

УДК 551.586:551.32

## Атмосферное поступление и разнообразие биоаэрозолей в зимних осадках на юге Западной Сибири

Н.А. Курятникова, Н.С. Малыгина, Е.Ю. Митрофанова\*

*Институт водных и экологических проблем СО РАН  
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1*

Поступила в редакцию 13.10.2021 г.

Представлены результаты микроскопического анализа 114 проб твердых атмосферных осадков (снега), отобранных в течение двух холодных периодов (2015/2016 гг. и 2016/2017 гг.) на юге Западной Сибири, на наличие биоаэрозолей. С применением траекторного, синоптического и картографического анализов определены основные районы, с территорий которых с воздушными массами поступали и осаждались пыльцевые зерна и водоросли.

*Ключевые слова:* биоаэрозоль, пыльца, водоросли, твердые атмосферные осадки, Западная Сибирь; bioaerosol, pollen, algae, precipitation (snow), Western Siberia.

### Введение

Биологические аэрозоли (далее «биоаэрозоли») охватывают весь спектр первичных атмосферных органических частиц, продуцируемых биологическими организмами [1]. Находясь в атмосфере, они могут оказывать как прямое, так и косвенное воздействие не только на отдельные элементы, но и на климатическую систему в целом [2]. Прямое влияние связано с тем, что биоаэрозоли могут поглощать и рассеивать свет [3], а также с их гигроскопическими способностями [4]. Косвенное воздействие проявляется через возможность биоаэрозолей, в отличие от минеральных аэрозолей, выступать ядрами конденсации или нуклеации в более широком температурном диапазоне, что позволяет им зачастую превалировать в атмосфере [5, 6]. В настоящее время активно проводят переоценку вклада биоаэрозолей в наблюдаемые (и моделируемые) климатические и экологические изменения, недоучет которых, согласно различным источникам, может достигать 70% [1, 7, 8].

Из всего многообразия биологических аэрозолей выделяют пыльцу и водоросли, которые используют в качестве маркеров атмосферных (включая циркуляционные) процессов, как при прогнозировании, так и при изучении событий прошлого, т.е. при палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях [9, 10]. Использование именно этих биоаэрозолей обусловлено их устойчивостью к изменениям условий окружающей среды: пыльца имеет оболочку из спорополленина, а диатомовые и золотистые водоросли – кремневые панцири и оболочки. Рас-

пространение этих биологических аэрозолей носит преимущественно сезонный характер и зависит от метеорологических параметров, что позволяет различать сезонные изменения их качественного и количественного составов [11]. Именно сезонность необходимо учитывать при исследованиях в регионах с продолжительным залеганием снежного и ледового покровов, препятствующих вегетации (продуцированию пыльцы) и вторичному подъему пыльцевых зерен и водорослей с поверхностей и акваторий. Биоаэрозоли могут активно выступать в качестве ядер конденсации и нуклеации, что убедительно было показано в ряде лабораторных экспериментов [5, 6, 12]. Но необходимость в изучении влияния биоаэрозолей как на облачные системы, так и на формирование атмосферных осадков, особенно в регионах с длительным залеганием снежного и ледового покрова, существует [13, 14]. Ранее натурные исследования атмосферных осадков на наличие пыльцы и водорослей в период, когда был сформирован снежный покров, носили либо эпизодический характер, либо были узко локализованы [15, 16]. Настоящее исследование отражает результаты мониторинга атмосферных осадков в виде снега в течение двух лет (отобрано более 100 проб).

Целью работы стало изучение твердых атмосферных осадков (снега), выпадающих на юге Западной Сибири, на наличие и разнообразие биоаэрозолей (пыльцы и водорослей) и определение районов, с территорий которых они могли поступать.

### Материалы и методики исследования

#### *Отбор проб и пробоподготовка*

Пробы твердых атмосферных осадков (снег) отбирали на стационарной площадке ИВЭП СО РАН (г. Барнаул) в течение двух холодных периодов

\*Наталья Александровна Курятникова (ryabchinnatalia@gmail.com); Наталья Сергеевна Малыгина (natmgn@gmail.com); Елена Юрьевна Митрофанова (emit@iwer.ru).

