

Анализ переноса воздушных масс от источников эмиссии факельных выбросов по территории Иркутской области с применением модели HYSPLIT

П.А. Бармин

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В исследовании проведен анализ особенностей распространения факельных выбросов от точно установленных источников атмосферной эмиссии в Иркутской области с использованием траекторий переноса воздушных масс, по расчетам с помощью модели HYSPLIT и сервиса «Карта пожаров» от «СКАНЭКС». Выполнены оценки движения факельных выбросов, отмечены доминирующие направления переноса воздушных масс и их распространения по районам Иркутской области. Также проведена оценка влияния природно-географических особенностей региона на распространение факельных выбросов.

Ключевые слова: HYSPLIT, факельные выбросы, PM_{2.5}, PM₁₀, загрязнение атмосферного воздуха, черный углерод, осевшая пыль, Иркутская область.

Введение

Все нефтяные месторождения содержат попутный газ, хотя и в различных количествах. Аналогично тому, как пузырьки появляются при снятии крышки с бутылки газированного напитка, так и попутный газ выделяется при извлечении нефти из глубоких пластов горных пород, в которых она находится. При этом, нефть, богатая углеводородами, является основным продуктом, извлекаемым из недр, а газ, имеющий менее богатый состав, «сопутствует» нефти, как основной цели добычи. Трудностью является дальнейшее применение попутного нефтяного газа (ПНГ) [1]. Технологии, позволяющие перерабатывать ПНГ или утилизировать без вреда для окружающей среды, требуют огромных капитальных вложений, поэтому реализации данных программ не всегда оказываются экономически рентабельным. Иногда выгоднее платить экологические штрафы, чем развивать производство [2].

Сжигание на факелах обычно используется на нефтяных месторождениях, где отсутствует инфраструктура для улавливания

попутного газа. Сжигание ПНГ предпочтительнее прямого сброса, поскольку оно преобразует метан (CH_4) и летучие органические соединения, присутствующие в попутном газе, в диоксид углерода (CO_2), менее мощный парниковый газ, без прямого воздействия на качество воздуха. Однако при неполном сгорании в факелах выделяются мелкодисперсные частицы сажи размером от $\text{PM}_{2.5}$ до PM_{10} , которые наносят вред здоровью и вносят вклад в углеродный след [3,4].

На территории Иркутской области активно развита добыча нефти и газа. В настоящее время основными компаниями, занимающимися добычей углеводородного сырья, являются ПАО «НК» Роснефть», ПАО «Газпром» и ООО «ИНК». Несмотря на то, что на долю Иркутской области в общероссийской добыче приходится лишь 1,1 %, факельные выбросы являются серьезной проблемой для экологии [5]. Помимо того, что сжигание ПНГ - источник парниковых газов, факельные выбросы могут содержать различные токсичные вещества, такие как оксиды азота и серы, а также примеси тяжелых металлов [6]. Определение траекторий распространения факельных выбросов в Иркутской области позволит определить зоны наибольшей опасности и в последующем выработать меры для снижения воздействия на окружающую среду и здоровье людей региона.

Цель исследования

Цель данного исследования - выполнить оценку движения факельных выбросов и отметить доминирующие направления переноса воздушных масс и их распространения по районам Иркутской области. Также провести оценку влияния природно-географических особенностей региона на распространение факельных выбросов.

Район исследования

Географические особенности Иркутской области имеют большое значение для понимания движения воздушных масс региона. Иркутская область расположена в центре Азиатской части России и занимает площадь более 774 тысяч квадратных километров [7]. Рельеф области разнообразен: горные хребты, плато, низменности и долины рек (рис.1).

