

УДК 504.61  
DOI 10.17513/use.38265

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ И АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ВЫБРОСОВ СВИНЦА И КАДМИЯ С ТЕРРИТОРИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ)**

<sup>1</sup>Туфанова О.П., <sup>1,2</sup>Котова Е.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Архангельск, e-mail: oksana.tufan@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук,  
Москва, e-mail: ecopp@yandex.ru

Данная работа была направлена на изучение динамики изменений и атмосферного переноса выбросов кадмия и свинца, поступающих от источников, расположенных на территориях трех месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Существенным является влияние нефтегазовой промышленности на окружающую природную среду, в том числе на загрязнение атмосферы. Особенно сильно это воздействие на окружающую среду северных регионов. В статье проанализированы данные о выбросах кадмия и свинца от источников загрязнения с территорий трех северных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского. Авторами проведен пространственно-временной анализ распространения кадмия и свинца атмосферными потоками, а также оседание этих загрязняющих веществ на подстилающую поверхность. Оценка потоков примесей из атмосферы выполнялась методом анализа статистики траекторий переноса воздушных масс и атмосферных примесей. Согласно полученным данным кадмий и свинец перемещаются воздушными массами с территорий месторождений в направлении севера и северо-востока. Также была рассмотрена динамика объемов выбросов кадмия и свинца от источников с территорий рассматриваемых месторождений, которая показала увеличение выбросов с Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений, а уменьшение – с Западно-Лекейягинского месторождения. Результаты исследования могут быть использованы для разработки мероприятий по охране окружающей среды при работе объектов нефтегазодобывающей промышленности Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

**Ключевые слова:** выбросы, свинец, кадмий, трансграничный перенос, нефтегазовые месторождения

*Исследование было проведено в рамках Проекта, поддержанного Российским научным фондом (№ 22-77-10074).*

**INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF CHANGES AND ATMOSPHERIC TRANSPORT OF LEAD AND CADMIUM EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES (USING THE EXAMPLE OF DEPOSITS IN THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE)**

<sup>1</sup>Tufanova O.P., <sup>1,2</sup>Kotova E.I.

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,  
e-mail: oksana.tufan@gmail.com;

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: ecopp@yandex.ru

This work was aimed at assessment of inter-annual changes and transfer through the atmosphere of cadmium and lead emissions from sources located in the territories of three fields in the north of the Timan-Pechora oil and gas province. The impact of the oil and gas industry on the environment, including atmospheric pollution, is significant. This impact on the environment of the northern regions is especially strong. The article analyzes data on cadmium and lead emissions from pollution sources from the territories of three northern fields of the Timan-Pechora oil and gas bearing province: Yuzhno-Khylchuyuskoye, Zapadno-Lekeyaginskoye and Ardalinskoye. The authors analyzed spatial and temporal distribution of cadmium and lead by atmospheric flows, as well as the deposition of these pollutants on the underlying surface. The assessment of the fluxes of impurities from the atmosphere was performed by analyzing the statistics of air mass transport trajectories and atmospheric impurities. According to the data obtained, cadmium and lead are transported by air masses from the territories of the deposits in the direction of the north and northeast. The dynamics of cadmium and lead emissions from sources from the territories of the considered fields was also considered, which showed an increase in emissions from Yuzhno-Khylchuy and Ardalinskoye fields, and a decrease – from Zapadno-Lakeyaginskoye field. The results of the research can be applied to the elaboration of environmental protection measures during the operation of oil and gas production facilities in the Timan-Pechora oil and gas province.

**Keywords:** emissions, plumbum, cadmium, transboundary transport, oil and gas fields

*The study was conducted within the framework of a Project supported by the Russian Science Foundation (No. 22-77-10074).*

Одной из причин загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами является попадание токсичных химических элементов в окружающую среду северного региона, вызванное сжиганием попутного газа и выбросами двигателей внутреннего сгорания транспорта.

Воздействие загрязняющих веществ на природную среду северных регионов особенно сильно из-за низкой интенсивности производственно-биоэнергетических процессов, а также ограниченности возможности арктических экосистем к быстрому восстановлению и самоочищению в сложных климатических условиях [1, с. 20–21].

