

Исследование путей переноса выбросов черного углерода от лесных пожаров 2019 года и их влияния на арктический регион

Ревокатова А.П.^{1,2)}, Гинзбург В.А.^{2,3)}, Зеленова М.С.²⁾

¹⁾ ФГБУ «Гидрометцентр России», Россия, 123242, Москва, Большой Предтеченский переулок, д.11-13; revokatova@gmail.com

²⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б; mszelenova@gmail.com

³⁾ ФГБУН Институт географии РАН, Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29; veronika.ginzburg@gmail.com

Аннотация. В работе проанализирована оценка вероятности переноса черного углерода от наиболее сильных пожаров 2019 года с помощью траекторной модели HYSPLIT. Проводился расчет возможных траекторий частиц, выброшенных от 16 самых мощных пожаров, продолжительность которых составляла от суток до 40 дней. Результаты исследования показали, что вероятность переноса частиц в Арктику составляет от 1 до 10%. В единичных случаях она возрастает до 20%. В случае кратковременных пожаров зависимость от синоптической ситуации существенно больше, чем при длительных.

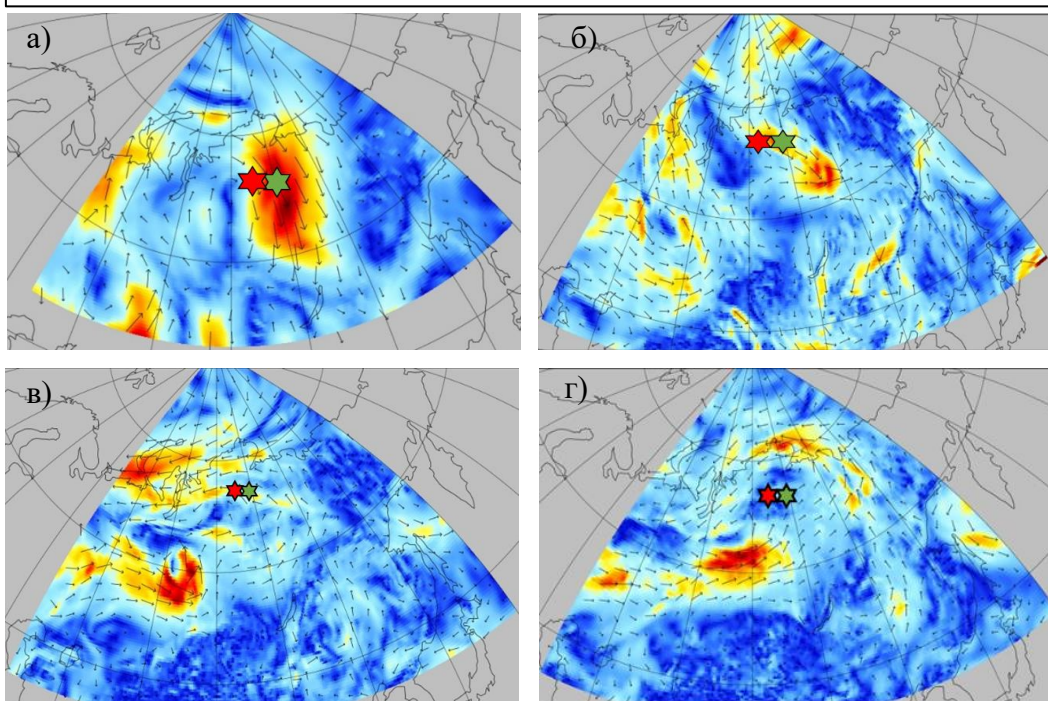
Материалы и методы

Использовалась траекторная модель HYSPLIT, которая является автономной системой, позволяющей рассчитывать траектории, как отдельных частиц воздуха, так и весь комплекс химической трансформации, дисперсии и осаждения частиц. В качестве исходных метеорологических данных мы использовали данные реанализа GDAS (The Global Data Assimilation System).

С помощью модели HYSPLIT рассчитывалась вероятность, с которой частица, вышедшая из точки с заданными координатами, пересечет границу каждой расчетной ячейки (разрешение используемой версии модели 1x1 градус). Для тех пожаров, продолжительность которых составляла более 6 суток, каждый день модель стартовала дважды: в 0 и 12 часов. Продолжительность расчета каждой траектории составляла 5 дней – это оценка примерного времени жизни черного углерода, приведенная в работе (Koch et al., 2009). Таким образом, для пожаров, продолжающихся месяц и более было рассчитано по 62 траектории и далее оценивалась вероятность переноса частицы из зоны возгорания в Арктическую зону. Для коротких пожаров (продолжительностью 1-6 дней), модель стартовала каждые 3 часа: в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 час и запускалась так же на 5 суток. Таким образом, количество траекторий для коротких пожаров, участвующих в расчете вероятности переноса в Арктику, составляло от 8 (для однодневного пожара) до 48 (для шестидневного).