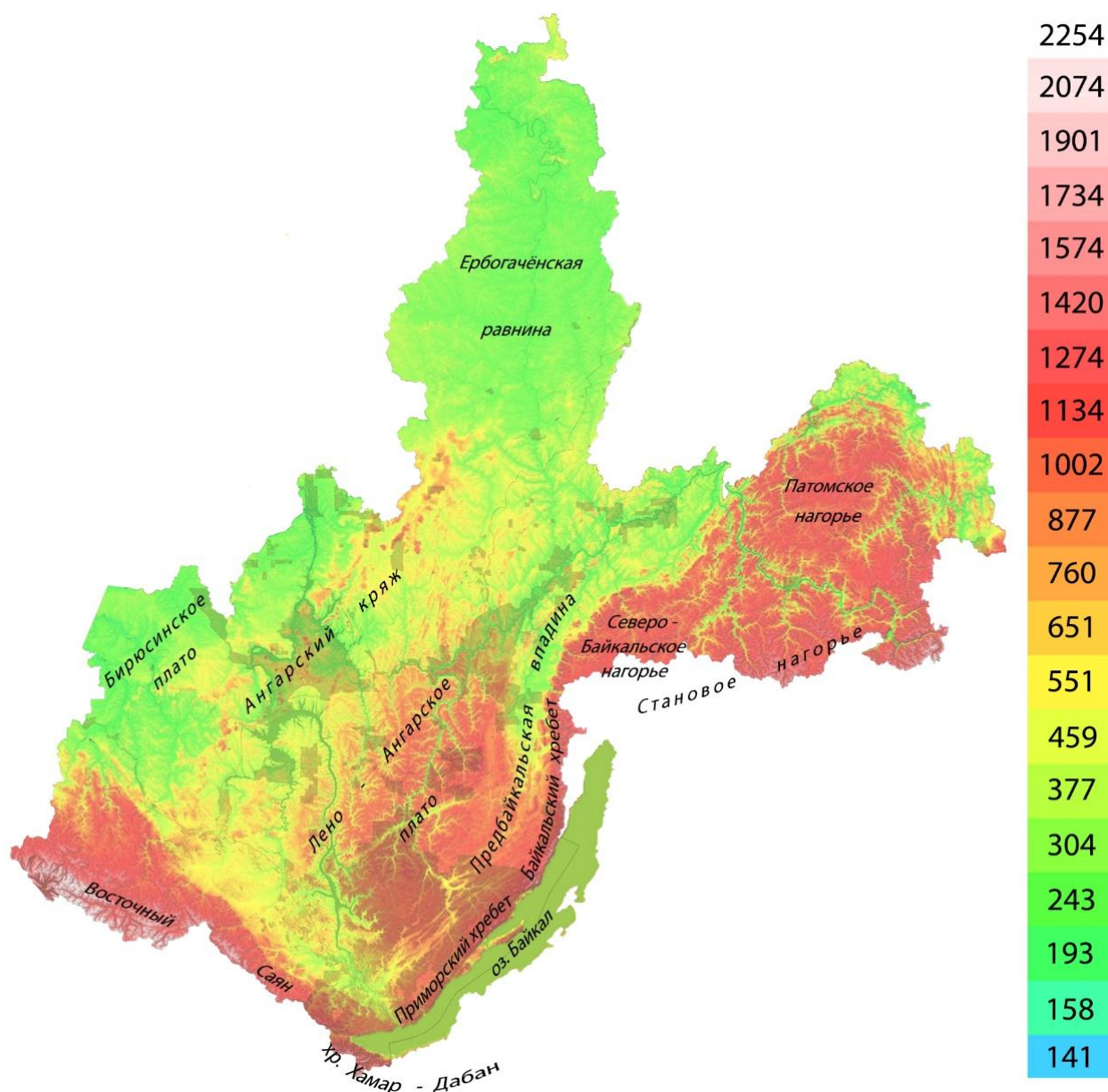


Рис.1. – Карта рельефа Иркутской области.

