
- (2) ПП — процент повреждения хвои (от 0 до 100%, где 0% — наилучшее состояние);
- (3) КП — класс повреждения (от 1 до 3, где класс 1 — наименьшее повреждение);
- (4) КУ — класс усыхания (от 1 до 4, где класс 1 — наименьшее усыхание);
- (5) ЖС — жизненное состояние деревьев (от 1 до 6, где балл 1 — наилучшее состояние).
- (6) В качестве шестого показателя введен КФ — коэффициент снижения фотосинтеза (от 0 до 1, где 1 — наилучшее значение), соотношение общей поверхности хвои (в мм²) на каждом экспериментальном участке (ЭУ) к значению общей поверхности хвои (в мм²) на эталонном участке — эталоне сравнения (ЭС).

Для каждого экспериментального участка и эталона сравнения рассчитаны значения первичных биоиндикационных показателей (для 1200 хвоинок). Оценка их достоверности проведена с использованием однофакторного дисперсионного анализа ($p \leq 0,01$).



Рисунок 1 - Точки отбора проб
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.92.1>

Для сравнительной функциональной оценки экологического состояния территории использовалась авторская методика, предусматривающая расчет интегрального индекса функциональности территории, который представляет собой мультипликативную свертку, в которой множителями выступают нормированные значения КС, ПП, КП, КУ, ЖС, КФ, а степенными показателями — их нормированные веса. Так как биоиндикационные показатели имеют разную размерность (классы, баллы, проценты) и диапазон значений, они были нормализованы (приведены к единой шкале) по принципу линейного масштабирования. С учетом изменений в первичных показателях для участков ЭУ1 и ЭУ5, рассчитаны нормированные веса для шести биоиндикационных показателей. Затем рассчитан интегральный индекс функциональности территории. Значения нормированных показателей перемножались с учетом их нормированного веса и количества показателей. Это связано с тем, что биоиндикационные показатели, как и все природные процессы, в значительной степени нелинейны. Перемножение составляющих при расчете индекса позволило проследить их взаимосвязь и взаимозависимость.

Для интерпретации интегрального индекса использована авторская шкала из 5 уровней экологического состояния и функциональности территории: уровень 1 — критическое состояние (ИИ = 0–0,29), уровень 2 — сильное угнетение, деградация среды (ИИ = 0,3–0,49), уровень 3 — умеренное напряженное состояние (ИИ = 0,5–0,69), уровень 4 — хорошее стабильное состояние (ИИ = 0,7–0,89), уровень 5 — оптимальное эталонное состояние (ИИ = 0,9–1). Количественное числовое значение интегрального индекса, полученное при расчете, определяет отнесение к той или иной зоне, т.е. если значение попадает в границы интервалов, соотнесенных с уровнями экологического состояния и функциональности территории, то это является основанием для отнесения к данной зоне.

Градации зон с разным шагом обусловлена нелинейной зависимостью, т.к. равномерное деление диапазона не отражает реальную картину, а шаги разной величины позволяют более точно учитывать области, в которых изменения индекса имеет критическое значение или где чувствительность экосистемы к изменениям резко возрастает. Для интерпретации результатов исследования предлагается деление шкалы на 5 зон, т.к. меньшее количество зон, например, 2 или 3 зоны, приводит к потере информативности, утрате важной информации о характере явления. При этом даже небольшие изменения индекса могут иметь существенные последствия, деление на меньшее количество зон не позволяет отразить эту чувствительность.

Основные результаты

В таблице 1 представлены первичные показатели, полученные по результатам полевых исследований, камеральной и математической обработки собранных материалов. Для них была проведена нормализация и рассчитан интегральный индекс (см. табл. 2), позволяющий провести функциональную оценку исследуемой территории.

Таблица 1 - Средние значения первичных показателей по хвое ели для функциональной оценки состояния территории в 2023 и 2025 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.92.2>

Показатель		ЭУ1	ЭУ2	ЭУ3	ЭУ4	ЭУ5	ЭС
(1) КС	2023	3	3	2	2	2	1
	2025	3	3	2	2	2	1
(2) ПП	2023	30,213	36,740	14,601	10,288	10,981	0
	2025	37,742	24,213	19,207	18,064	11,143	0
(3) КП	2023	1,921	2,381	2,033	1,712	1,760	1,0
	2025	2,132	1,743	1,836	1,682	1,604	1,0
(4) КУ	2023	1,282	2,031	1,337	1,181	1,187	1,0
	2025	1,914	1,634	1,572	1,427	1,191	1,0
(5) ЖС	2023	3,281	2,954	2,843	2,709	2,040	1,032
	2025	3,124	2,991	2,874	2,759	2,172	1,111
(6) КФ	2023	0,749	0,737	0,807	1,030	0,860	1,000
	2025	0,608	0,649	0,667	0,809	0,951	1,000