(с ноября 2015 г. по март 2016 г. и с октября 2016 г. по март 2017 г.) в пробоотборники, вмещающие среднесуточное количество осадков. Всего за два холодных периода было отобрано 114 проб атмосферных осадков (2015/2016 гг. – 31 проба, 2016/2017 гг. – 83 пробы). За холодный период мы приняли временной интервал, когда атмосферные осадки выпадали в твердом виде (снег) и на территории исследования отмечались устойчивые снежный и ледовый покровы. После окончания снегопадов отобранные осадки переносили в герметичные контейнеры (для исключения вторичного попадания пыли и водорослей), в которых их плавил при комнатной температуре. Подготовленные пробы фильтровали через мембранные фильтры с пораи диаметром 0,45 мкм, после чего образовавшийся осадок смывали с фильтров дистиллированной водой для дальнейшего микроскопирования.

### **Микроскопический анализ**

Далее подготовленные препараты анализировали с применением камеры Нажжота объемом 0,05 мл и световых микроскопов Laboval 4 (Carl Zeiss) и Nikon H550L при увеличении в 400 раз. Камера Нажжота позволяет подсчитать количество идентифицированных частиц в заданном объеме. Препараты просматривали регулярно расположенными непрерывными трансектами, перпендикулярно продольной оси препарата. Для идентификации видовой принадлежности использовали традиционные определители [17, 18] и атласы [19, 20], а также международные базы данных [21, 22].

### **Траекторный, синоптический и картографический анализы**

Для идентификации районов, с территорий которых поступали пыльцевые зерна и водоросли, применяли комплексный подход, частично описанный нами в [13], однако ряд параметров был скорректирован. Так, на каждую дату выпадения атмосферных осадков с помощью модели HYSPLIT [23], довольно часто используемой для оценок переноса биологических [24] и других типов аэрозолей [25], рассчитывали обратные траектории движения воздушных масс. Однако вместо стандартных высот (500, 1500 и 3000 м), применяемых в первую очередь при аэробιологических исследованиях [26], мы взяли высоты атмосферного пограничного слоя (АПС) по данным ERA5 [27]. В пределах АПС происходит наиболее активное вовлечение и перенос аэрозолей [28], в том числе и в Западную Сибирь [29]. При этом на верхней границе АПС направления ветра соответствуют направлению изобар [30].

Начало расчета обратных траекторий соответствовало началу выпадения осадков в точке их отбора; для каждого случая временной охват был не менее 96 ч. Для верификации потенциальных источников идентифицированных биоаэрозолей для каждого случая дополнительно анализировали данные об изменении высот геопотенциала, а также направлени-

ях и скоростях ветра по данным NCEP/NCAR [31] для разных высот (1000, 925 и 850 мб).

Дополнительно на каждый день холодного периода анализировали распространение снежного и ледового покровов, которые выступали основными ограничивающими факторами вторичного подъема частиц биологического происхождения с подстилающих поверхностей и акваторий [32]. Кроме того анализировали ареалы распространения идентифицированных таксонов согласно литературным данным и картам [32]. Такой комплексный подход позволяет наиболее достоверно выделить районы, с территорий и акваторий которых в холодный период с воздушными массами заносились пыльцевые зерна и водоросли.

## **Результаты исследования и обсуждение**

### **Пыльца в твердых атмосферных осадках**

Ранее полученные результаты рекогносцировочного микроскопического анализа твердых атмосферных осадков, отобранных в течение холодного периода 2014/2015 гг. на юге Западной Сибири, показали, что только в трех пробах присутствовали пыльцевые зерна четырех таксонов деревьев, а именно *Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp., *Populus* sp. [13]. Микроскопирование 114 проб твердых атмосферных осадков (снега), отобранных в течение двух последующих холодных периодов (2015/2016 гг. и 2016/2017 гг.) на юге Западной Сибири показало гораздо большее таксономическое разнообразие. Так, в 23% проб были идентифицированы не только пыльцевые зерна деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Alnus* sp.) и трав (*Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*), но и водоросли – из отделов золотистых (*Chrysococcus rufescens* Klebs, стоматоцисты хризофитовых) и диатомовых (*Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun., *Encyonema ventricosum* (Ag.) Grun. и *Achnanthydium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki, *Cyclotella* sp. и *Navicula* sp.) (рис. 1). По количеству пыльца деревьев существенно преобладала над пылью трав, что в значительной мере могло быть обусловлено морфологическими особенностями пыльцевых зерен [33].

