References

1. Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Water reservoirs. M., 1987. 325 p.
2. Timofeev A.N. Water reservoirs and their impact on the environment. M.: Nauka, 1986. 365 p.
3. Efimov D.Yu. Bio-ecological analysis of flora of Ust-Ilim water reservoir // The Bulletin of KrasGAU. 2006. Vyp. 15. P. 497-500.
4. Efimov D.Yu. Flora of Miryundinsky bay of the Ust-Ilim water reservoir // Pedagogicheskoe i estestvenno - nauchnye aspekty problem razvitiya Srednego Priangar'ya: sb. nauch. tr. Irkutsk, 2006. P. 52-66.
5. Zarubin A.M., Lyakhova I.G., Turuta A.E. Abstract of flora of vascular plants of Pribaikalsky National Park. Irkutsk: Irkut. gos. un-t, 2005. 494 p.
6. Abstract of flora of the Irkutsk region (vascular plants) / pod red. L.I. Malysheva. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2008. 327 p.
7. Malysheva L.I., Peshkova G.A. Features and genesis of of flora of Siberia (Baikal and Trans-Baikal). Novosibirsk, 1984. 264 p.
8. Ovchinnikov G.I. Some patterns of development of coastal zone of Angara water reservoirs // Berega morei i vnutrennikh vodoemov: sb. nauch. st. Novosibirsk, 1999. P. 124-138.
9. Ponomareva I.N. Plant ecology with the basics of biogeocenology. M. 1978. 207 p.
10. Savkin V.M. Water reservoirs of Siberia, water and environmental and water - economic consequences of their creation // Sib. ekol. zhurn. 2000. № 2. P. 109-121.
11. Serebryakov I.G. Ecological plant morphology. Life forms. M.: Vyssh. shkola, 1962.
12. Stepantsova N.V. Atlas rastenii zapadnogo poberezh'ya ozera Baikal. Irkutsk: OOO «Reprotsentr A1», 2013. 600 p.
13. Flora of the Central Siberia: v 2 t. / pod. red. L.I. Malysheva, G.A. Peshkovoi. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1979. T. 2. 1048 p.
14. Sharapov V.A. Impact of of water reservoirs on the environment // Vodokhranilishcha mira: sb nauch. st. M.: Nauka, 1979. P. 84-134.
15. Yushkov N.N., Erofeeva M.R. Report on the state of the environment of Bratsk in 2012. [Elektronnyi resurs]. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2014. 107 p.
16. URL. www.irbis.vegu.ru/repos/ 11465/HTML/31.htm ???
17. http://biofile.ru/bio/6370.html ??? (Data obrashcheniya: 26.09. 2015).

УДК 504. 054: 547. 62; 504. 054: 547. 68; 665.1: 664.3.014

Легколетучие органические соединения в фильтрате снежного покрова Братска

Н.И. Янченко[a], С.Л. Слуцкий[b], В.В. Верхотуров[c]

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия
[a]fduecn@bk.ru, [b]sergey-sl74@mail.ru, [c]vvv33@istu.edu
Статья поступила 21.10.2015, принята 16.11.2015

В Братске, преимущественно в Центральном округе города, отмечено снижение качества воздуха, обусловленное появлением нового дурнопахнущего вещества. Известно, что запах в атмосферном воздухе может быть обусловлен одним или несколькими легколетучими органическими соединениям. Новый государственный отраслевой стандарт, введенный в действие с 1.07.2015 г., устанавливает правила контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу ольфактометрическим способом, когда учитывается физиологический отклик группы волонтеров, но без идентификации вещества и, соответственно, без установления источника выбросов. В данном исследовании объектом изучения был выбран снежный покров, химический состав которого отражает химический состав атмосферного воздуха. Хромато-масс-спектрометрическим методом был изучен состав легколетучих органических соединений в фильтрате снежного покрова, собранного в декабре 2014 г. в районе телецентра и в районе агрофирмы «Пурсей», находящихся под влиянием выбросов алюминиевого завода, лесопромышленного комплекса, автотранспорта, предприятий теплоэнергетики. Впервые установлены 39 легколетучих органических соединений в фильтрате снежного покрова. Основная группа соединений — это терпеноиды, входящие в состав эфирных масел сосны. Количественные отличия между пробами заключаются в том, что в пробе № 1 содержание ксилолов в 5 раз больше, чем в пробе № 2; полиметилбензолов — в 5 раз; нафталина — в 0,7 раз; 2-метилнафталина — в 0,15 раз; линалоолоксида — в 72 раза; линалилоксида — в 19 раз; 3,7-диметил-6-ноненаля — в 5 раз; а-терпенеола — в 6 раз; 2,3-пинандиола — в 4 раза; трихлорэтилфосфата и карбазола — в 3 раза. Некоторые из названных веществ относятся к полициклическим ароматическим углеводородам.

