

УДК 551.578:504.53:332.368

**ВЗВЕСЬ И НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ
АРКТИЧЕСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Яковенко А.А.¹, Котова Е.И.^{1,2}, Калашников А.В.¹**¹*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: yakovenko.a.a@edu.narfu.ru;*²*ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, Москва, e-mail: ecopp@yandex.ru*

В условиях сурового арктического климата большую часть времени года территории покрыты снежным покровом. Это обуславливает выбор снежного покрова в качестве объекта исследования техногенного воздействия на окружающую среду. Несмотря на хрупкость арктических экосистем, здесь расположены крупные антропогенные источники загрязнения – объекты нефтегазодобывающей отрасли. В данной статье приведена оценка оказываемого негативного влияния эксплуатируемого нефтяного месторождения на загрязнение снежного покрова, путем проведения замеров концентраций веществ загрязнителей, накопленных за зимний период с последующим анализом полученных в ходе лабораторных испытаний данных о содержащихся веществах. Основным загрязнителем прилегающих к нефтяному месторождению территорий является факельная установка, используемая для сжигания попутного нефтяного газа, получаемого при проведении добычи нефти. В качестве оцениваемых веществ загрязнителей были выбраны нефтяные углеводороды и взвешенные вещества. Установлено, что среднегодовое содержание нефтяных углеводородов в снежной толще изменяется незначительно и не превышает 0,037 мг/л. В отличие от нефтяных углеводородов, содержание взвешенных веществ в снежном покрове распределяется достаточно неравномерно как во времени, так и в пространстве в диапазоне 0,9–8,3 мг/л в среднем за год. В начале зимы концентрации нефтяных углеводородов выше, чем в конце периода снегозалегаания. Значительный разброс в средних межгодовых концентрациях взвешенных веществ может быть обусловлен тем, что химический состав выбросов в окружающую среду достаточно неоднороден и зависит от состава добываемой нефти и получаемых вместе с ней примесей.

Ключевые слова: сжигание попутного нефтяного газа, загрязнение окружающей среды факельными установками, загрязнение снежного покрова, экологический мониторинг, нефтяные углеводороды, взвешенные вещества

**SUSPENSION AND PETROLEUM HYDROCARBONS
IN THE SNOW COVER OF THE ARCTIC OIL FIELD****Yakovenko A.A.¹, Kotova E.I.^{1,2}, Kalashnikov A.V.¹**¹*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, e-mail:
yakovenko.a.a@edu.narfu.ru;*²*Institute of Oceanology RAS named after P.P. Shirshov, Moscow, e-mail: ecopp@yandex.ru*

Territories in the harsh arctic climate are covered with snow most of the year. This determines the choice of snow cover as an object of environmental impact study. Despite the fragility of the Arctic ecosystems, there are large anthropogenic sources of pollution. They are the objects of the oil and gas industry. This article provides an assessment of the impact of an exploited oil field on the snow cover. This was done by measuring the concentrations of pollutant substances that were accumulated during the winter period. Further, the analysis of the data obtained during laboratory tests was carried out. The main pollutant of the territories adjacent to the field is a flare plant used to burn associated petroleum gas obtained during oil production. Petroleum hydrocarbons and suspended solids were selected as pollutant substances to be assessed. It has been established that the average annual content of petroleum hydrocarbons in the snow mass varies insignificantly and does not exceed 0,037 mg/l. Unlike petroleum hydrocarbons, the content of suspended solids in the snow cover is distributed rather unevenly both in time and space in the range of 0,9–8,3 mg/l on average per year. Petroleum hydrocarbon concentrations are higher at the beginning of winter. It is assumed that a significant scatter in the average interannual concentrations of suspended solids is due to the fact that the composition of emissions into the environment is quite heterogeneous and depends on the composition of the produced oil and the impurities obtained along with it.

Keywords: snow cover, associated gas, flare installation, snow, monitoring, petroleum hydrocarbons, suspended solids

Огромная роль в мировой экономике отведена нефтяной отрасли, являющейся одной из базовых в России. Однако добыча углеводородного сырья сопровождается большим количеством загрязняющих факторов, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду. Загрязняющие вещества особенно сильно влияют на природу арктических регионов след-

ствие малых интенсивностей продукционно-биоэнергетических процессов, низких восстановительных и самоочистительных возможностей их экосистем [1]. Одной из самых актуальных проблем в настоящее время для хрупкой арктической природы и проживающего здесь коренного населения является постоянно растущее загрязнение экосистем [2].