На территории области расположены несколько горных хребтов, которые оказывают большое влияние на движение воздушных масс. На южных границах области находятся горная система Восточный Саян, который является преградой для западных и северо-западных воздушных ветров с Казахстана и Средней Азии. Теплые воздушные массы из Монголии, двигаются к Югу от хребта Хамар-Дабан, к озеру Байкал. Приморский и Байкальский хребты на своих западных наветренных склонах фиксируют основную влагу поступающих воздушных масс. Само же озеро и его котловина являются регулятором температуры воздуха, «сглаживающим» резко континентальный климат, характерный для Восточной Сибири [8].

Среднесибирскому плоскогорью присуще чередование широких плато и кряжей. Лено-Ангарское и Бирюсинское плато, разделенные Ангарским кряжем, имеют более сухой климат, чем горные хребты, и оказывают меньшее влияние на движение воздушных масс. Низменности и долины рек, такие, как река Ангара и Предбайкальская низменность, приводят к образованию локальных климатических зон [8, 9].

Наиболее жесткий климат отмечается на севере региона, где холодные воздушные массы свободно проникают в Иркутскую область через Ербогачёвскую равнину [8]. Со стороны Забайкалья: Северо-Байкальского, Станового и Патомского нагорья с октября по апрель действует область высокого давления - Азиатский максимум, который «выдавливает» холодные воздушные массы в регион [10].

Материалы и методы

Для изучения направления движения воздушных масс на региональных уровнях и выше требуются применение таких продвинутых инструментов, которые могут совмещать компьютерное моделирование и спутниковые данные. Таким инструментом является HYSPLIT (Hybrid Single-Particle

Lagrangian Integrated Trajectory) - компьютерная модель, которая используется для вычисления траекторий воздушных масс и дисперсии загрязнителей в атмосфере.

Интерактивная модель HYSPLIT представляет собой систему, которая предназначена для решения относительно простых задач расчета траектории выноса и моделирования сложных процессов трансграничного переноса, рассеивания и выпадения аэрозолей и газообразных примесей различного происхождения. HYSPLIT использует данные о погодных условиях и других параметрах, таких, как скорость ветра, температура, давление и влажность, для создания трехмерной модели атмосферы. Алгоритмы расчета представляют собой гибрид эйлера-лагранжевого приближения. Адвекция и диффузия рассчитывается в лагранжевой системе координат, а концентрация – в фиксированных узлах сетки [11, 12]. Перенос и рассеивание примесей рассматривается или как простой выброс облака или как рассеивание кластера частиц. Модель использует предварительно интерполированные в узлы сетки метеорологические данные. Это означает, что программа отслеживает движение каждой частицы загрязнителя в атмосфере, учитывая факторы, влияющие на ее движение такие как скорость ветра, температура, давление и влажность [13].

Расчет концентрации примесей в атмосфере требует задания источника и физических характеристик примеси. Система моделирования представляет собой модульную структуру с пользовательским графическим интерфейсом для установки параметров и запуска модулей для расчета траектории, концентрации и выпадения частиц.

Для точного определения источников атмосферной эмиссии факельных выбросов будут использованы каталог нефтяных месторождений РФ и сервис «Карта пожаров» от «СКАНЭКС». В качестве базовой компоненты сервиса

используется технология, основанная на алгоритме автоматического детектирования пожаров по «тепловым» каналам космической съемки с аппаратов дистанционного зондирования Земли. Система анализирует спутниковые данные, и отмечает на интерактивной карте «термоточки». Наличие «термоточек» на территории нефтяного месторождения из каталога нефтяных месторождений позволяет точно идентифицировать источники факельных выбросов.

Совместное применение модели HYSPLIT и сервиса «Карта пожаров» может использоваться для прогнозирования траектории и распространения выбросов нефтяных факелов объектов нефтегазовой отрасли на различные расстояния от их источника. Это позволяет определить, какие области окружающей среды могут быть подвержены воздействию выбросов.