Ключевые слова: выбросы; запах; легколетучие органические соединения; фильтрат; снежный покров; терпеноиды.

Volatile organic compounds in the filtrate of the snow cover in Bratsk

N.I. Yanchenko[a], S.L. Slutsky[b], V.V., Verkhoturov[c]

Institute State Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia
[a]fduecn@bk.ru, [b]sergey-sl74@mail.ru, [c]vvv33@istu.edu
Received 21.10.2015, accepted 16.11.2015

In the city of Bratsk, in the Central district mainly, there is a decreased air quality due to a new bad-smelling substance. It is known that a smell in the air can be caused by one or more volatile organic compounds. New state industry standard, introduced 01.07.2015, establishes rules for the control of emissions of bad-smelling substances in the atmosphere with olfactometric way. It takes into account the physiological response of a group of volunteers, but without identifying the substance and, therefore, without identifying the source of emissions. In this study, snow cover was chosen as an object of study, chemical composition of which reflects chemical composition of the atmosphere. The composition of volatile organic compounds has been studied with gas chromatography-mass spectrometry method in the filtrate of the snow cover, taken in December 2014 in the area of Television center and in the area of farming company «Pursei», which are under the influence of Bratsk Aluminum Plant's emissions, Bratsk Timber Industry Complex's emissions, emissions from vehicles and thermal power plants. 39 volatile organic compounds were found in the filtrate snow. The main group of compounds is terpenoids, which are in the essential oils of a pine. The quantitative differences between the samples lie in the fact that the sample №1 contains xylene 5 times higher than the sample №2; polymethyl benzenes 5 times more; naphthalene 0.7 times more; 2- methylnaphthalene 0.15 times more; linalool oxide 72 times more; linalyl oxide 19 times more; 3.7-dimethyl-6-nonenal 5 times more; a- terpeneola 6 times more; 2.3-pinanediol 4 times more; carbazole and trichloroethyl 3 times more. Some of them are polycyclic aromatic hydrocarbons.

Key words: emissions; smell; volatile organic compounds; filtrate; snow cover; terpenoids.

Введение. Известно, что снежный покров, в котором антропогенные примеси могут содержать неорганические и органические соединения, отражает состояние атмосферного воздуха [1].

В Братске, преимущественно в Центральном округе, снижение качества воздуха обусловлено, в частности, появлением нового дурнопахнущего вещества [2–4]. Предположительный источник — выбросы с площадки целлюлозно-бумажного комбината (Филиал ОАО «Группа Илим»). Это новое дурнопахнущее вещество (или группа соединений) не определяется в атмосферном воздухе контролирующими организациями [5]. Чаще всего в атмосферный воздух попадают пахнущие легколетучие органические соединения (ЛОС) [6; 7]. В качестве ЛОС обычно фигурируют вещества, имеющие низкую температуру кипения в интервале от 50 до 150-200 C^0. Известны методические указания по определению ЛОС в атмосферном воздухе МУ 4.1.618-96 [8] и методические указания по газохроматографическому определению ароматических, содержащих серу, галогенсодержащих веществ, метанола, ацетона, ацетонитрила в атмосферном воздухе МУК 4.1.598 96 [9; 10]. Новый ГОСТ 32673-2014 устанавливает правила контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу и введен в действие с 1.07.2015 г. [11]. Стандарт распространяется на методы исследования запаха в атмосферном воздухе, требования к измерению концентрации запаха ольфактометрическим способом, когда учитывается физиологический отклик группы волонтеров [11].