Примечание: ЭУ – экспериментальный участок; ЭС – эталон сравнения; КС – класс состояния среды; ПП – процент повреждения хвои; КП – класс повреждения; КУ – класс усыхания; ЖС – жизненное состояние деревьев; КФ – коэффициент снижения фотосинтеза

Таблица 2 - Нормализованные значения (н) и веса (НВ) биоиндикационных показателей и расчет интегрального индекса (ИИ)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.92.3>

Показатель		ЭУ1	ЭУ2	ЭУ3	ЭУ4	ЭУ5	ЭС	НВ
(1) КС(н)	2023	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,046
	2025	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,033
(2) ПП(н)	2023	0,698	0,633	0,854	0,897	0,890	1	0,881
	2025	0,623	0,758	0,808	0,819	0,889	1	0,882
(3) КП(н)	2023	0,540	0,310	0,484	0,644	0,620	1	0,007
	2025	0,434	0,629	0,582	0,659	0,698	1	0,018
(4) КУ(н)	2023	0,906	0,656	0,888	0,940	0,938	1	0,004
	2025	0,695	0,789	0,809	0,858	0,936	1	0,024
(5) ЖС(н)	2023	0,544	0,609	0,631	0,658	0,792	0,994	0,057
	2025	0,575	0,602	0,625	0,648	0,766	0,978	0,032
(6) КФ(н)	2023	0,749	0,737	0,807	1,03	0,86	1	0,005
	2025	0,608	0,649	0,667	0,809	0,951	1	0,011
ИИ	2023	0	0	0,816	0,857	0,859	0,999(7)	-
	2025	0	0	0,783	0,798	0,866	0,999	-

Примечание: ЭУ – экспериментальный участок; ЭС – эталон сравнения; КС – класс состояния среды; ПП – процент повреждения хвои; КП – класс повреждения; КУ – класс усыхания; ЖС – жизненное состояние деревьев; КФ – коэффициент снижения фотосинтеза

Проведенная нормализация и анализ весов биоиндикационных показателей показали, что максимальный вес (0,882) у показателя (2) ПП (процент повреждения хвои), что закономерно, так как данный показатель наиболее чувствителен к загрязнению. Он значительно изменяется между экспериментальными участками на 42,7% (от 0,623 до 0,889), что отражает сильное влияние источника загрязнения. Заметный вес также имеет показатель (1) КС, который по методике расчета связан с показателем (2) и напрямую зависит от него. Минимальный вес (0,005) имеет показатель (6) КФ (коэффициент фотосинтеза). Остальные показатели занимают промежуточные позиции, отражая умеренную чувствительность к загрязнению.

Полученные значения интегрального индекса для каждого экспериментального участка относительно эталонного участка позволяют провести зонирование, выделить зоны с разным уровнем функциональности.

Обсуждение

По результатам интерпретации интегрального индекса выделены уровни экологического состояния и функциональности территории для исследуемого района:

ЭУ1 (7 км от источника), ИИ = 0, уровень 1.

ЭУ2 (9 км от источника), ИИ = 0, уровень 1.

ЭУ3 (11 км от источника), ИИ₂₀₂₃ = 0,816, ИИ₂₀₂₅ = 0,783, уровень 2.

ЭУ4 (13 км от источника), ИИ₂₀₂₃ = 0,857, ИИ₂₀₂₅ = 0,798, уровень 2.

ЭУ5 (18 км от источника), ИИ₂₀₂₃ = 0,859, ИИ₂₀₂₅ = 0,866, уровень 2.

Уровень 1 «Критическое состояние» (ИИ от 0 до 0,29): необратимые нарушения экосистемных функций, потеря биоразнообразия и продуктивности, разрушение связности экологического каркаса, отсутствие способности к самовосстановлению. Рекомендованы экстренные меры по локализации загрязнения, снижение техногенной нагрузки, программа рекультивации территории, ежемесячный мониторинг критических показателей.

Уровень 2 «Стабильное (хорошее) состояние» (ИИ от 0,7 до 0,89): стабильная работа экологического каркаса, высокая биопродуктивность и биоразнообразие, хорошая связность элементов, устойчивость к умеренным внешним воздействиям, незначительные локальные нарушения. Рекомендовано поддержание текущего состояния, сохранение ключевых биотопов и коридоров миграции, ограничение новых техногенных нагрузок, мониторинг с акцентом на показатели (5) ЖСТ и (6) КФ.