Загрязнение атмосферы оказывает негативное влияние как на биосферу в целом, так и на здоровье человека как ее части. Основное влияние тяжелых металлов газопылевых выбросов при нахождении человека в условиях хронически загрязненной воздушной среды испытывают органы дыхания. Так, хроническое попадание меди, кадмия, хрома и никеля в органы дыхания может вызвать дефекты и структурное нарушение перегородки носа. Входящий в состав нефти свинец попадает в человеческий организм через пищевые цепи, накапливаясь со временем, он может вызывать серьезные проблемы со здоровьем. Свинец – кумулятивный яд, накопление которого увеличивает риск заболеваемости раком почек, мочевого пузыря, легких, желудка. Кадмий – один из самых токсичных тяжелых металлов, вызывающий рак легких [2].

Загрязнение поверхности земли вредными веществами происходит в том числе и в результате осаждения антропогенных примесей из атмосферных осадков, которые могут переноситься воздушными массами на значительные расстояния от источника их возникновения, то есть от объектов или территорий промышленной деятельности человека. Интенсивность атмосферных процессов оседания и вымывания веществ напрямую зависит в первую очередь от объемов выбросов. Большую роль в этих процессах играют структура рельефа местности и характер подстилающих поверхностей, а также турбулентность воздушных масс. Многолетний экологический мониторинг показывает, что трансграничные перемещения атмосферных примесей в меридиональном направлении происходят медленнее, чем в широтном [3, с. 306].

Промышленное освоение Арктики и строительство здесь мощных промышленных комплексов в совокупности с вышеука-

занными естественными процессами перемещения антропогенных примесей на значительные расстояния оказывают серьезное влияние на природу Севера.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха во многом зависит от метеорологических и природно-климатических условий в отдельном регионе и может значительно различаться без изменений в объеме и составе выбросов от промышленных предприятий и транспорта из-за воздействия [4, с. 21]. Метеорологические условия, влияющие на вертикальное и горизонтальное перемещение выбросов воздушными массами, такие как температура воздуха, осадки, направление и скорость ветра, устойчивость атмосферы, оказывают значительное влияние на распространение загрязняющих веществ за пределы мест их выброса [5, с. 92]. В условиях Арктики из-за слабого солнечного облучения и низких температур примеси могут задерживаться в воздухе на длительное время (особенно зимой – до 10 суток и более) и распространяться в атмосфере на расстояние до 10 тыс. км [6, с. 475–476].

Причины изменения значений выбросов кадмия и свинца могут быть связаны с работой нефтеперерабатывающих предприятий, а также используемого на месторождениях автотранспорта. На нефтегазовых месторождениях кадмий и свинец попадают в атмосферу вместе с выбросами газов и пыли во время высокотемпературных технологических процессов сжигания различных видов топлива, таких как нефть, газ, бензин, дизельное топливо, уголь, а также из-за металлургических операций и обжига цемента [2].

Кроме того, при добыче нефти попутный газ часто утилизируется простейшим образом – сжигается на месторождениях в специальных факельных установках, что приводит к значительным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу.

Целью исследования является оценка динамики изменений выбросов в атмосферу и атмосферного переноса выбросов свинца и кадмия с территорий объектов нефтегазодобывающей промышленности на примере трех месторождений северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений. Для этого были проанализированы объемы выбросов указанных веществ на территории каждого из рассматриваемых месторождений за 2015–2020 гг., а также

построены и проанализированы картосхемы атмосферных потоков свинца и кадмия от Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений.

#### **Материалы и методы исследования**

Южно-Хыльчуйское и Западно-Лекейягинское нефтегазовые месторождения, а также нефтяное Ардалинское месторождение находятся в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, северная часть которой расположена на территории Ненецкого автономного округа.

Южно-Хыльчуйское месторождение, расположенное в северной части Колвинского мегавала и открытое в 1981 г., относится к категории крупных как по балансовым запасам, так и по извлекаемым объемам нефти. Промышленная эксплуатация месторождения оператором «Нарьян-марнефтегаз» началась в 2008 г., объемы добычи нефти в разные годы составляли от 2,15 до 6,99 млн т [7].

Западно-Лекейягинское НГМ также относится к категории крупных по величине извлекаемых запасов нефти. Открыто месторождение было в 1988 г., в 2011 г. введено в эксплуатацию.

Размер Ардалинского месторождения классифицируется как мелкое, общий подтвержденный запас нефти оценивается в 16,4 млн т [8]. Месторождение открыто в 1988 г. Промышленная эксплуатация ведется оператором СП «Полярное сияние» с 1994 г.