Цель работы: изучение состава легколетучих органических соединений в фильтрате снежного покрова в зонах влияния промышленных объектов Братска.

Район, объекты и методы исследования. Районом исследования является зона выбросов промышленных предприятий Братска. В городе рельеф крупнохолмистый, с перепадами высот в пределах от 402 до 670 м. Здесь расположен одни из крупнейших в мире Братский алюминиевый завод и целлюлозно-бумажный комбинат с сопутствующими профильными производствами (лесопромышленный комплекс — филиал ОАО «Группа «Илим»). В 2013 г. открыто производство хвойной беленой целлюлозы на новой линии мощностью 720 тыс. т [4; 12].

Объекты и методика исследования. В декабре 2014 г. проведен отбор фильтрата снеговой воды в соответствии с рекомендациями руководства по контролю загрязнения атмосферы [5] (проба № 1ТЦ) и (проба № 2 а/ф «Пурсей») (рис. 1).

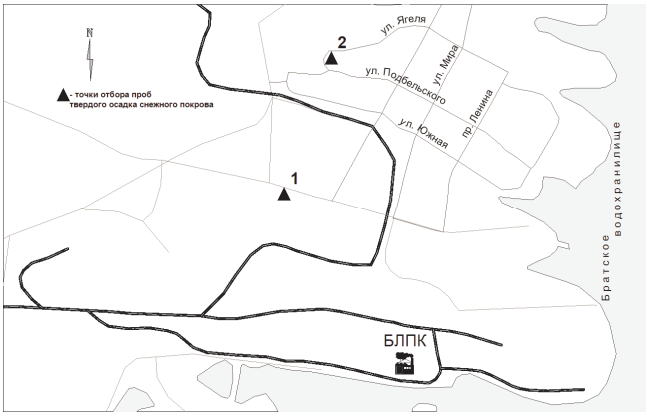

Рис. 1. Карта-схема отбора проб фильтрата снежного покрова в Братске: 1 — район агрофирмы «Пурсей»; 2 — район телецентра

Проба № 1 (фильтрат) отобрана недалеко от тепличного хозяйства агрофирмы «Пурсей». Здесь расположен пост наблюдений за атмосферным воздухом Братского центра по гидрометеорологии и мониторин-

гу окружающей среды (БЦГМС), который находится на расстоянии примерно 2-3 км от промплощадки лесопромышленного комплекса. Здесь размещаются целлюлозно-бумажный комбинат, производство по переработке хвои и другие участки. Проба № 2 (фильтрат) отобрана в районе телецентра, также на посту БЦГМС.

Подготовка проб к химическим анализам проводилась в аккредитованной лаборатории и включала в себя таяние снега при комнатной температуре, фильтрацию снеговой воды, высушивание твердого остатка снега (ТОС). Отмечаем, что при таянии снега из проб № 1 и 2 в комнате пробоподготовки ощущался тот же неприятный запах, что и в районе отбора снежного покрова. Определение ЛОС в фильтрате воды снегового покрова проведено в аккредитованной лаборатории Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (г. Москва) методом хромато-масс-спектрометрии. Измерения выполнены на хроматографе Focus с масс-спектрометрическим детектором DSQ.

Результаты и обсуждение. Известен ряд исследований в области эмиссии легколетучих соединений в воздухе, в частности, при компостировании отходов птицеферм [13], в атмосферном воздухе городов Испании [14], в воздухе от загрязненных рек в Китае [15], в воздухе помещений с лакокрасочными покрытиями [10]. Наличие дурнопахнущих веществ в атмосфере также можно определить, исследуя растения [16], а некоторые ЛОС, содержащиеся в атмосфере, оказывают влияние на концентрацию примесей в приземной зоне [17; 18]. Как указано выше, для определения легколетучих органических соединений и идентификации вещества с неприятным запахом в атмосфере Братска мы применили фильтрат снежного покрова.