Сбор и обработка данных

Основными исходными параметрами для просчета траекторий в модели HYSPLIT являются временной диапазон, высоты воздушных масс и координаты источников эмиссии. Временной диапазон был принят методом подбора, исходя из пересечения траекториями движения воздушных масс границ рассматриваемого региона, и варьирует в диапазоне от 24 до 72 часов. Большие временные диапазоны расчёта длительных траекторий приводит к снижению точности получаемых данных [14]. Кроме того, данный временной диапазон обусловлен тем, что практически все газы и другие компоненты сохраняются в атмосфере в неизменном состоянии в течении нескольких суток, далее идет их трансформация, коагуляция и осаждение. Исходя из аналогичных исследований, проведенных ранее, высота воздушных масс над уровнем земли в точке расчета принята 100, 300 и 500 м [13, 14, 15, 16].

Таким образом, на 2022 год было получено по 108 траекторий переноса от контрольных точек в первые дни каждого месяца, собранных во временном диапазоне от 1 до 3 дней (табл.1).

Таблица № 1

Координаты источников факельных выбросов.

№ п/п	Компания	Наименование месторождения, объекта	Широта	Долгота
1	ПАО «НК» Роснефть»	Верхнечорское НГКМ, УПН-1	60.14638	109.09814
2		Верхнечорское НГКМ, КП	59.76957	109.28575
3		Северо-Даниловское НГКМ, КП	59.46425	108.07286
4	ООО «ИНК»/	Ярактинское НГКМ, УПСНГ	57.98310	106.80597
5	АО «ИНК- Запад»	Ярактинское НГКМ, УКПГ №15	58.09424	106.54695
6		Ичёдинское НМ, УПН	57.87175	105.88009
7	ПАО «Газпром»	Ковыктинское ГКМ, КП №201	55.43254	106.03361
8		Ковыктинское ГКМ, КП №107	55.41313	106.12291
9		Ковыктинское ГКМ, КП №106	55.38462	106.12414

Координаты точек и траектории движения воздушных масс переведены в графический редактор и положены на карту районов Иркутской области (рис.2).