Пыльца деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp.) и трав (*Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Asteraceae* и *Poaceae*) была выявлена в 35% проб твердых атмосферных осадков, отобранных в течение холодного периода 2015/2016 гг. В общем спектре сезона существенно преобладали древесные (*Betula* sp. – 39% и *Pinus* sp. – 32%), а из травянистых преобладала пыльца представителей сем. *Chenopodiaceae* – 18% (см. рис. 1, а, I). Пыльцевой спектр проб холодного периода 2016/2017 гг. был представлен пыльцевыми зернами как деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Alnus* sp.), так и трав (*Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Asteraceae* и *Poaceae*), выделенными в 15 из 83 отобранных проб (18%) (рис. 1, б, I).

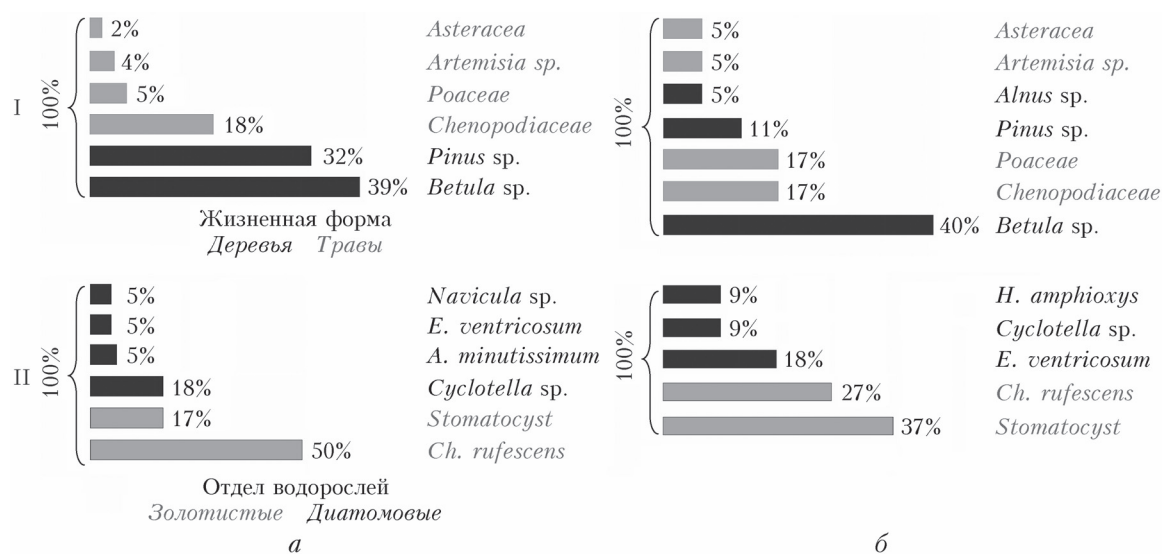


Рис. 1. Таксономическое разнообразие пыльцы (I) и водорослей (II) в пробах атмосферных осадков, отобранных с ноября 2015 г. по март 2016 г. (а) и с ноября 2016 г. по март 2017 г. (б)

### Диатомовые и золотистые водоросли в твердых атмосферных осадках

Максимальное таксономическое разнообразие среди водорослей в течение двух холодных периодов было отмечено в пробах первого из них, когда были выявлены золотистые (*Ch. rufescens*, стоматоцисты с неидентифицированной видовой принадлежностью) и диатомовые (*H. amphioxys*, *E. ventricosum* и *A. minutissimum*, *Cyclotella* sp. и *Navicula* sp.) водоросли с доминированием представителя золотистых *Ch. rufescens* – 50% (рис. 1, а, II). Таксономическое разнообразие водорослей в пробах второго холодного периода было беднее, однако по-прежнему доминировали золотистые водоросли (64%), но с преобладанием стоматоцист (37%) (рис. 1, б, II); среди диатомовых преобладала *E. ventricosum* (18%) (рис. 1, б, II).