Впервые установленные легколетучие вещества (рис. 2) в фильтрате снежного покрова насчитывают порядка 39 индивидуальных компонентов.

По качественному составу отличий нет и, вероятно, это свидетельствует об источниках (или источнике), в которых протекают одни и те же физико-химические процессы. Количественные отличия заключаются в том, что в пробе № 1 содержание ксилолов в 5 раз больше, чем в пробе № 2: полиметил бензолов — в 5 раз; нафталина — в 0,7; 2-метилнафталина — в 0,15; линалоолоксида — в 72; линалилоксида — в 19; 3,7-диметил-6-ноненаля — в 5; а-терпеneола — в 6; 2,3-пинандиола — в 4; трихлорэтилфосфата и карбазола — в 3 раза. В фильтратах снеговой воды в концентрациях более 1 мкг/л определены: толуол, п-ментан (1R, 2R, 3S, 5R)-пинандиол; 1,2,2,3-тетраметил-Зциклопентен-1-ол. Вещества с концентрацией менее 1 мкг/л: ксилолы; полиметилбензолы; нафталин; 2-метилнафталин; 1-метилнафталин; 1,1,3,4-тетраметилциклопентан; п-ментан; этилгексанол; П-цинеол; ангидрид каприловой кислоты; линалоолоксид; линалилоксид; L-камфор; 3,7-диметил-6-ноненаль; П-цимен-8-ол; а-терпинеол; вербенон; бензотиазол4 терпеноид; пентилвиниловый эфир; кислородсодержащее соединение; 3,4,5-триметил-4-гептанол; 2,3-пинандиол; 1,2,2,3-тетраметил-3 циклогептен-1-ол; 5,5-диметил-4-(Зоксобутил)дигидро-2(ЗН)-фуранон; 4-амино-1,5гептандикарбоновая кислота; трихлорэтилфосфат; 4,5-диметил 1,3-диоксан-метанол; карбазол; 7,9-дитретбутил-1-оксаспиро [4.5] дека-6,9-диен-2,8-дион; 4-гидрокси-9-флуоренон; соединение типа диэтил-4-оксогептадиота; ди (2этилгексил) фталат; С12:0 лауриновая кислота; С16:0 пальмитиновая кислота; С18:0 стеариновая кислота.

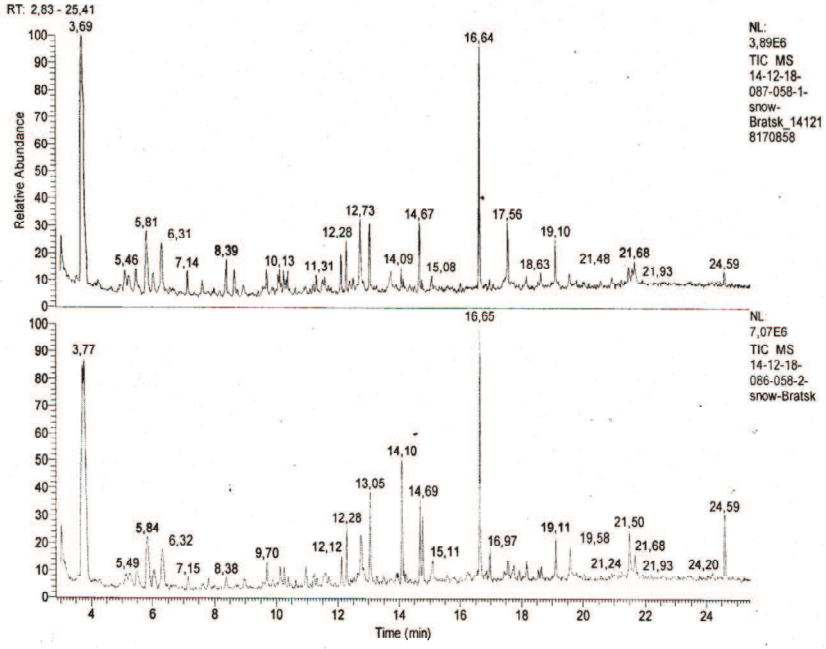

Рис. 2. Масс-хроматограммы по полному ионному току: проба № 1 (верхний рисунок); проба № 2 (нижний рисунок)