Данные, отражающие показатели объемов выброса в атмосферу кадмия и свинца с территорий рассматриваемых месторождений, были получены в процессе работы с информацией, размещенной на сайте Центра по кадастрам и прогнозам выбросов (CEIP) ЕМЕР, который доступен для свободного использования через сеть Интернет [9].

Использование данных ЕМЕР об эмиссиях рассматриваемых металлов в атмосферу с определенных территорий позволяет более полно учитывать источники загрязнения, так как CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections) собирает данные о выбросах подкисляющих загрязнителей воздуха, тяжелых металлов, твердых частиц и фотохимических окислителей от стран – участниц Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и готовит на их основе базы данных, которые используются как исходные для моделей дальнего переноса загрязнителей.

Данные ЕМЕР о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу представлены в виде суммарных эмиссий за год на градусной сетке. В рамках исследования были проанализированы данные о выбросах кадмия и свинца с территории Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейягинского и Ардалинского месторождений за период с 2015 по 2020 г.

В работе был проведен анализ распространения загрязняющих веществ при переносе их воздушными массами от предполагаемых источников выброса с использованием метода статистики траекторий переноса воздушных масс. Основа метода описана в [10, 11]. Расчеты проводились на градусной сетке размером  $1^\circ \times 1^\circ$ . Исследование основных направлений переноса загрязняющих веществ от источника выбросов и характера движения воздушных масс было проведено на основе анализа построенных авторами картосхем за 2015–2020 гг.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Для рассматриваемых месторождений характерны особенности климатических условий северных регионов России, такие как продолжительные суровые зимы, короткие летние периоды, слабо выраженные переходные сезоны, низкая солнечная активность зимой (количество солнечной радиации), значительная облачность, метели и туманы, наличие многолетнемерзлых пород. Снежный покров на этих территориях сохраняется примерно 7–8 месяцев в году. Эти геоклиматические особенности являются причиной повышенной чувствительности северной экосистемы к внешним воздействиям.

Наименьшее среднее значение выбросов кадмия и свинца в год за 2015–2020 гг. было получено от источников, расположенных на территории Западно-Лекейягинского месторождения, а наибольшее – от источников Ардалинского месторождения (рис. 1–3).

Полученные данные показывают, что средние значения выбросов свинца в атмосферу от источников загрязнения с территорий Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений после 2018 г. увеличиваются (рис. 2).

В то же время средние значения выбросов свинца в атмосферный воздух от источников с территории Западно-Лекейягинского месторождения после 2018 г. значительно уменьшаются (рис. 1).

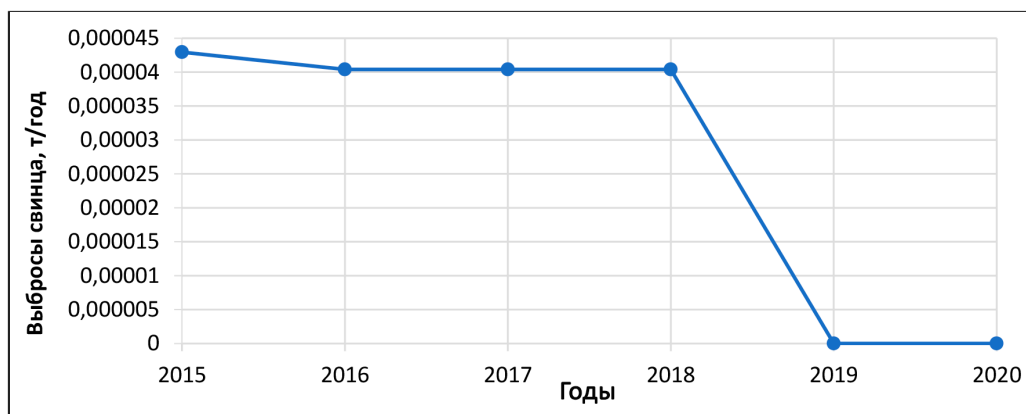


Рис. 1. Изменение количества выбросов свинца с территории Западно-Лекейягинского месторождения со временем (построена авторами по данным СЕИР)