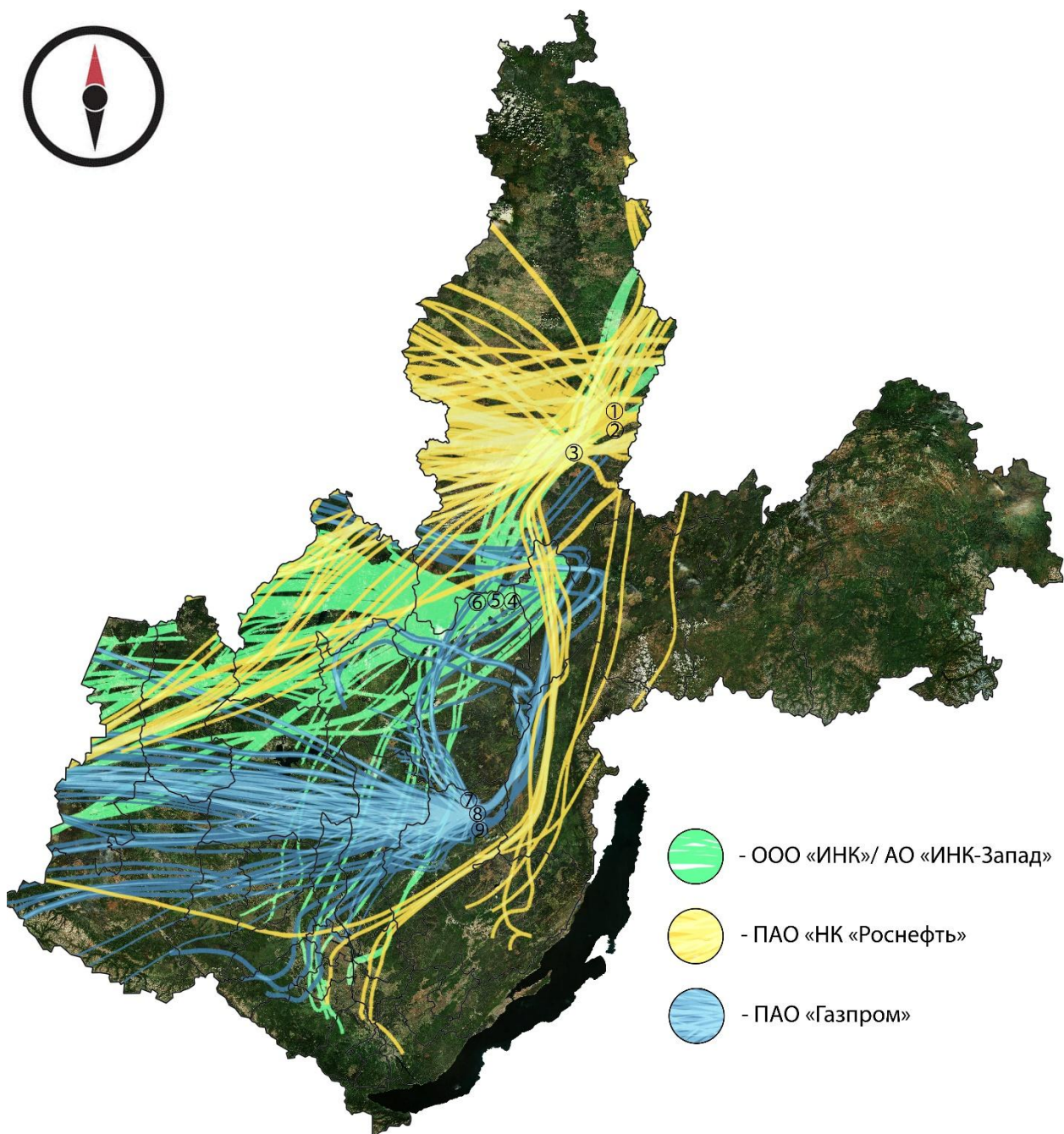


Рис.2. - Траектории движения воздушных масс по территории Иркутской области.

Результаты и обсуждение

С применением траекторной модели HYSPLIT и сервиса «Карта пожаров» проведен анализ характера движения воздушных масс от нефтегазодобывающих объектов Иркутской области и определены основные

направления переноса за 2022 год. Анализ траекторий переноса воздушных по территории региона показал, что особенность циркуляции атмосферы такова, что в установленных точках источников эмиссии факельных выбросов, предположительно, перенос преимущественно будет направлен на запад и северо-запад, в сторону Красноярского края (рис.2).

На территории Иркутской области направление преобладающего ветра и его повторяемость изменяются в больших пределах [17]. Под потенциальным аэрогенным воздействием окажется большая часть западных - равнинных территорий региона. Восточный Саян, Приморский и Байкальский хребты ограждают Иркутскую область с востока до юго-запада образуя подобие «кармана», создающего преграду для движения воздушных масс в сторону Байкала и Монголии [17]. Наложение траекторий воздушных потоков друг на друга образует сплошной цвет, что эквивалентно зонам потенциального воздействия эмиссии (рис.2). Показано, что эмиссии от источников факельных выбросов, согласно данным, полученным при расчётах системой HYSPLIT, преимущественно, потенциально направлены на территории Нижнеилимского, Усть-Илимского, Усть-Удинского, Братского, Чунского и Тайшетского районов.

Заключение

В ходе исследования была выполнена оценка движения факельных выбросов и отмечены доминирующие направления переноса воздушных масс и их распространения по районам Иркутской области. Наибольшая частота прохождения траекторий отмечена на территории западных и северо-западных районов. В зоне наибольшего влияния находятся Катангский, Усть-Кутский и Жигаловский районы, где непосредственно происходит добыча углеводородного сырья. Также было установлено, что горные системы на

востоке и юго-западе региона выступают барьером для движения воздушных масс и, как следствие, распространения эмиссии факельных выбросов.