Впервые установлено, что в фильтрате снежного покрова в данных точках отбора основную группу веществ составили терпеноиды. Сумма терпеноидов в пробе № 1 — 63,56 мкг/л, в пробе № 2 (по протоколу) — 80,44 мкг/л. Известно [19], что «терпеноиды углеродного состава C_{10} в количественном отношении (по весу, по валу) занимают лидирующее положение среди всех изопреноидов — они являются основными компонентами большинства эфирных масел растений, живицы хвойных. Обычно свободные монотерпены — дос-

таточно летучие вещества с сильным и оригинальным ароматом». К кислородсодержащим терпеноидам пинанового ряда относится вербенон (проба № 1 — 0,18 мкг/л, проба № 2 — 0,08 мкг/л), который является сексферомоном жука короеда (Dendroctonus ponderosae) [19]. В настоящее время изучают влияние кристаллов снега на взаимодействие с ЛОС с целью влияния на уровень солнечной радиации и изменение климата [20], для этого рассматривали взаимодействие ряда ЛОС с искусственными кристаллами льда (снежинками) и установили, что возможно влажное удаление терпеноидов (terpenoids) льдом из атмосферы.

Вопрос об идентификации дурнопахнущего вещества в атмосферном воздухе и его источнике требует дальнейшего исследования. Необходимо учесть много факторов, так, Х. Аалтонен [21] совместно с коллегами указывает, что почва [22] в бореальных лесах также является важным источником ЛОС.

Выводы

Впервые хромато-масс-спектрометрическим методом в фильтрате снежного покрова Братска определены 39 легколетучих органических соединений. Новое дурнопахнущее вещество не идентифицировано по причине отсутствия финансирования. Основную группу веществ составили терпеноиды, входящие в состав эфирных масел сосны. В перспективе возможно выявление специфических маркеров алюминиевого производства, лесопромышленного комплекса или иного производства на основе анализа снежного покрова, например, для более четкого определения зоны воздействия выбросов этих предприятий на селитебной территории Братска и решения вопроса об улучшении качества жизни населения.

Литература

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометео-издат, 1985. 182 с.

2. Братский городской сайт [Электронный ресурс]. Bratsk.org. URL: http://bratsk.org/2014/09/18/accident (дата обращения: 29. 10. 14).

3. Группа «Илим» снова обещает, что братчане не будут чувствовать неприятный запах [Электронный ресурс] // Интернет портал Город. URL: http://tkgorod.ru/news/2905 (дата обращения: 29. 10. 14).

4. Сайт компании «Илим» [Электронный ресурс]. URL: http://www.ilimgroup.ru/press–centre/publications/?id=696 (дата обращения: 29. 10. 2014).

5. РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утв. 16.05.89 г. Гл. гос. сан. врачом СССР; Вед. 01.07.91. М.: Госкомгидромет; М-во здравоохранения СССР, 1991. 693 с.

6. Зеленин К.Н. Органические вещества атмосферы // Соросовский образовательный журн. 1998. № 4. С. 39-46.

7. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. СПб.: Химия, 1992. 287 с.

8. МУК 4.1. 618- 96: метод. указания по хромато-масс-спектрометрическому определению летучих органических веществ в атмосферном воздухе.М.,1996. 32 с.

9. МУК 4.1.598-96: метод. указания по газохроматографическому определению ароматических, серосодержащих, галогенсодержащих веществ, метанола, ацетона и ацетонитрила в атмосферном воздухе. М.,1996. 27 с.

