

Геоэкологические проблемы и природопользование

УДК 582.998.2:551.578.4(571.15)(045)

Н.А. Курятникова, Н.С. Малыгина, Д.В. Золотов

ПЫЛЬЦА ПОЛЫНИ (*ARTEMISIA SP.*) В ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И РАЙОНЫ ЕЕ ПОСТУПЛЕНИЯ

Представлены результаты микроскопического анализа 207 проб твердых атмосферных осадков (снега), отобранных на трех ключевых точках, расположенных в различных природных условиях Алтайского края в период залегания снежного покрова (2019–2020, 2020–2021 гг.). Исследование сфокусировано на определении пыльцы полыни (*Artemisia sp.*), выступающей в роли индикатора состояний как геосистемы в целом, так и отдельных ее компонентов, в частности, криосферных процессов в палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях, а также являющейся сильным аллергеном, т. е. способной оказывать влияние на здоровье человека. В третьей части отобранных проб атмосферных осадков были идентифицированы пыльцевые зерна деревьев и трав, а пыльца полыни была выделена в 20% от этого количества. Для определения районов, откуда она была занесена, применяли комплексный подход, основанный на анализе обратных траекторий движения воздушных масс (HYSPLIT модель) и синоптических условий (реанализы ERA 5 и NCEP/NCAR), а также информации о распространении представителей рода полынь. Такой комплексный подход позволил определить, что пыльца полыни в изучаемые периоды заносилась с воздушными массами, поступавшими с территорий Казахского мелкосопочника.

Ключевые слова: твердые атмосферные осадки, снег, пыльца, полынь, *Artemisia sp.*

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-1-21-30

Первичные биологические аэрозольные частицы (ПБАЧ) являются важным компонентом аэрозоля в нижних слоях атмосферы, куда поступают непосредственно из биосферы, представлены в основном бактериями, спорами грибов и их фрагментами, пылью, вирусами, микроскопическими водорослями, а также другими частицами растительного или животного происхождения [1; 2]. Эмиссия ПБАЧ в атмосферу и их обилие могут быть весьма разнородны, а общие годовые потоки выбросов варьируют в диапазоне от <10 до ~1000 Тг. При этом для пыльцы диапазон составляет 47–87 Тг [1]. ПБАЧ, и в первую очередь пыльца в последнее время вызывает большой научный интерес, так как способна не только оказывать воздействие на различные геосреды, но и выступать индикаторами процессов, происходящих в них [2-8]. Так пыльца, выступая ядрами конденсации, существенно влияет на формирование и свойства облаков, что в свою очередь изменяет радиационный баланс и отражается в гидрологическом цикле и изменениях климата [4; 9-15]. Взвешенные в атмосфере частицы могут оказывать существенное влияние и на организм человека, например, вызывать аллергические реакции [16-18].

Пыльца анемофильных растений, в частности трав, представляет наибольший интерес для изучения, что связано с ее широким распространением, высокой концентрацией в атмосфере и повышенной аллергенностью [19]. Среди всего многообразия пыльцы пыльца полыни (*Artemisia sp.*) наиболее легко идентифицируется, что объясняет ее активное использование в качестве индикатора при оценках состояний геосистем и изучении процессов, происходящих в них, включая палеоклиматические и палеоэкологические реконструкции [20; 21]. Так, по данным снежной и снежно-фирновых толщ ледников Алтая пик концентрации пыльцы *Artemisia sp.* приходился на слои, сформированные в летне-осенние месяцы [22]. Для верификации подобных результатов, включая реконструкции, необходимо сравнивать их с современными данными, отражающими скорость, особенности накопления пыльцы и дальность ее переноса. Имея информацию о дальности переноса пыльцы таксонов, выступающих индикаторами, можно уверенно выделять пыльцевые спектры, свойственные определенным типам растительности, а также более точно проводить реконструкции [23].