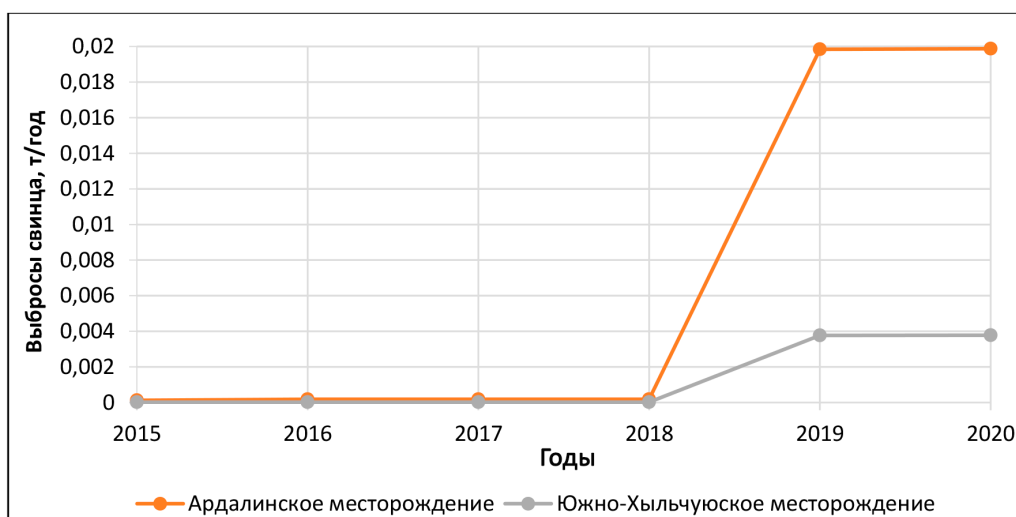


Рис. 2. Изменение количества выбросов свинца с территорий Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений со временем (построена авторами по данным СЕИР)

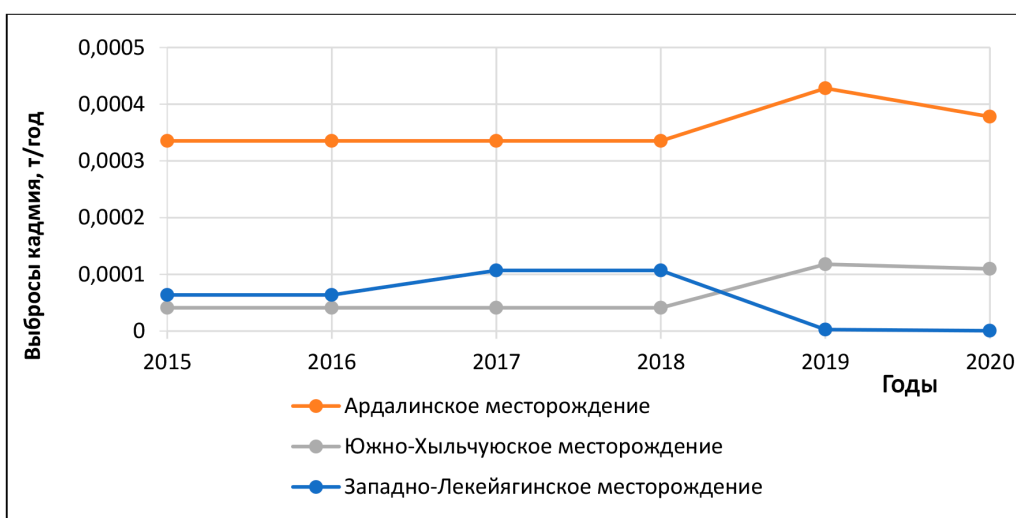


Рис. 3. Изменение количества выбросов кадмия с территорий трех рассматриваемых месторождений со временем (построена авторами по данным СЕИР)



Та же сходная динамика характерна и для выбросов кадмия, но есть некоторые отличия. От источников загрязнения на территории Южно-Хыльчуйского месторождения выбросы кадмия в атмосферный воздух после 2018 г. увеличиваются. Средние значения выбросов кадмия в атмосферный воздух от источников с территории Ардалинского месторождения после 2018 г. увеличиваются, однако в 2020 г. снижаются. Средние значения выбросов кадмия в атмосферный воздух от источников с территории Западно-Лекейгинского месторождения после 2016 г. увеличиваются, однако после 2018 г. объемы выбросов кадмия значительно снижаются (рис. 3).