Таким образом, в результате микроскопического анализа в пробах твердых атмосферных осадков, отобранных в течение двух холодных периодов, были выделены пыльцевые зерна деревьев и трав, а также золотистые и диатомовые водоросли, т.е. таксономический состав биоаэрозолей был более разнообразным по сравнению с результатами, полученными ранее в ходе рекогносцировочных работ. Так как отбор проб проводили в холодный период с устойчивыми снежным и ледовым покровами и полным отсутствием вегетации, то поступление биологических частиц (пыльцы и водорослей), скорее всего, может быть связано с их заносом с воздушными массами из регионов, где на момент их нахождения подстилающая поверхность была свободна от снежного покрова, а на акваториях водоемов отсутствовал лед.

### Анализ результатов

Для двух анализируемых холодных периодов в целях определения районов, с территорий которых

поступали заносные пыльцевые зерна и водоросли, идентифицированные в пробах, были построены обратные траектории движения воздушных масс для высот, соответствующих высотам АПС по данным ERA5 [27], продолжительностью не менее 96 ч. Полученные обратные траектории движения воздушных масс для дней выпадения атмосферных осадков, в которые были определены биоаэрозоли, сохраняли в двух форматах: «pdf» – для оценки возможности изменения высот, по которым смещались воздушные массы; «kmz» – для последующего сведения траекторий в единый массив на основе Google Earth. Совместный (по двум форматам) анализ обратных траекторий позволил выделить районы, с территорий которых с воздушными массами, обусловившими выпадение атмосферных осадков, поступали и осаждались биоаэрозоли (рис. 2). При этом все рассчитанные траектории верифицировали с привлечением данных о средних скоростях и направлениях ветра и высотах геопотенциала [31].

Дополнительно анализировали карты распространения снежного и ледового покровов [32] и ареалов распространения идентифицированных таксонов высших растений [33], а также географическую приуроченность для водорослей [34], что позволило более точно определить районы, с территорий и акваторий которых заносились пыльцевые зерна и водоросли.

Пыльца *Betula* sp., *Pinus* sp., *Alnus* sp., *Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, а также все диатомовые и большинство золотистых водорослей поступали с воздушными массами, сформированными над некоторыми районами Северо-Казахской равнины, равнинами внутреннего Казахстана и горами Алтая (рис. 2). Визуализация обратных траекторий на основе Google Earth показала, что эти массы проходили и над небольшими мелководными водоемами, которые на тот момент, по данным [31],