Высота источника была задана равной 1500 метров.

На рисунке 2 представлены карты ветра на изобарической поверхности 850 гПа (что примерно соответствует 1500 м – высоте выброса, задаваемой в модели), полученные из реанализа ERA5 за несколько суток, начиная с 3 июля 2019 года (день начала пожара). Видно, что в первые сутки возгорания на высоте 850 гПа преобладал устойчивый северный ветер со скоростями 25 м/с и более (рис. 2а), на следующий день – 4 июля ветер сменил направление на западное (рис. 2б), и способствовал переносу примесей на восток. В следующие двое суток – 5 и 6 июля наблюдался довольно слабый ветер переменных направлений. 7 июля ветер сменил направление на южное (рис. 2в), 8 июля усилился, на рис. 2г видно, как ведущий поток, проходя через северо-запад Якутии, огибает Таймыр. Эта же траектория видна и на карте распределения вероятностей переноса частиц от пожара №5 (рис. 2а).



★ - пожар №9 ★ - пожар №5

Рисунок 2. Скорость и направление ветра по реанализу ERA5, а) 03.07.2019, б) 04.07.2019, в) 07.07.2019, г) 08.07.2019.

| № | Координаты | Дата начала | Продолжительность, сутки | Высота выброса, м |
|----|------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | 61° 05' 06" с.ш. 99° 07' 52" в.д. | 2.07.2019 | 40 | 1500 |
| 2 | 66° 27' 50" с.ш. 124° 27' 54" в.д. | 12.07.2019 | 37 | 1500 |
| 3 | 60° 50' 42" с.ш. 99° 49' 01" в.д. | 12.07.2019 | 30 | 1500 |
| 4 | 65° 51' 58" с.ш. 123° 33' 07" в.д. | 11.07.2019 | 38 | 1500 |
| 5 | 64° 01' 01" с.ш. 105° 00' 00" в.д. | 3.07.2019 | 2 | 1500 |
| 6 | 64° 31' 37" с.ш. 113° 30' 25" в.д. | 10.07.2019 | 40 | 1500 |
| 7 | 61° 37' 23" с.ш. 98° 17' 06" в.д. | 2.07.2019 | 40 | 1500 |
| 8 | 61° 54' 25" с.ш. 119° 18' 40" в.д. | 17.07.2019 | 14 | 1500 |
| 9 | 65° 36' 50" с.ш. 100° 37' 48" в.д. | 3.07.2019 | 2 | 1500 |
| 10 | 67° 20' 42" с.ш. 137° 13' 41" в.д. | 25.06.2019 | 6 | 1500 |
| 11 | 63° 49' 44" с.ш. 131° 11' 17" в.д. | 22.07.2019 | 18 | 1500 |
| 12 | 69° 11' 20" с.ш. 134° 23' 28" в.д. | 8.06.2019 | 20 | 1500 |
| 13 | 62° 39' 32" с.ш. 121° 13' 59" в.д. | 15.07.2019 | 16 | 1500 |
| 14 | 67° 09' 32" с.ш. 152° 26' 10" в.д. | 13.06.2019 | 19 | 1500 |
| 15 | 63° 20' 35" с.ш. 106° 04' 59" в.д. | 3.07.2019 | 2 | 1500 |
| 16 | 68° 16' 34" с.ш. 136° 47' 38" в.д. | 28.06.2019 | 1 | 1500 |

Координаты, даты и продолжительность наиболее мощных пожаров лета 2019 года

Результаты

Все рассмотренные мощные пожары происходили в Сибири (в основном, в Красноярском крае и Якутии). Во время длительных пожаров (продолжительностью месяц и более) картина распределения вероятности прохождения частицей той или иной траектории сопоставима: наибольшая вероятность в ячейках, расположенных неподалеку от источника, с увеличением расстояния от пожара вероятность переноса снижается до 1-10%, при этом в Арктику доходят единичные траектории (рис. 1а). Некоторые из них доходят даже до Северной Америки, остальные заканчиваются в Восточно-Сибирском, Карском и Лаптевом морях. Вероятность переноса продуктов горения от пожаров продолжительностью 1-2 дня существенно более зависима от синоптической ситуации, которая наблюдается в день пожара (рис. 1а). Например, пожар №5, возникший на востоке Красноярского края в Таймырского автономном округе произошел во время синоптической ситуации, способствующей переносу частиц на юг – в Забайкальский край и Монголию, туда было направлено от 30 до 40% траекторий, от 10 до 20% траекторий имели восточное направление от 1 до 10% дошли до Арктики.