Значение среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК) для свинца и кадмия в атмосферном воздухе составля-

ет  $0,3 \text{ мкг/м}^3$ . Расчетные значения среднесуточных концентраций кадмия и свинца в пределах рассматриваемых месторождений были ниже  $1 \text{ нг/м}^3$ . Вместе с тем расчетные концентрации свинца и кадмия в воздухе в пределах Ардалинского месторождения были на порядок выше, чем для территорий Южно-Хыльчуйского и Западно-Лекейгинского месторождений.

Результаты расчетов модельных потоков свинца и кадмия с территории рассматриваемых месторождений были представлены в виде картосхемы пространственного изменения потоков кадмия и свинца из атмосферы вследствие выбросов от источников загрязнения с территорий Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений за 2015–2020 гг.

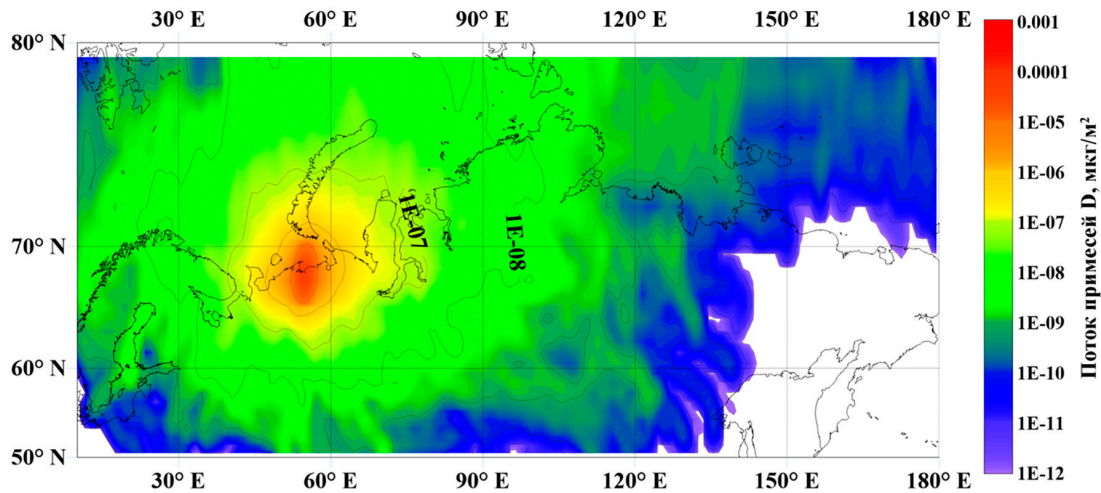


Рис. 4. Картосхема распространения потоков свинца от источников на территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2015–2020 гг.

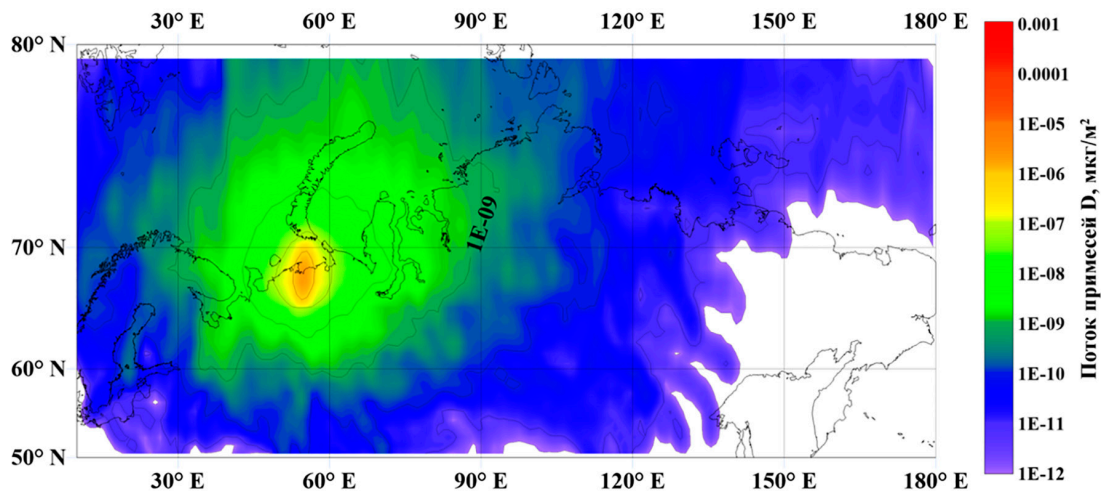


Рис. 5. Картосхема распространения потоков кадмия от источников на территории Южно-Хыльчуйского месторождения за 2015–2020 гг.