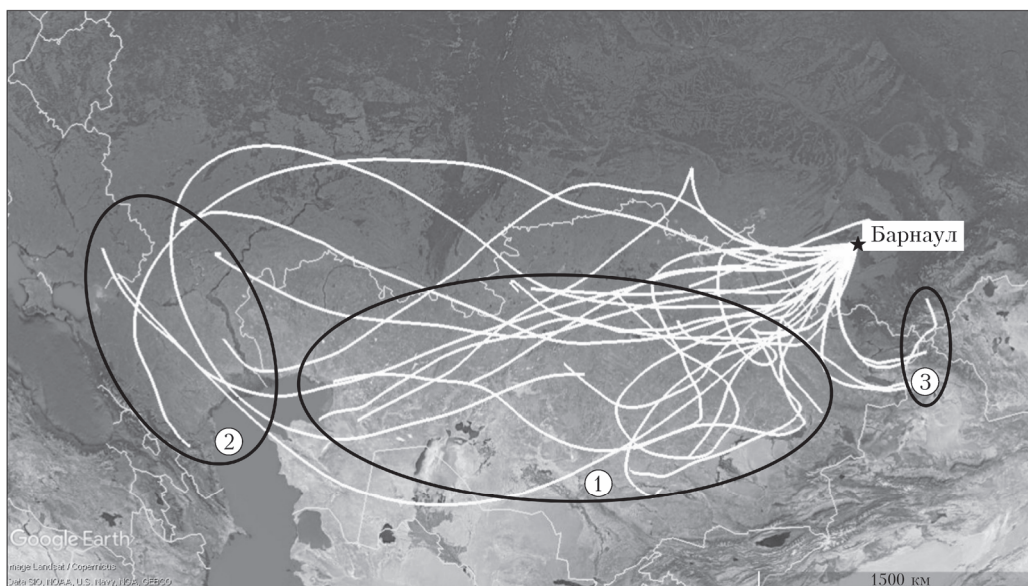


Рис. 2. Обратные траектории движения воздушных масс и основные районы поступления пыли и водорослей с твердыми атмосферными осадками на юг Западной Сибири с ноября 2015 г. по март 2017 г. Условные границы районов поступления: Северо-Казахская равнина и равнины Внутреннего Казахстана (1); юг Восточно-Европейской равнины (2); горы Алтая (3)

были свободны ото льда и могли выступать источниками водорослей. Пыльцевые зерна сем. *Asteraceae*, а также стоматоцисты золотистых водорослей были занесены с территорий и акваторий, расположенных на юге Восточной Европы.

Таким образом, совокупный анализ обратных траекторий движения воздушных масс, построенных для высот АПС, продолжительностью не менее 96 ч и дополнительный синоптический и картографический анализы позволили выделить основные районы, с территорий которых в течение двух холодных периодов на юг Западной Сибири поступали и осаждались с твердыми атмосферными осадками изучаемые биоаэрозоли.

### Заключение

В результате микроскопического анализа в 26 из 114 проб твердых атмосферных осадков, отобранных на юге Западной Сибири в течение двух холодных периодов, было выявлено значительное разнообразие биоаэрозолей, а именно пыли (7 таксонов) и водорослей (7 таксонов). Комплексный анализ данных позволил определить основные районы, с территорий которых поступали воздушные массы, обуславливающие выпадение твердых атмосферных осадков, с которыми осаждались выделенные биоаэрозоли.

Реализованный комплексный подход, включающий событийный отбор проб твердых атмосферных осадков и их микроскопический анализ, построение обратных траекторий движения воздушных масс (модель HYSPLIT) на высотах АПС продолжительностью не менее 96 ч, анализ синоптических ситуаций по данным ERA5 и NCEP/NCAR, анализ карт снежного и ледового покровов, а также ареалов распространения идентифицированных таксонов, позво-

лил определить районы и акватории, с которых с твердыми атмосферными осадками поступали пыльцевые зерна и водоросли.

Основными районами поступления пыльцевых зерен (*Alnus* sp., *Betula* sp., *Pinus* sp., *Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Poaceae*) и водорослей (*Ch. rufescens*, *H. amphioxys*, *E. ventricosum* и *A. minutissimum*, *Cyclotella* sp. и *Navicula* sp.) были Северо-Казахская равнина, равнины Внутреннего Казахстана и горы Алтая, а также расположенные на них мелкие водоемы. Пыльцевые зерна сем. *Asteraceae*, как и стоматоцисты золотистых водорослей, поступали с территорий и акваторий юга Восточной Европы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ХАЦ ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб атмосферных осадков и первичную пробоподготовку.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН, траекторный анализ – в рамках научного проекта РФФИ (№ 19-35-90078), синоптический анализ – в рамках научного проекта РФФИ (№ 19-05-50055).