Литература

1. Ismail O.S., Umukoro G.E. Global Impact of Gas Flaring // Energy and Power Engineering. Ibadan. 2012. V.4. №4. Pp. 290-300. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.
 2. Caseiro A., Gehrke B., Rücker G, Leimbach D., Kaiser J.W. Gas flaring activity and black carbon emissions in 2017 derived from Sentinel-3A SLSTR // Preprint Earth System Science Data Discussions. 2020. V.12. №3. Pp. 2137-2155. URL: essd.copernicus.org/articles/12/2137/2020.
 3. Бармин П.А., Дериченко А.В. Анализ химического состава осевшей пыли вблизи источника факельных выбросов // Инженерный вестник Дона. 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6941.
 4. Bradley M. C., Matthew R. J. Field Measurements of Black Carbon Yields from Gas Flaring // Environmental Science & Technology. Ottawa. 2017. V.51. №3. Pp. 1893-1900. URL: pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b03690
 5. Роговская Н.В., Ипполитова Н.А. Развитие базовых отраслей Иркутской области в территориальной дифференциации общества на постсоветском этапе // Интернет-журнал «Наукоеведение». 2015. Т.7. №4. С. 1-16. URL: naukovedenie.ru/PDF/125EVN415.pdf.
 6. Бармин П.А., Кленин И.С., Азаров В.Н. Загрязнение воздушной среды населенных пунктов мелкодисперсной пылью от факельных выбросов // Социология города. 2021. №2. С. 42—51. URL: elibrary.ru/item.asp?id=46237088.
 7. Коротный Л.М. Географическая энциклопедия Иркутской области. От А до Я // Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. 2019. С. 1 – 199.
-

8. Коновалова Т.И., Левашева М.В. Ландшафты Иркутской области и факторы их преобразования. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2016. Т.15. С. 44-65. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=115.

9. Ипполитова Н.А., Коваленко С.Н., Орел Г.Ф., Роговская Н.В., Тюменцева Е.М., Тюнькова И.А. География Иркутской области. // Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Иркутск. 2013. С. 1-233.

10. Латышева И.В., Лощенко К.А., Шахаева Е.В. Исследование динамики Азиатского антициклона и холодных циркуляционных периодов на территории Иркутской области. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. Иркутск. 2011. Т.4. С. 161-171. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=283.

11. Draxler R.R. Forecasting dust storms using HYSPLIT. The Sino-US Workshop on Dust Storms and Their Effects on Human Health. Raleigh. North Carolina. 2002. Pp. 25-26.

12. Wain A.G., Lee S., Mills G.A., Hess G.D., Cope M., Tindale N. Meteorological overview and verification of HYSPLIT and AAQFS dust forecasts for the dust storm of 22-24 October 2006. Australian meteorological magazine. 2002. V.55. №1. Pp. 35-46.

13. Каипов И.В., Есеркепова И.Б. Моделирование трансграничного переноса загрязнения воздуха в Казахстане с помощью программного комплекса HYSPLIT_48. // Гидрометеорология и экология. Алматы. 2010. №3. С. 78-87. URL: journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/337/353.

14. Василевич М.И., Щанов В.М. Применение траекторного подхода с использованием модели HYSPLIT при оценке переноса воздушных масс от

ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭМИССИИ. // Известия Коми научного центра УрО РАН. Сыктывкар. 2019. №3(39). С. 18-22 URL: izvestia.komisc.ru/images/Archive/2019/39/vasilevich.pdf.

15. Pavese G., Calvello M., Esposito F. Black Carbon and Organic Components in the Atmosphere of Southern Italy: Comparing Emissions from Different Sources and Production Processes of Carbonaceous Particles // Aerosol and Air Quality Research. 2012. V.12. №6. Pp. 1145-1156. URL: aaqr.org/articles/aaqr-11-12-0a-0236.pdf.

16. Бармин П.А., Дериченко А.В., Панжева Л.С., Лупиногин В.В., Лукьяница С.В., Антонов Ф.Г. О влиянии температуры окружающей среды на начальную высоту подъема факельных выбросов // Инженерный вестник Дона, 2022. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/7563.