10. ГОСТ Р ИСО 16000-11-2009. Воздух замкнутых помещений. Ч. 11. Определение выделения летучих органических соединений строительными и отделочными материалами. Отбор, хранение и подготовка образцов для испытаний М.,2009. 8 с.

11. ГОСТ 32673–2014. Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.

12. Группа «Илим» начала выпуск товарной беленой хвойной целлюлозы на новой линии в Братске [Электронный ресурс] // Сделано у нас: сайт. URL: http://sdelanounas.ru/blogs/32533/(дата обращения: 29.10.2014).

13. Turan N.G., Akdemir A., Ergun O.N. Emission of Volatile Organic Compounds during Composting of Poultry Litter // Water, Air, and Soil Pollution. 2007. Vol. 184, № 1. P. 177-182.

14. Fernández-Martínez G., López-Mahía P.S., Muniate-gui-Lorenzo, Prada-Rodríguez D., Fernández-Fernández E. Measurement of Volatile Organic Compounds in Urban Air of La Coruña, Spain // Water, Air, and Soil Pollution. 2001. Vol. 129, № 1. P 267-288.

15. Yanzhi C., Weibin P., Fenghuan Wu. Emission Fluxes of Volatile Organic Compounds from Three Heavily Polluted Rivers in Guangzhou, South China // Water, Air & Soil Pollution April 2013. Vol. 224. P.1509.

16. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Мониторинг воздушного загрязнения в районе свиноводческого комплекса [Электронный ресурс] // Материалы VIII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среде «Экоаналитика–2011» и школа молодых ученых, посвященные 300–летию со дня рождения М.В. Ломоносова: тез. докл. 2011. С.189. URL: http://csl.isc.irk.ru/BD/Books/ экоаналитика 2011.pdf (дата обращения: 29. 10. 2014).

17. Bao H., Shrestha K.L., Kondo A., Kaga A., Inoue Y. Modeling the influence of biogenic volatile organic compound emissions on ozone concentration during summer season in the Kinki region of Japan //Atmospheric Environment. 2010. Vol. 3. № 44. P. 421–431.

18. Nishimura H., Shimadera H., Kondo A., Bao H., Shrestha K.L., Inoue Y. Evaluation of light dependence of monoterpene emission and its effect on surface ozone concentration // Atmospheric Environment. 2015. Vol. 104. P. 143–153.

19. Племенков В.В. Химия изопреноидов. Гл. 5. Монотерпены // Химия растительного сырья. 2006. № 1. С. 55-72.

20. Czecha C., Hammera S.M., Bonnb B., Schmidta M.U. Adsorption sites, adsorption enthalpies and potential removal of terpenoids by atmospheric ice // Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. № 3. P. 687–693.

21. Aaltonen H., Pumpanen J., Hakola H., Back J. Snowpack concentrations and estimated fluxes of volatile organic compounds in a boreal forest // Biogeosciences. 2012. Vol. 9, № 6. P. 2033–2044.

22. Cotel S., Schäfer G. Evaluation of VOC fluxes at the soil-air interface using different flux chambers and a quasi-analytical approach// Water, Air & Soil Pollution, November. 2015. Vol. 226.

References

1. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring of snow cover pollution. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 182 p.

2. Bratsk urban site [Elektronnyi resurs]. Bratsk.org. URL: http://bratsk.org/2014/09/18/accident (data obrashcheniya: 29. 10. 14).

3. "Ilim Group" again promises that bratchane will not feel an unpleasant odor [Elektronnyi resurs] // Internet portal Gorod. URL: http://tkgorod.ru/news/2905 (data obrashcheniya: 29. 10. 2014).

4. Site of "Ilim" company [Elektronnyi resurs]. URL: http://www.ilimgroup.ru/press-centre/publications/?id=696 (data obrashcheniya: 29. 10. 2014).

5. RD 52.04.186-89. Guidelines for the Control of atmospheric pollution: utv. 16.05.89 g. Gl. gos. san. vrachom SSSR; Ved. 01.07.91. M.: Goskomgidromet; M-vo zdravookhraneniya SSSR, 1991. 693 p.