1. Despres V.R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov A.S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M., Pöschl U., Jaenicke R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: A review // Tellus B. 2012. V. 64. P. 15598. DOI: 10.3402/tellusb.v64i0.15598.
2. Santl-Temkiv T., Šikoparija B., Maki T., Carotenuto F., Amato P., Yao M., Morris C.E., Schnell Russ, Jaenicke R., Pöhlker C., DeMott P., Hill T., Huffman J.A. Bioaerosol field measurements: Challenges and perspectives in outdoor studies // Aerosol Sci. Tech. 2020. V. 54, N 5. P. 520–546. DOI: 10.1080/02786826.2019.1676395.
3. Boucher O., Randall D., Artaxo P., Bretherton C., Feingold G., Forster P., Kerminen V.M., Kondo Y.,

- Liao H., Lohmann U., Rasch P., Satheesh S.K., Sherwood S., Stevens B., Zhang X.Y. Clouds and aerosols // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2013. P. 571–657.
4. Tang M., Gu W., Ma Q., Jie Li Y., Zhong C., Li S., Yin X., Huang R.J., He H., Wang X. Water adsorption and hygroscopic growth of six anemophilous pollen species: The effect of temperature // *Atmos. Chem. Phys.* 2019. V. 19, N 4. P. 2247–2258. DOI: 10.5194/acp-19-2247-2019.
  5. Suski K.J., Hill T.C.J., Levin E.J.T., Miller A., DeMott P.J., Kreidenweis S.M. Agricultural harvesting emissions of ice-nucleating particles // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18, N 18. P. 13755–13771. DOI: 10.5194/acp-2018-348.
  6. Hartmann M., Blunier T., Brügger S.O., Schmale J., Schwikowski M., Vogel A., Wex H., Stratmann F. Variation of ice nucleating particles in the European Arctic over the last centuries // *J. Geophys. Res.* 2019. V. 46, N 7. P. 4007–4010. DOI: 10.1029/2019GL082311.
  7. Pöschl U., Martin S.T., Sinha B., Chen Q., Gunthe S.S., Huffman J.A., Borrmann S., Farmer D.K., Garland R.M., Helas G., Jimenez J.L., King S.M., Manzi A., Mikhailov E., Pauliquevis T., Petters M.D., Prenni A.J., Roldin P., Rose D., Schneider J., Su H., Zorn S.R., Artaxo P., Andreae M.O. Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon // *Science*. 2010. V. 329. P. 1513–1516. DOI: 10.1126/science.1191056.
  8. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, et al. (eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014. 1454 p.
  9. Festi D., Carturan L., Kofler W., Fontana G., Blasi F., Cazorzi F., Bucher E., Mair V., Gabrielli P., Oegg K. Linking pollen deposition and snow accumulation on the Alto dell'Ortles glacier (South Tyrol, Italy) for sub-seasonal dating of a fern temperate core // *Cryosphere*. 2011. V. 11, N 2. P. 937–948. DOI: 10.5194/tc-11-937-2017.
  10. Zaky A., Kachima K., Frontalini F., Ibrahim M., Khalifa M., Fukumoto Y., Gad D., Behling H. Mid-to-late Holocene paleoclimatic changes and paleoenvironmental shifts inferred from pollen and diatom assemblages at Lake Hamra, Wadi El Natrun (Western Nile Delta, North Western Desert, Egypt) // *Quatern. Int.* 2020. V. 542. P. 109–120. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.03.024.
  11. Fang Y., Ma C., Bunting M., Ding A., Lu H., Sun W. Airborne pollen concentration in Nanjing, Eastern China, and its relationship with meteorological factors // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2018. V. 123, N 19. P. 10842–10856. DOI: 10.1029/2018JD029026.
  12. Tesson S.V.M., Šantl-Temkiv T. Ice nucleation activity and aeolian dispersal success in airborne and aquatic microalgae // *Front. Microbiol.* 2018. V. 9. P. 1–14. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02681.
  13. Sahyoun M., Wex H., Gosewinkel U., Šantl-Temkiv T., Nielsen N.W., Finster K., Sørensen J.H., Stratmann F., Korsholm U.S. On the usage of classical nucleation theory in quantification of the impact of bacterial INP on weather and climate // *Atmos. Environ.* 2016. V. 139. P. 230–240. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.05.034.
  14. Hummel M., Hoose C., Pummer B., Schaupp C., Fröhlich-Nowoisky J., Möhler O. Simulating the influence of primary biological aerosol particles on clouds by heterogeneous ice nucleation // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18, N 20. P. 15437–15450. DOI: 10.5194/acp-18-15437-2018.