Для оценки влияния нефтяной промышленности на окружающую среду необходимо проводить комплексный экологический мониторинг, включающий в себя отбор различных компонентов природных комплексов и их последующий анализ. Проведение комплексной оценки загрязнения почв в результате функционирования предприятий нефтегазодобывающей отрасли возможно только в период отсутствия снегового покрова. В условиях арктического климата данный период является достаточно коротким, что обуславливает необходимость изучения и оценки загрязнения снегового покрова.

Основным постоянно действующим источником загрязнения окружающей среды на месторождении является установка по сжиганию попутного нефтяного газа. В непосредственной близости от факельной установки концентрация нефтяных углеводородов в почвах максимальна [3]. Попутный газ состоит из смеси метана, этана, пропана, бутана, изобутана и других углеводородов, а также содержит Ar, H₂, He, N₂, H₂S, CO, CO₂, различные серосодержащие соединения, инертные газы, а также водяные пары, твердые частицы и тяжелые металлы [4]. При сгорании попутного газа в атмосферу поступают углекислый газ, нерастворимые примеси (взвешенные вещества), ряд газовых примесей (оксиды азота и серы, метан и другие углеводороды), Hg, As, Cr [5]. Взвешенные вещества состоят в основном из накопленной пыли, золы и сажи, выбрасываемых в атмосферу во время работы факельной установки, а также из различных органических и неорганических примесей, приносимых с атмосферными осадками.

Снежный покров, который, подобно почвенному покрову, обладает способностью активно накапливать химические элементы и их соединения, является хорошим индикатором для выявления процессов загрязнения территорий в течение зимнего периода [6]. Химический состав снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снежным покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снежным покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы [7].

Изучение состава снежного покрова позволит оценить уровень техногенного воздействия в зимний период на прилегающие к месторождению площади. За время продолжительной зимы газоаэрозольные выбросы осаждаются и накапливаются в снежной толще. В весенний период все

накопленные вещества залпово поступают в почвы и водные объекты.

Целью исследования является оценка загрязнения снежного покрова вблизи от эксплуатируемого арктического нефтяного месторождения.

Основные задачи исследования:

– Изучение межгодовых изменений содержания накапливаемых нефтяных углеводородов и взвешенных веществ в снегу.

– Сравнение концентраций нефтяных углеводородов и взвешенных веществ в снегу в начальный период становления снежного покрова и перед снеготаянием.

Материалы и методы исследования

Работы проводились вблизи нефтяного месторождения, расположенного в арктической зоне, в 60 км к северо-западу от поселка Хорей-Вер. Отбор проб снега проводился в 14 точках, показанных на рис. 1.

Пробы отбирались в период с 2006 г. по 2016 г. Отбор проб снега производился из шурфов, на всю толщину снежного покрова, за исключением самого нижнего пятисантиметрового слоя. Площади стенок шурфа были измерены инструментально. Пробы упаковывались в водонепроницаемые полиэтиленовые мешки, пронумерованные этикетками. Пробы доставлялись в лабораторию, где происходила пробоподготовка, включающая растапливание и фильтрацию, и анализ проб.

Определение содержания нефтяных углеводородов в талой фазе снежного покрова проводилось по ГОСТ 31953-2012 «Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии». Метод основан на экстракционном извлечении нефтепродуктов из пробы растопленного снега экстрагентом, очистке экстракта от полярных соединений сорбентом, анализе полученного элюата на газовом хроматографе, суммировании площадей хроматографических пиков углеводородов в диапазоне времен удерживания равным и (или) более *n*-октана и расчете содержания нефтепродуктов в воде по установленной градуировочной зависимости.

Содержание взвешенных веществ определялось гравиметрическим методом согласно методике РД 52.24.468-2019 «Массовая концентрация взвешенных веществ и сухого остатка в водах. Методика измерений гравиметрическим методом».

Последующая статистическая обработка полученных результатов проводилась в программном комплексе Microsoft Office Excel 2016.