При проведении подобных работ важно учитывать и то, что поступление пыльцы может быть круглогодичным, в том числе в холодный период, характеризующийся отсутствием вегетации, отрицательными температурами и залеганием снежного покрова. Чаще всего занос пыльцы в течение холодного периода происходит с адвективными воздушными массами, сформированными над террито-

риями, свободными от снежного покрова. При этом необходимо отдельно рассматривать пыльцевые зерна, циркулирующие в воздухе и осаждающиеся с атмосферными осадками, особенно в холодный период. Важно отметить, что проведенных исследований на наличие пыльцы в атмосферных осадках в настоящий момент еще не так много [24; 25], а часть из них носит эпизодический характер. В этой связи проведение мониторинговых наблюдений за частицами биологического происхождения (пыльцы) в пробах твердых атмосферных осадков, отобранных в течение холодного периода, может быть использовано при реконструкциях, оценках современных процессов, происходящих в геосредах, и при составлении аллергопрогнозов. Именно поэтому целью данного исследования стало изучение твердых атмосферных осадков (снега) на наличие пыльцевых зерен *Artemisia* sp. и определение основных районов их поступления.

Материалы и методы исследований

Район исследования. Пробы твердых атмосферных осадков (снег) отбирали на трех ключевых точках, расположенных в различных природных условиях Алтайского края (рис. 1) в течение двух холодных периодов (с 8 ноября 2019 по 10 марта 2020 гг., с 10 ноября 2020 по 18 марта 2021 гг.), когда на территории исследования и в сопредельных с ней районах (в радиусе 500 км) был сформирован снежный покров, который ограничивал вторичный подъем пыльцевых зерен с подстилающей поверхности.