  15. Малыгина Н.С., Зинченко Г.С., Рябчинская Н.А., Митрофанова Е.Ю. Источники биологических аэрозолей в зимних атмосферных осадках на юге Западной Сибири // *Метеорол. и гидрол.* 2018. № 4. С. 85–93.
  16. Kasprzyk I., Borycka K. Alder pollen concentrations in the air during snowfall // *Int. J. Biometeorol.* 2019. V. 63. P. 1–8. DOI: 10.1007/s00484-019-01781-3.
  17. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1951. № 4. 620 с.
  18. Куликовский М.С., Глуценко А.М., Генкал С.И., Кузнецов И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филлигрань, 2016. 804 с.
  19. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 171 с.
  20. Карпович И.В., Дребезгина Е.С., Еловикова Е.Н., Леготкина Г.И., Зубова Е.Н., Кузьяев П.З., Хисматуллин Р.Г. Атлас пылевых зерен. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2015. 318 с.
  21. URL: <http://www.algaebase.org/> (last access: 6.10.2021).
  22. URL: <https://www.palдат.org/search/A> (last access: 6.10.2021).
  23. URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (last access: 6.10.2021).
  24. Monroy-Colin A., Maya-Manzano J.M., Tormo-Molina R., Pecero-Casimiro R., Gonzalo-Garijo M.A., Fernández-Rodríguez S. HYSPLIT as an environmental impact assessment tool to study the data discrepancies between *Olea europaea* airborne pollen records and its phenology in SW Spain // *Urban For. Urban Green.* 2020. V. 53. P. 126715. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126715.
  25. Ohmeyer K., Ansmann A., Baars H., Seifert P., Barja B., Jimenez C., Radenz M., Teisseire A., Floutsi A., Haarrig M., Foth A., Chudnovsky A., Engelmann R., Zamorano F., Bühl J., Wandinger U. Smoke of extreme Australian bushfires observed in the stratosphere over Punta Arenas, Chile, in January 2020: Optical thickness, lidar ratios, and depolarization ratios at 355 and 532 nm // *Atmos. Chem. Phys.* 2020. V. 20. P. 8003–8015. DOI: 10.5194/acp-20-8003-2020.
  26. Hernández-Ceballos M.A., Skjøth C.A., García-Mozo H., Bolívar J.P., Galán C. Improvement in the accuracy of back trajectories using WRF to identify pollen sources in southern Iberian Peninsula // *Int. J. Biometeorol.* 2014. V. 58. P. 2031–2043.
  27. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5> (last access: 6.10.2021).
  28. Зилинткевич С.С., Тюряков С.А., Троицкая Ю.И., Мареев Е.А. Теоретические модели высоты пограничного слоя атмосферы и турбулентного вовлечения на его верхней границе // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2012. Т. 48, № 1. С. 150–160.
  29. Самойлова С.В., Балин Ю.С., Коханенко Г.П., Пеннер И.Э. Аэрозольные слои тропосферы: однородность в высотном распределении оптических и микрофизических характеристик // *Оптика атмосф. и океана*. 2016. Т. 29, № 12. С. 1043–1049.

30. *Ахметшина А.С.* Инверсии температуры воздуха как фактор, влияющий на уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы: на примере г. Томска: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / А.С. Ахметшина. Томск, 2015. 210 с.
31. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (last access: 6.10.2021).
32. URL: <https://usicecenter.gov/Products/ImHome> (last access: 6.10.2021).
33. *Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР.* М.: Картография, 1983. 340 с.
34. *Баранова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Public Studio, 2006. 498 с.

*N.A. Kuryatnikova, N.S. Malygina, E.Yu. Mitrofanova. Atmospheric input and diversity of bioaerosols in winter precipitation in the south of Western Siberia.*

The results of microscopic analysis of 114 samples of solid atmospheric precipitation (snow) taken during two cold periods (2015/2016 and 2016/2017) in the south of Western Siberia for the presence of bioaerosols are presented. With the use of trajectory, synoptic, and cartographic analyses, the main regions were identified from which pollen grains and algae arrived with air masses and precipitated with atmospheric precipitation.