Картосхемы характера атмосферного переноса кадмия и свинца с территорий Южно-Хыльчуйского месторождения за рассматриваемые годы представлены на рис. 4 и 5. Для Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений картосхемы схожи с теми, что представлены.

Проведенные расчеты показали, что наибольшее распространение загрязняющих веществ, исходящих от месторождений, происходит в северном и северо-восточном направлении (рис. 4), то есть на акватории морей Северного Ледовитого океана в основном в меридиональном направлении.

На характер распространения загрязняющих атмосферу веществ существенное влияние оказывают сезонные изменения характера движения воздушных масс. В холодное время года примеси переносятся атмосферными потоками преимущественно в направлении севера и северо-востока на значительно большие территории (рис. 4), чем в теплое (рис. 5).

Это обуславливается тем, что в условиях Арктики, где преобладают низкие температуры и слабая инсоляция воздуха, загрязняющие вещества могут оставаться в воздухе на протяжении длительного времени – зимой до 10 дней и более [6, с. 475]. Зимой на севере европейской территории России содержание свинца и кадмия в воздухе выше, чем летом, из-за увеличения «времени жизни» тяжелых металлов в атмосфере при низких температурах. В летний период российские источники выбросов вносят основной вклад в загрязнение свинцом и кадмием окружающей среды на севере европейской территории России [10].

### Закключение

Анализируя динамику выбросов свинца и кадмия согласно данным CEIP от источников Южно-Хыльчуйского и Ардалинского месторождений, видно, что в период 2015–2020 гг. выбросы этих двух тяжелых металлов увеличиваются. Динамика выбросов свинца и кадмия Западно-Лекейгинского месторождения показывает, что со временем выбросы свинца и кадмия от рассматриваемого месторождения сокращаются.

Примеси, выбрасываемые в атмосферу из источников загрязнения на территориях Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений, в основном распространяются на север и северо-

ро-восток. Удаленность распространения примесей от эпицентра в период преобладания низких температур значительно больше, чем в теплое время года.

В некоторые годы и сезоны вклад выбросов загрязняющих веществ от нефтегазовых источников может быть значителен, но в целом концентрации выбросов и формируемые потоки свинца и кадмия от Южно-Хыльчуйского, Западно-Лекейгинского и Ардалинского месторождений имеют малые значения.

Полученные результаты могут быть полезны при разработке мероприятий по охране окружающей среды для объектов нефтегазодобывающей промышленности Тимано-Печорской нефтегазодобывающей провинции.

### Список литературы

1. Туфанова О.П., Котова Е.И. Оценка степени загрязненности поверхностных вод при освоении нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 1 (310). С. 20–26.
2. Диагностика загрязнения почв тяжелыми металлами, происходящими через газопылевые выбросы. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/prombezopasnost/544956-diagnostics-zagryazneniya-pochv-tyazhelymi-metallami-proiskhodyashchimi-cherez-gazopylevyevyubrosy/> (дата обращения: 08.03.2024).
3. Стрельников В.В., Мельченко А.И. Экологический мониторинг: учебник. М.: ИНФРА-М, 2023. 372 с. DOI: 10.12737/1019057.
4. Алексеев Д.К. Конспект лекций. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха. СПб.: РГМУ, 2021. 27 с.
5. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
6. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Арктические районы России (1986–2010 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
7. Южно-Хыльчуйское месторождение. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141630-yuzhno-khylchuyuskoe-mestorozhdenie/> (дата обращения: 06.03.2024).
8. Ардалинское месторождение. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/oil-gas-field/ardalinskoe> (дата обращения: 07.03.2024).
9. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections: Web site. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions/bc> (дата обращения: 07.03.2024).
10. Виноградова А.А., Котова Е.И. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России // Живые и биокосные системы. 2018. № 23.; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-23/article-2> (дата обращения: 06.03.2024). DOI: 10.18522/2308-9709-2018-23-2.
11. Котова Е.И., Туфанова О.П. Выбросы сажи с территории Южно-Хыльчуйского месторождения // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 78–82. DOI: 10.17513/use.38146.