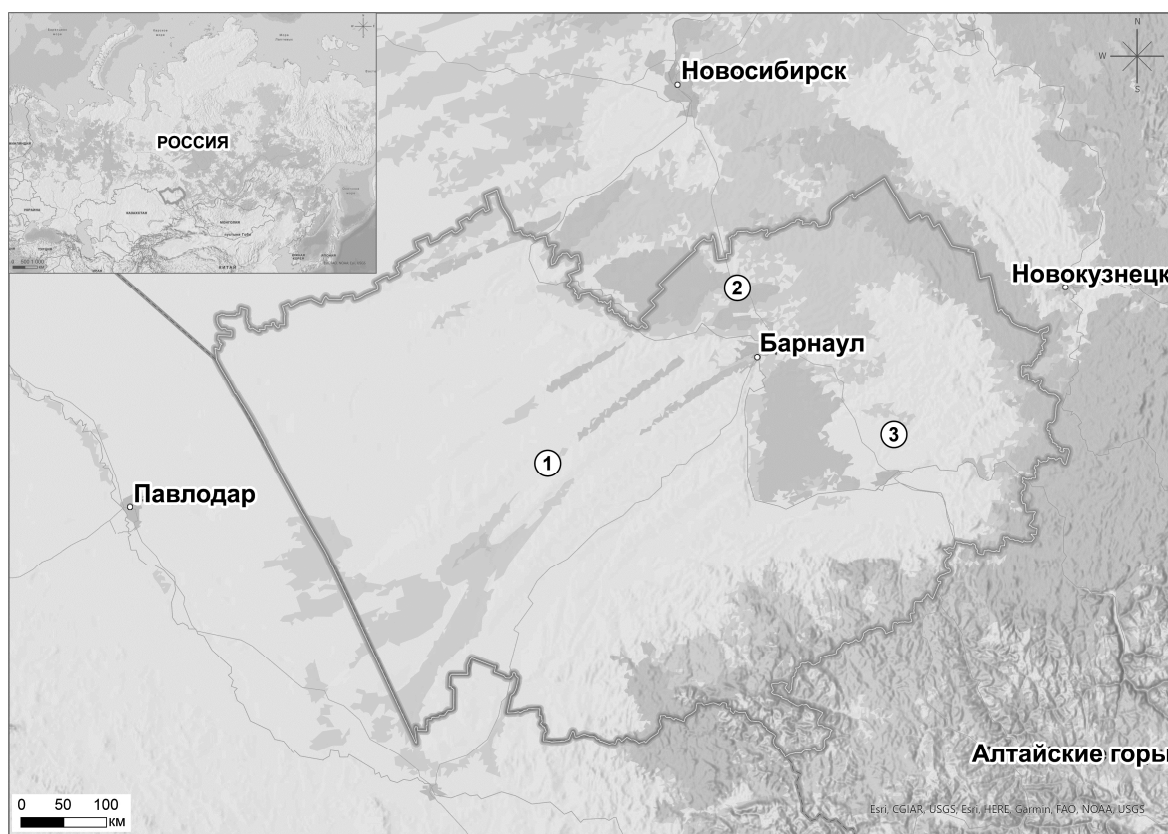


Рис. 1. Местоположение ключевых точек

Для проведения мониторинговых наблюдений были выбраны ключевые точки, расположенные на относительно небольшом расстоянии друг от друга, однако характеризующиеся контрастными синоптическими условиями вследствие дифференциации количества солнечной радиации и режимов циркуляции атмосферы [26].

Ключевая точка № 1 (с. Романово) расположена в подзоне умеренно-засушливой степи степной зоны Алтайского края. Зональная степная растительность почти полностью уничтожена распахкой. По неудобьям сохранились богаторазнотравно-дерновиннозлаковые степи, осиново-березовые колки,

солонцово-солончаковые комплексы, по днищу Касмалинской ложбины древнего стока – сосновые боры и смешанные леса [27; 28].

Ключевая точка № 2 (п. г. т. Тальменка) находится в северо-западной части подзоны средней лесостепи лесостепной зоны Алтайского края. Большая часть зональной лесостепной растительности замещена пашнями. По долинам, логам и балкам распространены луговые разнотравно-злаковые степи и злаково-разнотравные остепненные луга, осиново-березовые балочные леса, настоящие и заболоченные луга, по террасам Оби – сосновые боры и смешанные леса [27; 28].

Ключевая точка №3 (г. Бийск) расположена в юго-восточной части подзоны средней лесостепи лесостепной зоны Алтайского края. Основные площади зональной лесостепной растительности превращены в пахотные земли. В пределах долинно-балочных систем представлены луговые разнотравно-злаковые степи и злаково-разнотравные остепненные луга, осиново-березовые балочные леса, настоящие и заболоченные луга, по террасам Оби – сосновые боры и смешанные леса [27; 28].

Пробоподготовка и микроскопирование. Пробы твердых атмосферных осадков отбирали во время снегопада в предварительно подготовленные цилиндрические пробоотборники объемом, вмещающим количество осадков не менее среднесуточного, которые снимали сразу после окончания снегопада с целью исключения возможного вторичного загрязнения пробы ПБАЧ. Снег из пробоотборников перемещали в стерильные герметичные контейнеры и доставляли в лабораторию для дальнейшей пробоподготовки. Полученные пробы таяли при комнатной температуре и концентрировались методом декантации [29]. Подготовленные образцы просматривали при помощи светового микроскопа Axio Lab.A1 при увеличении в 400 раз. Для определения количественных характеристик использовали камеру Нажотта объемом 0,2 мл, а идентификацию видовой принадлежности выполняли при использовании международных баз данных [30] и атласов [31; 32].

Траекторный и синоптический анализ. Для определения районов, откуда поступали воздушные массы, обуславливающие атмосферные осадки, при помощи модели Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model – HYSPLIT Model [33] были рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс, а в качестве входных параметров использовали данные GFS0p25 (пространственное разрешение 0,25x0,25°). Расчет траекторий выполняли для высот пограничного слоя атмосферы (ПСА), где проходит большинство процессов, в которых задействованы частицы биологического происхождения. В настоящей работе значения высот ПСА были получены из GFS0p25, время рассчитываемых траекторий составляло не менее 5 суток (120 часов), что соответствует продолжительности естественного синоптического периода для территории исследования [34]. Частично данный подход был предложен и реализован нами ранее для территории г. Баранул [35], однако ряд параметров был скорректирован с учетом данных синоптического анализа. Полученные траектории сохраняли в файлах двух типов: pdf – для анализа изменения высот траекторий, и kmz – для комплексного анализа всех траекторий одновременно. Для целей верификации полученных результатов, а именно погодных условий, были проанализированы карты барической топографии и ряд синоптических параметров по данным реанализов ERA 5 [36] и NCEP/NCAR [37].