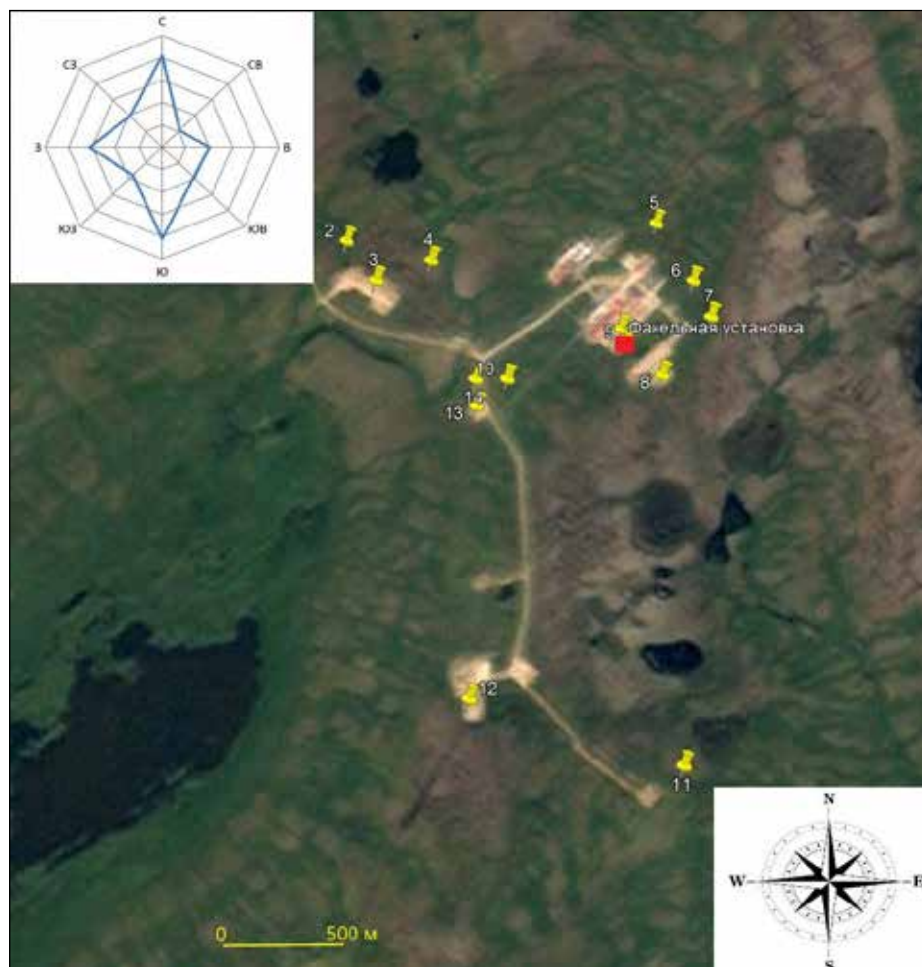


Рис. 1. Точки отбора проб снега

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка ежегодных концентраций нефтяных углеводородов и взвешенных веществ в снегу

Пробы снега для оценки межгодовой динамики состава отбирались в период максимального влагозапаса в марте.

Анализ межгодовой изменчивости показал отсутствие значимых межгодовых изменений содержания нефтяных углеводородов в снежной толще. Среднее по территории содержание нефтяных углеводородов в снежном покрове изменяется из года в год незначительно и составляет 0,022–0,037 мг/л (рис. 2).

В то же время значения стандартного отклонения, показывающего разброс значений, в отдельные годы различны. Например, в 2013 г. на всей территории содержания нефтепродуктов в снегу было примерно

одинаковым: значение стандартного отклонения равнялось 0,004 мг/л, а амплитуда колебаний значений составила 0,014 мг/л. В 2008 г. значение стандартного отклонения составило 0,043 мг/л. В этот год максимальное содержание нефтяных углеводородов на уровне 0,17 мг/л было определено в точке, расположенной в 1300 м от факельной установки. Данное увеличение содержания нефтяных углеводородов, скорее всего, связано с неким разовым локальным загрязнением, так как в другие годы концентрации здесь невелики.

Анализ межгодовой изменчивости содержания в снегу взвешенных веществ показал наличие достаточно значимых скачков концентрации в снежной толще. В среднем содержание взвешенных веществ составляло 0,9–8,3 мг/л. Наибольшая концентрация наблюдалась в 2008 г., а наименьшая была в 2010 (рис. 3).