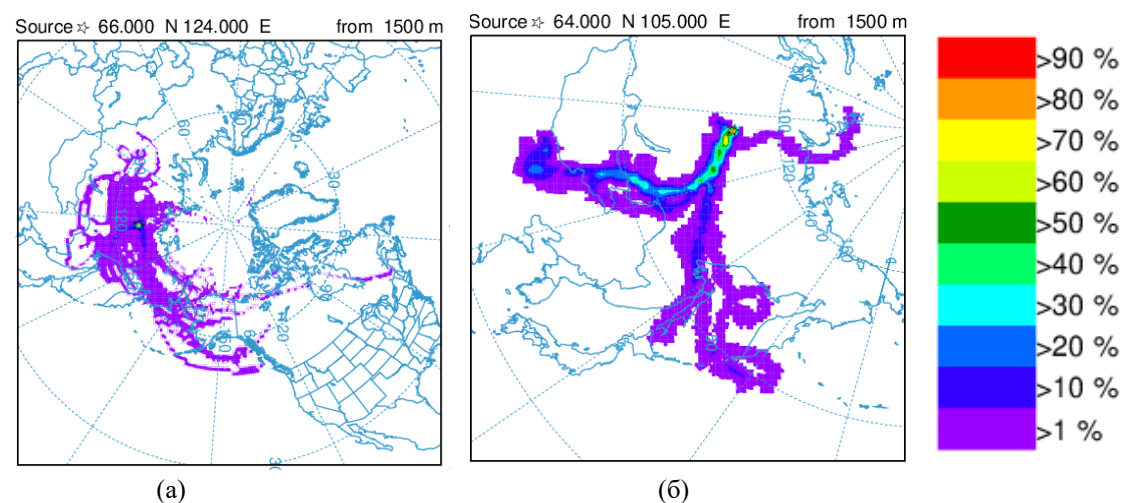


Рисунок 1. Вероятность переноса частиц от пожара №1, рассчитанная за 31 день, начиная с 02.07.2019 00ч (а) и от пожара №5, начиная с 03.07.2019 00ч траектории считались на 5 суток и стартовали каждые 3 часа. (б)

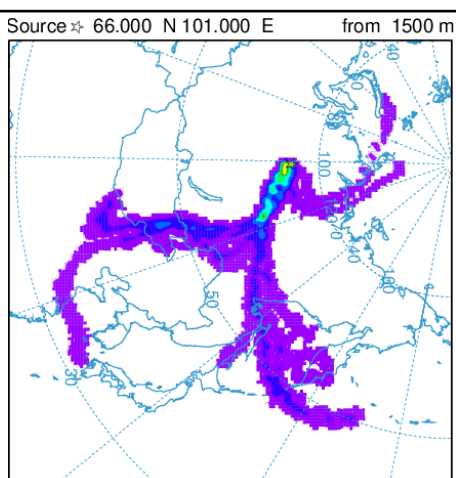


Рис.3. Вероятность переноса частиц от пожара №9

Пожар №9 тоже произошел 3 июля и продолжался всего 2 дня, возгорание произошло немного западнее, чем пожар №5. В целом, карта распределения вероятностей переноса частиц от пожара №9 (рис. 3) похожа на карту распределения траекторий во время пожара №5 (рис. 1б): преобладает три направления переноса: южное, восточное и северное. Но в данном случае на юг и на восток переносится примерно равное количество частиц, что связано, видимо, с более слабыми скоростями северного ветра в первые сутки в месте возгорания (2а).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60183 «Процессы и последствия дальнего атмосферного переноса черного углерода и радионуклидов в Арктике».

Выводы: В ходе работы были проанализированы все 16 наиболее сильных летних пожаров 2019 года. Вероятность переноса частиц в Арктику для продолжительных пожаров (20-40 дней) составляет от 1 до 10%, в единичных случаях (при расположении источника вблизи Арктического побережья и благоприятной синоптической ситуации) эта вероятность возрастает до 20%. Во время коротких, пожаров, продолжительностью 1-2 дня, бывают ситуации, при которых часть горячего материала попадает в Арктический бассейн.

Список литературы

- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
- Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B., (2017). *Real-time Environmental Applications and Display АлГО 94УВ: READY. Environmental Modelling & Software*, 95, 210-228, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>