Результаты и их обсуждение

Микроскопический анализ 207 проб твердых атмосферных осадков, отобранных во время снегопадов на трех ключевых точках за два холодных периода, показал, что в третьей части проб были идентифицированы пыльцевые зерна деревьев (*Alnus* sp., *Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp., *Tilia* sp.) и трав (*Artemisia* sp., *Taraxacum* sp., *Plantago* sp., сем. Asteraceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, Poaceae). В общем пыльцевом спектре среди трав существенно доминировала пыльца полыни (*Artemisia* sp.), выделенная в 20% проб. При этом пыльца полыни в пробах первого холодного периода (2019–2020 гг.) была выделена только в пробах декабря, в то время как во второй холодный период (2020–2021 гг.) – в пробах каждого месяца. Так, в пробах ключевой точки № 1 пыльца полыни была определена только в пробах, полученных в январе и феврале, а для проб ключевой точки № 2 – в ноябре, декабре и феврале (таблица).

Максимально часто пыльца полыни была выделена в пробах, отобранных на ключевой точке № 3, на протяжении всех месяцев проведения мониторинга, кроме декабря.

Вклад пыльцы полыни в спектре отдельной ключевой точки и каждого холодного периода значительно варьировал. Так, максимальный вклад (29 %) был выделен в спектре второго холодного периода ключевой точки № 3, расположенной в подзоне средней лесостепи, а минимальный – 5 %

в спектре ключевой точки № 1, расположенной в подзоне умеренно-засушливой степи. Несмотря на то, что полынь тяготеет к засушливым территориям (степям), вклад полыни в общий пыльцевой спектр ключевой точки № 1 за два холодных периода был минимальным (5–8 %) по сравнению со вкладом в спектры двух других точек. Данный факт можно объяснить местоположением ключевой точки № 1, расположенной на Кулундинской низменности, где отсутствуют значимые орографические барьеры, что позволяет беспрепятственно проходить воздушным массам, не задерживаясь над данной территорией, и как следствие, не отмечается значительное выпадение атмосферных осадков. Данный факт еще раз подчеркивает, что пыльцевые зерна, скорее всего, были занесены с воздушными массами, обусловившими атмосферные осадки, т. к. местная растительность на момент отбора проб была покрыта устойчивым снежным покровом.

Распределение пыльцы полыни по месяцам в пробах за два холодных периода

Ключевая точка	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
2019-2020 гг.					
1		<i>Artemisia</i> sp.			
2		<i>Artemisia</i> sp.			
3		<i>Artemisia</i> sp.			
2020-2021 гг.					
1			<i>Artemisia</i> sp.	<i>Artemisia</i> sp.	
2	<i>Artemisia</i> sp.	<i>Artemisia</i> sp.		<i>Artemisia</i> sp.	
3	<i>Artemisia</i> sp.		<i>Artemisia</i> sp.	<i>Artemisia</i> sp.	<i>Artemisia</i> sp.

Концентрации пыльцы полыни в пробах атмосферных осадков двух исследуемых периодов, полученных на трех ключевых точках, значительно варьировали. Так, максимальная концентрация (252 шт./л) была определена в пробах, отобранных на ключевой точке № 3, расположенной в подзоне средней лесостепи, а наименьшая (13 шт./л) – в пробах ключевой точки № 1, расположенной в подзоне умеренно-засушливой степи, что также соответствует разности и количеству выпадающих атмосферных осадков. Все пыльцевые зерна были идентифицированы в твердых атмосферных осадках, полученных в периоды с устойчивым снежным покровом, который являлся лимитирующим фактором и ограничивал локальный вторичный подъем пыльцевых зерен с подстилающей поверхности. Это, в свою очередь, указывает на то, что выделенные пыльцевые зерна, скорее всего, имели адвективное происхождение, то есть заносились с воздушными массами, обуславливающими атмосферные осадки.