6. Zelenin K.N. Organic substances of the atmosphere // Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurn. 1998. № 4. P. 39-46.

7. Isidorov V.A. Organic chemistry of the atmosphere. SPb.: Khimiya, 1992. 287 p.

8. MUK 4.1. 618- 96: method. Instructions of chromatography-mass spectrometric determination of volatile organic compounds in ambient air. M.,1996. 32 p.

9. MUK 4.1.598-96: method. instructions for gas chromatographic determination of aromatic, sulfur, halogenated compounds, methanol, acetone and acetonitrile in the air. M.,1996. 27 p.

10. GOST R ISO 16000-11-2009. Air of the closed rooms. Pt. 11. Determination of release of volatile organic compounds in the construction and finishing materials. The selection, storage and preparation of samples for testing. . M.,2009. 8 p.

11. GOST 32673-2014. Rules for establishing standards and emission controls foul-smelling substances into the atmosphere. Vved. 01.07.2015. M.: Standartinform, 2014. 22 p.

12. "Ilim Group" started production of bleached softwood market pulp on the new line in Bratsk [Elektronnyi resurs] // Sdelano u nas: sait. URL: http://sdelanounas.ru/blogs/32533/(data obrashcheniya: 29. 10. 2014).

13. Turan N.G., Akdemir A., Ergun O.N. Emission of Volatile Organic Compounds during Composting of Poultry Litter // Water, Air, and Soil Pollution. 2007. Vol. 184, № 1. P. 177-182.

14. Fernández-Martínez G., López-Mahía P.S., Muniategui-Lorenzo, Prada-Rodríguez D., Fernández-Fernández E. Measurement of Volatile Organic Compounds in Urban Air of La Coruña, Spain // Water, Air, and Soil Pollution. 2001. Vol. 129, № 1. P. 267-288.

15. Yanzhi C., Weibin P., Fenghuan Wu. Emission Fluxes of Volatile Organic Compounds from Three Heavily Polluted Rivers in Guangzhou, South China // Water, Air & Soil Pollution April 2013. Vol. 224. P.1509.

16. Meisurova A.F., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. Monitoring of air pollution in the area of pig-breeding complex [Elektronnyi resurs] // Materialy VIII Vserossiiskoi konferentsii po analizu ob"ektov okruzhayushchei srede «Ekoanalitika-2011» i shkola molodykh uchenykh, posvyashchennye 300-letiyu so dnya rozhdeniya M.V. Lomonosova: tez. dokl. 2011. P.189. URL: http://csl.isc.irk.ru/BD/Books/ekoanalitika 2011.pdf (data obrashcheniya: 29. 10. 2014).

17. Bao H., Shrestha K.L., Kondo A., Kaga A., Inoue Y. Modeling the influence of biogenic volatile organic compound emissions on ozone concentration during summer season in the Kinki region of Japan // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 3. № 44. P. 421-431.

18. Nishimura H., Shimadera H., Kondo A., Bao H., Shrestha K.L., Inoue Y. Evaluation of light dependence of monoterpene emission and its effect on surface ozone concentration // Atmospheric Environment. 2015. Vol. 104. P. 143-153.

19. Plemenkov V.V. Chemistry of isoprenoids. Ch. 5. Monoterpenes // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2006. № 1. P. 55-72.

20. Czecha C., Hammera S.M., Bonnb B., Schmidta M.U. Adsorption sites, adsorption enthalpies and potential removal of terpenoids by atmospheric ice // Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. № 3. P. 687-693.

21. Aaltonen H., Pumpanen J., Hakola H., Back J. Snowpack concentrations and estimated fluxes of volatile organic compounds in a boreal forest // Biogeosciences. 2012. Vol. 9, № 6. P. 2033-2044.

22. Cotel S., Schäfer G. Evaluation of VOC fluxes at the soil-air interface using different flux chambers and a quasi-analytical approach // Water, Air & Soil Pollution, November. 2015. Vol. 226.