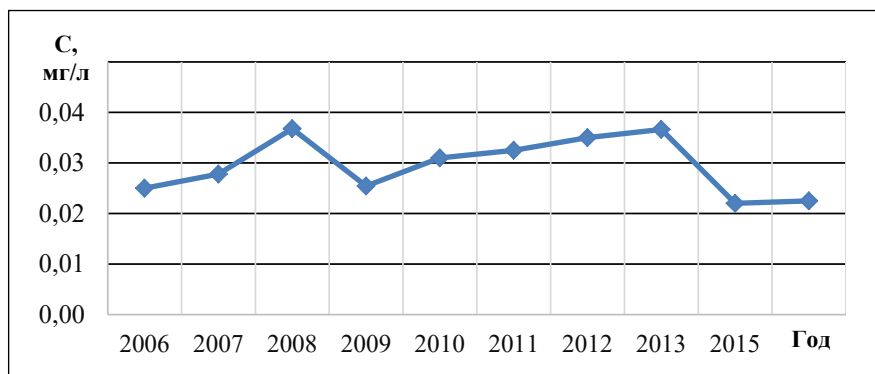


Рис. 2. Среднее значение содержания нефтяных углеводородов в снегу (С), мг/л

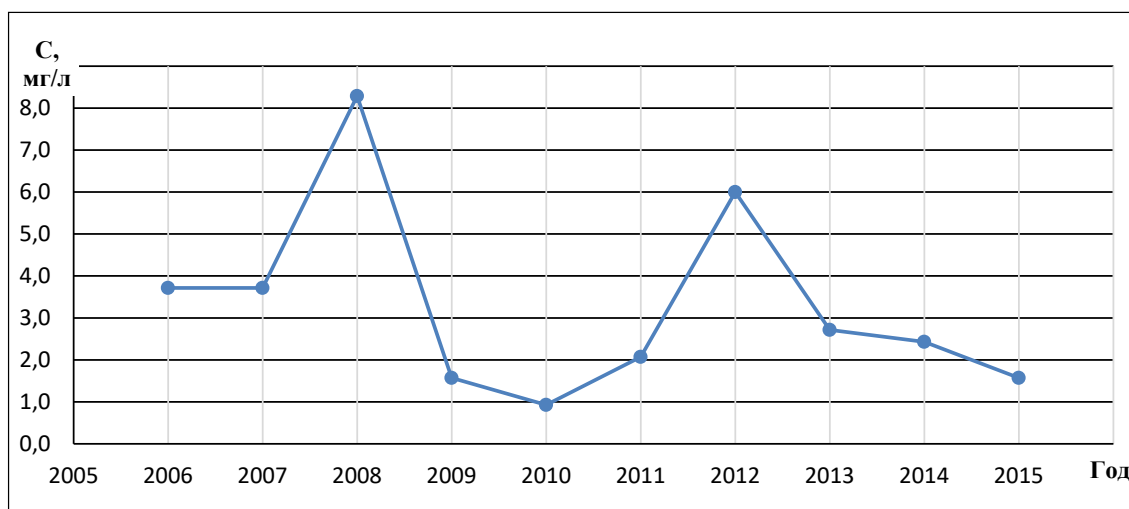


Рис. 3. Среднее значение содержания взвешенных веществ в снегу (С), мг/л

Для взвешенных веществ значения стандартного отклонения, показывающего разброс значений, свидетельствуют о достаточно серьезной неравномерности в распределении загрязнителя между точками. Так, в 2008 г. значение стандартного отклонения составило максимальные 4,43 мг/л, а амплитуда колебаний значений – 12,0 мг/л. В этом же году было достигнуто максимальное значение содержания взвешенных веществ – 16,0 мг/л в точке, находящейся в непосредственной близости от факельной установки.

Наиболее равномерным по распределению взвешенных веществ в снежном покрове можно считать 2010 г. Значение стандартного отклонения составило 1,14 мг/л, а амплитуда колебаний значений составила 4,0 мг/л. В этом же году отмечено наименьшее среднее значение концентраций взвешенных веществ в снегу. Исходя из полученных результатов можно отметить, что

чем выше среднее значение концентрации взвешенных веществ в снегу, тем больше неоднородность в их распространении, т.е. загрязнение снежного покрова взвешенными веществами имеет не постоянный, а залповый характер. Для оценки пространственной характеристики зоны загрязнения ниже приведена таблица с данными по средним концентрациям за весь временной промежуток наблюдений в разрезе пунктов наблюдения, относительно расстояния от основного источника – факельной установки.