Районы поступления пыльцевых зерен Artemisia sp. Проведенный анализ карт распространения снежного покрова на даты отбора проб показал (<https://www.ecmwf.int/>), что территории ключевых точек исследования и сопредельные с ними районы были покрыты устойчивым снежным покровом, выступавшим лимитирующим фактором и ограничивающим локальный вторичный подъем пыльцевых зерен с подстилающей поверхности. Дополнительно нами было учтено, что свободные от снега территории намного быстрее прогреваются по сравнению с поверхностями со снегом, формируются теплые воздушные массы, и при натекании холодных масс происходит снежная инверсия, характеризующаяся восходящими потоками [38], что способствует вовлечению и атмосферному переносу пыльцы.

Для каждой пробы, в которой были идентифицированы пыльцевые зерна *Artemisia* sp., были рассчитаны единичные обратные траектории движения воздушных масс (HYSPLIT), которые на основе Google Earth были объединены в единый каталог обратных траекторий движения воздушных масс (рис. 2).

Пространственный анализ полученных траекторий показал, что воздушные массы, обуславливающие атмосферные осадки, поступали с территорий Казахского мелкосопочника, которые на момент, когда над ними формировались воздушные массы, были свободны от снежного покрова. Данный факт также подтверждается результатами анализов погодных условий с учетом данных карт барической топографии на различных высотах и скоростей и направлений ветра.

Представители рода полынь играют большую роль в сложении степных фитоценозов, причем их роль увеличивается при движении от лесостепи к полупустыням, где они входят в число доминантов степных и солонцово-солончаковых комплексов. Весьма значительно участие полыней в растительном покрове Казахского мелкосопочника [39].

Рис. 2. Каталог обратных траекторий движения воздушных масс для дат, когда в пробах атмосферных осадков, отобранных на трех ключевых точках, была идентифицирована пыльца полыни

Комплексный подход, включающий мониторинговые наблюдения, микроскопический анализ твердых атмосферных осадков, анализ обратных траекторий движения воздушных масс для высот ПСА, погодных условий (карт барической топографии и данных по скоростям и направлениям ветра), карт распространения снежного покрова и информации о распространении идентифицированного таксона позволил выделить район, с территорий которого в течение двух холодных периодов поступали пыльцевые зерна *Artemisia* sp. Для всех трех ключевых точек исследования таким районом в течение двух холодных периодов был Казахский мелкосопочник.

Заключение

Микроскопический анализ 207 проб твердых атмосферных осадков, отобранных непосредственно во время снегопада в течение двух холодных периодов (с 8 ноября 2019 по 10 марта 2020 гг., с 10 ноября 2020 по 18 марта 2021 гг.) на трех ключевых точках, расположенных в Алтайском крае, показал наличие пыльцы деревьев и трав с существенным доминированием пыльцы *Artemisia* sp., используемой в качестве индикатора оценки состояния геосистем, при палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях, а также являющейся одним из основных аллергенов.

Реализованный комплексный подход, основанный на анализе мониторинговых данных, результатов микроскопических исследований твердых атмосферных осадков, рассчитанных обратных траекторий движений воздушных масс (для высот пограничного слоя атмосферы и продолжительностью не менее 120 часов), синоптических ситуаций (данные реанализов, карт высот барических топографий и распространения снежного покрова), а также разноплановой информации о ареалах произрастания полыни позволил определить и верифицировать район поступления пыльцы полыни. Основными районами поступления пыльцы *Artemisia* sp. являлись территории Казахского мелкосопочника, свободные на момент формирования воздушных масс от снежного покрова.

Полученные результаты указывают на необходимость использования пыльцевых зерен полыни в качестве индикаторов юго-западного атмосферного переноса в холодные периоды в Алтайском крае, что должно быть учтено как при оценках состояний геосистем в целом и отдельных их компонентов, так и при проведении палеореконструкций.