17. Аргучинцева А.В., Вологжина С.Ж. Климатические особенности рассеивающей способности атмосферы в котловине озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, Иркутск. 2010. Т.3. №5. С. 161-171. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=352.

References

1. Ismail O.S., Umukoro G.E. Global Impact of Gas Flaring. Energy and Power Engineering. Ibadan. 2012. V.4. №4. Pp. 290-300. URL: doi.org/10.1038/sdata.2016.104.

2. Caseiro A., Gehrke B., Rucker G, Leimbach D., Kaiser J.W. Gas flaring activity and black carbon emissions in 2017 derived from Sentinel-3A SLSTR. Preprint Earth System Science Data Discussions. 2020. V.12. №3. Pp. 2137-2155. URL: essd.copernicus.org/articles/12/2137/2020.

3. Barmin P.A., Derichenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6941.

4. Bradley M. C., Matthew R. J. Field Measurements of Black Carbon Yields from Gas Flaring. *Environmental Science & Technology*. Ottawa. 2017. V.51. №3. Pp. 1893-1900. URL: pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b03690
5. Rogovskaya N.V., Ippolitova N.A. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2015. T.7. №4. Pp. 1-16. URL: naukovedenie.ru/PDF/125EVN415.pdf.
6. Barmin P.A., Klenin I.S., Azarov V.N. *Sociologiya goroda*. 2021. №2. Pp. 42—51. URL: elibrary.ru/item.asp?id=46237088.
7. Korytnyj L.M. *Geograficheskaya enciklopediya Irkutskoj oblasti. Ot A do YA* [Geographical encyclopedia of the Irkutsk region. From A to Z]. Izdatel'stvo Instituta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN. 2019. Pp. 1 – 199.
8. Konovalova T.I., Levasheva M.V. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2016. T.15. Pp. 44-65. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=115.
9. Ippolitova N.A., Kovalenko S.N., Orel G.F., Rogovskaya N.V., Tyumenceva E.M., Tyun'kova I.A. *Geografiya Irkutskoj oblasti. [Geography of the Irkutsk region]*. Izdatel'stvo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN. Irkutsk. 2013. Pp. 1-233.
10. Latysheva I.V., Loshchenko K.A., SHahaeva E.V. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. Irkutsk. 2011. T.4. Pp. 161-171. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=283.
11. Draxler R.R. *Forecasting dust storms using HYSPLIT. The Sino-US Workshop on Dust Storms and Their Effects on Human Health*. Raleigh. North Carolina. 2002. Pp. 25-26.
12. Wain A.G., Lee S., Mills G.A., Hess G.D., Cope M., Tindale N. *Meteorological overview and verification of HYSPLIT and AAQFS dust forecasts for the dust storm of 22-24 October 2006. Australian meteorological magazine*. 2002. V.55. №1. Pp. 35-46.



13. Kaipov I.V., Eserkepova I.B. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. Almaty. 2010. №3. Pp. 78-87. URL: journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/337/353.
14. Vasilevich M.I., SHCHHanov V.M. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN*. Syktyvkar. 2019. №3(39). Pp. 18-22. URL: izvestia.komisc.ru/images/Archive/2019/39/vasilevich.pdf.
15. Pavese G., Calvello M., Esposito F. *Black Carbon and Organic Components in the Atmosphere of Southern Italy: Comparing Emissions from Different Sources and Production Processes of Carbonaceous Particles*. *Aerosol and Air Quality Research*. 2012. V.12. №6. Pp. 1145-1156. URL: aaqr.org/articles/aaqr-11-12-oa-0236.pdf.
16. Barmin P.A., Derichenko A.V. , Panzheva L.S., Lupinogin V.V., Luk'yanica S.V. , Antonov F.G. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2022. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/7563.
17. Arguchinceva A.V., Vologzhina S.ZH. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Nauki o Zemle, Irkutsk. 2010. T.3. №5. Pp. 161-171. URL: izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=352.