Сезонная динамика

Для того, чтобы оценить изменение загрязнения снега за весь зимний период, было проведено сравнение концентраций нефтяных углеводородов и взвешенных веществ в начальный период становления снежного покрова (ноябрь – декабрь) и перед тем, как снежный покров начинает таять (март). Результаты представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Среднее содержание нефтяных углеводородов и взвешенных веществ, мг/л, в разрезе пунктов наблюдения

№ точки наблюдения	Расстояние до факельной установки, м	Средняя концентрация НУ, мг/л	Средняя концентрация ВВ, мг/л
9	47	0,026	3,00
8	274	0,028	4,09
6	383	0,028	4,82
7	394	0,032	2,64
5	514	0,026	2,82
10	560	0,030	2,27
14	672	0,022	2,36
13	715	0,021	3,00
4	910	0,034	2,09
3	1122	0,024	3,91
2	1300	0,041	2,91
12	1722	0,025	2,36
11	1932	0,023	4,00
1	6868	0,028	3,27

Таблица 2

Среднее содержание нефтяных углеводородов, мг/л

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016
Ноябрь – декабрь	0,035	0,035	0,035	0,030	0,048	0,032	0,037	0,036	0,029	0,036
Март – апрель	0,017	0,032	0,026	0,024	0,023	0,029	0,035	0,033	0,015	0,026

Таблица 3

Среднее содержание взвешенных веществ, мг/л

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ноябрь – декабрь	5,0	3,5	3,5	2,0	2,5	4,0	1,5	5,0	1,8	2,8	1,8
Март – апрель	5,0	4,5	7,5	2,0	2,0	2,5	5,8	4,8	2,5	2,0	1,2

Анализ полученных данных показал, что в начале зимы концентрации нефтяных углеводородов выше, чем в конце периода снегозалегания, причем в некоторые годы в 2–3 раза. Данный результат может быть обусловлен тем, что январь – февраль – это месяцы наиболее снежные, когда происходит основное формирование снежной толщи во время снегопадов и метелей. В результате концентрации углеводородов усредняются по высоте, а среднее содержание нефтепродуктов в снежном покрове уменьшается. Обратная ситуация – в начале формирования снежного покрова, когда снега не так много, интенсивность его

выпадения ниже. В этот период происходит вымывание и накопление загрязнения в снежной толще, а количества осадков недостаточно для «разбавления» и снижения концентрации.

Для подтверждения зависимости концентрации нефтяных углеводородов от мощности снегового покрова были построены сравнительные графики (рис. 4).

Графики демонстрируют, что чем больше высота снежного покрова, тем концентрация нефтепродуктов в мг/л меньше. Однако при подсчете коэффициентов корреляции данное утверждение подтвердилось не во всех случаях.

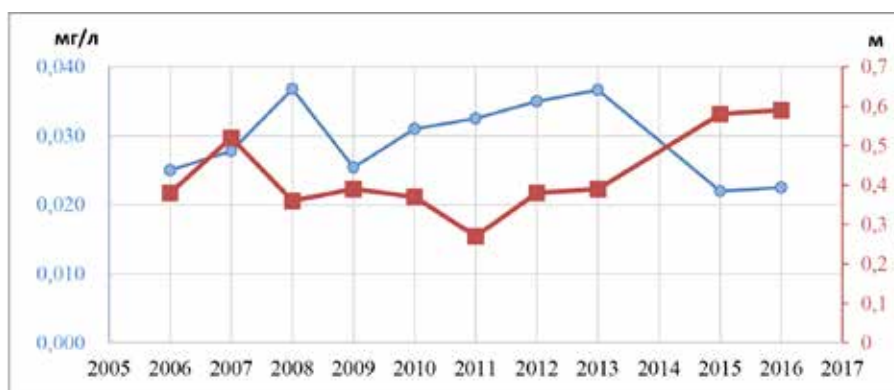


Рис. 4. Среднегодовые значения концентрации нефтяных углеводородов (мг/л) и мощности снежного покрова (м)

Рассматривая концентрации взвешенных веществ, выявить какую-либо закономерность, привязанную как ко времени, так и к мощности снежного покрова, не удалось. Так, в 2008 г. средняя концентрация составила в ноябре – декабре 3,5 мг/л, а в марте – апреле 7,5 мг/л. Обратная ситуация наблюдалась в 2011 г., когда средняя концентрация в ноябре – декабре составляла 4,0 мг/л, а в марте – апреле 2,5 мг/л.