Благодарности

Отбор проб и микроскопирование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-35-90078. Траекторный анализ проводился при частичной поддержке РФФИ № 19-05-50055, синоптический анализ в рамках госбюджетного проекта № 0306-2021-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review / V. R. Després, J. A. Huffman, S. M. Burrows, C. Hoose, A. S. Safatov, G. Buryak, J. Fröhlich-Nowoisky, W. Elbert, M. O. Andreae, U. Pöschl, R. Jaenicke // *Tellus B*. – 2012. – Vol. 64. – P. 15598. – DOI 10.3402/tellusb.v64i0.15598.
2. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions / J. Fröhlich-Nowoisky, C. J. Kampf, B. Weber, J. A. Huffman, C. Pöhlker, M. O. Andreae, N. Lang-Yona, S. M. Burrows, S. S. Gunthe, W. Elbert, H. Su, P. Hoor, E. Thines, T. Hoffmann, V. R. Després, U. Pöschl // *Atmospheric Research*. – 2016. – Vol. 182. – P. 346-376. – DOI 10.1016/j.atmosres.2016.07.018.
3. Sun, J. M. Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review / J. M. Sun, P. A. Ariya // *Atmospheric Environment*. – 2006. – Vol. 40. – P. 795–820. – DOI 10.1016/j.atmosenv.2005.05.052.
4. Physical and chemical characterization of bioaerosols – Implications for nucleation processes / P. A. Ariya, J. Sun, N. A. Eltouny, E. D. Hudson, C. T. Hayes, G. Kos // *International Reviews in Physical Chemistry*. – 2009. – Vol. 28. – P. 1-32. – DOI 10.1080/01442350802597438.
5. Microbiology and atmospheric processes: biological, physical and chemical characterization of aerosol particles / D. G. Georgakopoulos, V. Després, J. Fröhlich-Nowoisky, R. Psenner, P. A. Ariya, M. Pósfai, H. E. Ahern, B. F. Moffett, T. C. J. Hill // *Biogeosciences*. – 2009. – Vol. 6. – P. 721-737. – DOI 10.5194/bg-6-721-2009.
6. Microbiology and atmospheric processes: research challenges concerning the impact of airborne micro-organisms on the atmosphere and climate / C. E. Morris, D. C. Sands, M. Bardin, R. Jaenicke, B. Vogel, C. Leyronas, P. A. Ariya, R. Psenner // *Biogeosciences*. – 2011. – Vol. 8. – P. 17-25. – DOI 10.5194/bg-8-17-2011.
7. Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere / C. E. Morris, F. Conen, J. Alex Huffman, V. Phillips, U. Pöschl, D. C. Sands // *Global Change Biology*. – 2014. – Vol. 20. – P. 341-351. – DOI 10.1111/gcb.12447.
8. Increased duration of pollen and mold exposure are linked to climate change / B. Paudel, T. Chu, M. Chen, V. Sampath, M. Prunicki, K. C. Nadeau // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – P. 12816. – DOI 10.1038/s41598-021-92178-z.
9. Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics / O. Möhler, P. J. DeMott, G. Vali, Z. Levin // *Biogeosciences*. – 2007. – Vol. 4. – P. 1059-1071. – DOI 10.5194/bg-4-1059-2007.
10. In situ detection of biological particles in cloud ice-crystals / K. A. Pratt, P. J. DeMott, J. R. French, Z. Wang, D. L. Westphal, A. J. Heymsfield, C. H. Twohy, A. J. Prenni, K. A. Prather // *Nat. Geosci.* – 2009. – Vol. 2. – P. 397-400.
11. Pope, F. D. Pollen grains are efficient cloud condensation nuclei / F. D. Pope // *Environmental Research Letters*. – 2010. – Vol. 5. – P. 044015. – DOI 10.1088/1748-9326/5/4/044015.
12. Suspendable macromolecules are responsible for ice nucleation activity of birch and conifer pollen / B. G. Pummer, H. Bauer, J. Bernardi, S. Bleicher, H. Grothe // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2012. – Vol. 12. – P. 2541-2550. – DOI 10.5194/acp-12-2541-2012.
13. Overview of ice nucleating particles / Z. A. Kanji, L. A. Ladino, H. Wex, Y. Boose, M. Burkert-Kohn, D. J. Cziczko M., Krämer // *Meteorological Monographs*. – 2017. – Vol. 58. – P. 1.1-1.33. – DOI 10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-16-0006.1
14. Gute, E. Oxidative Processing Lowers the Ice Nucleation Activity of Birch and Alder Pollen / E. Gute, J. P. D. Abbatt // *Geophys. Res. Lett.* – 2018. – Vol. 45. – P. 1647–1653. – DOI 10.1002/2017GL076357.
15. Hung, H. M. Products and mechanisms of the reaction of oleic acid with ozone and nitrate radical / H. M. Hung, Y. Katrib, S. T. Martin // *The Journal of Physical Chemistry A*. – 2005. – Vol. 109. – P. 4517–4530. – DOI 10.1021/jp0500900.
16. Global modeling of primary biological particle concentrations with the EMAC chemistry-climate model / M. Tanarhte, S. Bacer, S. M. Burrows, J. A. Huffman, K. M. Pierce, A. Pozzer, R. Sarda-Estève, N. J. Savage, J. Lelieveld // *Atmospheric chemistry and physics, Discussions*. – 2018. – DOI 10.5194/acp-2018-361.
17. Overview of primary biological aerosol particles from a Chinese boreal forest: Insight into morphology, size, and mixing state at microscopic scale / W. Li, L. Liu, L. Xu, J. Zhang, Q. Yuan, X. Ding, W. Hu, P. Fu, D. Zhang // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 719. – P. 137520. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137520.
18. The effect of biological particles and their ageing processes on aerosol radiative properties: Model sensitivity studies / M. Zhang, A. Khaled, H. Amato, A. Delort, B. Ervens // *Atmospheric chemistry and physics*. – 2020. – Vol. 1. – P. 1-40. – DOI 10.5194/acp-2020-781
19. Polyvalent Mechanical Bacterial Lysate Administration Improves the Clinical Course of Grass Pollen-Induced Allergic Rhinitis in Children: A Randomized Controlled Trial / K. Janeczek, A. Emeryk, M. Rachel, D. Duma, L. Zimmer, E. Poleszak // *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. – 2021. – Vol. 9(1). – P. 453-462. – DOI 10.1016/j.jaip.2020.08.025.
20. Dating of seasonal snow/firn accumulation layers using pollen analysis / F. Nakazawa, K. Fujita, N. Takeuchi, T. Fujiki, J. Uetake, V. Aizen, M. Nakawo // *Journal of Glaciology*. – 2005. – Vol. 51(174). – P. 483-490. – DOI 10.3189/172756505781829179.