По результатам исследования сформулированы следующие выводы:

1. Не выявлено значительных различий по основным биоиндикационным показателям для ели сибирской в 2023 и 2025 гг. Тенденция наибольшего угнетения хвойных растений сохраняется на прилегающих к КГМК участках (ЭУ1, ЭУ2). По мере удаления от источника воздействия состояние растений улучшается.

2. На основе расчета интегрального индекса определены уровни экологического состояния территории для исследуемого района: расстояние 7–9 км от КГМК — уровень 1 (критическое состояние), 11–18 км — уровень 2 (стабильное (хорошее) состояние). Значительных различий в индексе по годам не выявлено.

3. Для каждого уровня экологического состояния предложена характеристика функциональности территории и рекомендации по ее поддержанию. Наблюдается улучшение экологического состояния и функциональности территории Мончегорского района Мурманской области по мере удаления от Кольской горно-металлургической компании, начиная с 11 км от источника воздействия лесная растительность становится более здоровой.

Значительных различий в индексе по годам не выявлено, ежегодные тенденции для экспериментальных участков сохраняются. Как показало исследование, наблюдается улучшение экологического состояния и функциональности территории Мончегорского района Мурманской области по мере удаления от Кольской горно-металлургической компании, начиная с 11 км от источника воздействия лесная растительность становится более здоровой.

Заключение

Примененный механизм интеграции разных биоиндикационных показателей в единый индекс показал эффективность для комплексной функциональной оценки экологического состояния территории. Данный подход будет удобен при проведении многолетних сравнительных биологических исследований, позволит учитывать влияние разнообразных факторов (биоиндикационных признаков) на результирующие показатели оценки. Видится возможным дополнение предлагаемого индекса другими показателями, связанными с природными факторами среды (рельеф, степень увлажнения, тип почв и др.), оказывающими значительное воздействие на жизнедеятельность биологических объектов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Александрова Е.Ю. Биологический мониторинг состояния окружающей среды : учебно-методическое пособие / Е.Ю. Александрова. — Мурманск : МАГУ, 2021. — 77 с.
2. Александрова Е.Ю. Морфологические отклонения в развитии хвои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в районе воздействия АО «Кольская горно-металлургическая компания» / Е.Ю. Александрова // Наука и инновации в Арктике. — 2024. — С. 195–197.
3. Гаврилова О.И. Особенности структуры еловых фитоценозов в условиях интенсивного антропогенного воздействия / О.И. Гаврилова, А.В. Грязькин // Resources and Technology. — 2024. — Т. 21. — № 1. — С. 86–99. — DOI: 10.15393/j2.art.2024.7584.
4. Евдокимов А.С. Структура древесного яруса лесных сообществ Центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии / А.С. Евдокимов, В.Т. Ярмишко // Вестник Российского

университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2023. — Т. 31. — № 1. — С. 115–126.

5. Исаева Л.Г. Состояние сосны скрученной (*Pinus contorta*) в условиях промышленного загрязнения (Мурманская область) / Л.Г. Исаева, Н.С. Рябов // Труды Карельского научного центра. — 2026. — № 1. — С. 77–89.

6. Лянгузова И.В. Многолетняя постпирогенная динамика северотажных сосновых лесов в условиях аэротехногенной нагрузки разной интенсивности (Кольский полуостров) / И.В. Лянгузова, В.В. Горшков, В.Т. Ярмишко [и др.] // Растительность России. — 2025. — № S52. — С. 72–99.

7. Оказова З.П. Способ оценки состояния окружающей среды : пат. 2564916 РФ, МПК51 G01N 33/00 / З.П. Оказова, Н.Х. Кусова, В.А. Басиев [и др.]; заявитель и патентообладатель Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова. — № 2013141861; заявл. 2013-09-12; опубл. 2015-10-10. — 6 с.

8. Aleksandrova E.Yu. Bioindication potential of conifers for environmental assessment. Agritech-II — 2019 / E.Yu. Aleksandrova, A.A. Trotsenko, E.E. Minchenok [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 421. — № 2. — DOI: 10.1088/1755-1315/421/2/022036.

9. Denisov D. Small Lakes Ecosystems under the Impact of Non-Ferrous Metallurgy (Russia, Murmansk Region) / D. Denisov, P. Terentjev, S. Valkova [et al.] // Environments. — 2020. — Vol. 7. — № 4. — 13 p. — DOI: 10.3390/environments7040029.