Заключение

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов в снегу при стабильной работе факельной установки закрытого типа не превышает 0,047 мг/л и в среднем к периоду снеготаяния равна 0,037 мг/л. Распределение содержания нефтепродуктов в большинстве случаев зависит от мощности снегового покрова. К моменту снеготаяния наблюдается снижение содержания нефтепродуктов в среднем на всю толщу снежного покрова.

Взвешенные вещества в снежном покрове распределяются достаточно неравномерно как во времени, так и в пространстве. Содержание их изменяется в диапазоне от предела обнаружения до 16 мг/л. Значительный разброс в средних межгодовых концентрациях взвешенных веществ может быть обусловлен тем, что состав выбросов в окружающую среду достаточно неоднороден и зависит от состава добываемой нефти и получаемых вместе с ней примесей.

Список литературы / Reference

1. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере г. Омск, Ачинск, Павлодар): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2018. 22 с.

Shakhova T.S. The influence of oil refineries on the ecological and geochemical situation of adjacent territories according to the study of snow cover (on the example of Omsk, Achinsk, Pavlodar): avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. Tomsk, 2018. 22 p. (in Russian).

2. Катыгинская О.И. Влияние снежного покрова на накопление загрязняющих веществ в почве: магистерская диссертация РГГМУ. СПб., 2016. 117 с.

Katyginskaya O.I. The influence of snow cover on the accumulation of pollutants in the soil: Master's dis. of RSHMU. SPb., 2016. 117 p. (in Russian).

3. Яковенко А.А., Котова Е.И. Влияние сжигания попутного газа на загрязнение почв в условиях арктического нефтяного месторождения // Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 117-122. DOI: 10.17513/use.37632.

Yakovenko A.A., Kotova E.I. Effect of associated gas combustion on soil pollution in the arctic oil field // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2021. № 5. P. 117-122 (in Russian). DOI: 10.17513/use.37632.

4. Ботнева Т.А., Панкина Р.Г., Соколов В.А. Геохимия нефтяных попутных газов (по материалам Волго-Уральской обл., Кавказа и Южно-Укр. обл.) М.: Недра, 1966. 202 с.

Botneva T.A., pankina R.G., Sokolov V.A. Geochemistry of petroleum associated gases (based on the materials of the Volga-Ural region, the Caucasus and the South Ukrainian region) M.: Nedra, 1966. 202 p. (in Russian).

5. Шевченко В.П. Загрязнение окружающей среды Арктики и Субарктики в результате сжигания попутного газа // Нетрадиционные источники углеводородов: междисциплинарные исследования. Материалы Международной научно-практической конференции (станция Голубицкая, Краснодарский край, 07-10 июля 2019 г). Станция Голубицкая, Краснодарский край: Изд-во Перо, 2019. С. 32-34.

Shevchenko V. P. Environmental pollution of the Arctic and Subarctic as a result of associated gas combustion // Netraditsionnyye istochniki uglevodorodov: mezhdistsiplinarnyye issledovaniya. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (stanitsa Golubitskaya, Krasnodarskiy kray, 07-10 iyulya 2019 g). Stanitsa Golubitskaya, Krasnodarskiy kray: Izd-vo Pero, 2019. P. 32-34 (in Russian).

6. Смирнова С.М., Долин В.В. Тяжелые металлы в снежном покрове г. Николаева // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. 2011. № 19. С. 115-124.

Smirnova S.M., Dolin V.V. Heavy metals in snow cover of Mykolayiv city // Sbornik nauchnykh trudov Institutu geokhimiї okruzhayushchey sredy. 2011. № 5. P. 61-65 (in Russian).

7. Meshcheryakov P.V., Prokopovich E.V., Korkina I.N. Transformation of ecological conditions of soil and humus substance formation in the urban environment. Russian Journal of Ecology. 2005. No 36 (1). P. 8-15. DOI: 10.1007/s11184-005-0002-5.