10. Tropina Yu. Assessing the Impact of the Kola Mining and Metallurgical Company (Severonickel) on the Environment: master thesis / Yu. Tropina ; State University of St. Petersburg; University of Hamburg. — St. Petersburg; Hamburg, 2011. — 57 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleksandrova E.Yu. Biologicheskij monitoring sostoyaniya okruzhayushchej sredy [Biological Monitoring of the Environmental State] : educational and methodological guide / E.Yu. Aleksandrova. — Murmansk : MSU, 2021. — 77 p. [in Russian]

2. Aleksandrova E.Yu. Morfologicheskie otkloneniya v razvitii khvoi eli sibirskoj (*Picea obovata* Ledeb.) v rajone vozdejstviya AO "Kol'skaya gorno-metallurgicheskaya kompaniya" [Morphological deviations in the development of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) needles in the area affected by the Kola Mining and Metallurgical Company] / E.Yu. Aleksandrova // Nauka i innovacii v Arktike [Science and Innovations in the Arctic]. — 2024. — P. 195–197. [in Russian]

3. Gavrilova O.I. Osobennosti struktury elovyh fitocенозов v usloviyah intensivnogo antropogennogo vozdejstviya [Characteristic properties of spruce phytocenoses structure under conditions of intense anthropogenic impact] / O.I. Gavrilova, A.V. Gryazkin // Resources and Technology. — 2024. — Vol. 21. — № 1. — P. 86–99. — DOI: 10.15393/j2.art.2024.7584. [in Russian]

4. Evdokimov A.S. Struktura drevesnogo yarusа lesnyh soobshchestv Central'noj chasti Kol'skogo poluostrova, formiruemaya pri snizhenii aerotekhnogennoj emissii [The tree layer structure of forest communities of the Kola Peninsula central part formed when aerotechnogenic emissions reduced] / A.S. Evdokimov, V.T. Yarmishko // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [PFUR Bulletin of Ecology and Life Safety]. — 2023. — Vol. 31. — № 1. — P. 115–126. [in Russian]

5. Isaeva L.G. Sostoyanie sosny skрученной (*Pinus contorta*) v usloviyah promyshlennogo zagryazneniya (Murmanskaya oblast') [*Pinus contorta* under industrial air pollution (Murmansk Region)] / L.G. Isaeva, N.S. Ryabov // Trudy Karelskogo nauchnogo centra [Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. — 2026. — № 1. — P. 77–89. [in Russian]

6. Lyanguzova I.V. Mnogoletnyaya postpirogennaya dinamika severotajnyh sosnovykh лесов v usloviyah aerotekhnogennoj nagruzki raznoj intensivnosti (Kol'skij poluostrov) [Long-term post-pyrogenic dynamics of northern taiga scots pine forests under conditions of various intensity of aerotechnogenic load (Kola Peninsula)] / I.V. Lyanguzova, V.V. Gorshkov, V.T. Yarmishko [et al.] // Rastitel'nost' Rossii [Vegetation of Russia]. — 2025. — № S52. — P. 72–99. [in Russian]

7. Okazova Z.P. Sposob ocenki sostoyaniya okruzhayushchej sredy [Method of assessment of environment] : пат. 2564916 Russian Federation, IPC51 G01N 33/00 / Z.P. Okazova, N.H. Kusova, V.A. Basiev [et al.] ; the applicant and the patentee North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov. — № 2013141861; appl. 2013-09-12; publ. 2015-10-10. — 6 p. [in Russian]

8. Aleksandrova E.Yu. Bioindication potential of conifers for environmental assessment. Agritech-II — 2019 / E.Yu. Aleksandrova, A.A. Trotsenko, E.E. Minchenok [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 421. — № 2. — DOI: 10.1088/1755-1315/421/2/022036.

9. Denisov D. Small Lakes Ecosystems under the Impact of Non-Ferrous Metallurgy (Russia, Murmansk Region) / D. Denisov, P. Terentjev, S. Valkova [et al.] // Environments. — 2020. — Vol. 7. — № 4. — 13 p. — DOI: 10.3390/environments7040029.

10. Tropina Yu. Assessing the Impact of the Kola Mining and Metallurgical Company (Severonickel) on the Environment: master thesis / Yu. Tropina ; State University of St. Petersburg; University of Hamburg. — St. Petersburg; Hamburg, 2011. — 57 p.