21. Linking pollen deposition and snow accumulation on the Alto dell'Ortles glacier (South Tyrol, Italy) for sub-seasonal dating of a firn temperate core / D. Festi, L. Carturan, W. Kofler, G. D. Fontana, F. De Blasi, F. Cazorzi, E. Bucher, V. Mair, P. Gabrielli, K. Oeggl // *Cryosphere*. – 2017. – Vol. 11(2). – P. 937-948. – DOI 10.5194/tc-11-937-2017
22. Nakazawa, F. The alteration in the pollen concentration peak in a melting snow cover / F. Nakazawa, K. Suzuki // *Bulletin of Glaciological Research*. – 2007. – Vol. 25. – P. 1-7.
23. Pollen-based climate reconstruction techniques for late Quaternary studies / M. Chevalier, B. A. Davis, O. Heiri, H. Seppä, B. M. Chase, K. Gajewski, T. Lacourse, R.J. Telford, W. Finsinger, J. Guiot, N. Kühl, S. Y. Maezumi, J. R. Tipton, V. A. Carter, T. V. Brussel, L. N. Phelps, A. Dawson, M. Zanon, F. Vallè, C. J. Nolan, A. Mauri, A. de Verinal, K. Izumi, L. Holmström, J. P. Marsicek, S.J. Goring, P. S. Sommer, M. A. Chaput, D. A. Kupriyanov // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – Vol. 210. – P. 103384. – DOI 10.1016/j.earscirev.2020.103384
24. Sources of Biological Aerosols in Winter Precipitation in the South of Western Siberia / N. S. Malygina, G. S. Zinchenko, N. A. Ryabchinskaya (N. A. Kuryatnikova), E. Yu. Mitrofanova // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2018. – Vol. 43 (4). – P. 264-270. – DOI 10.3103/S1068373918040088.
25. Kasprzyk, I. Alder pollen concentrations in the air during snowfall / I. Kasprzyk, K. Borycka // *International Journal of Biometeorology*. – 2019. – Vol. 63. – P. 1-8. – DOI 10.1007/s00484-019-01781-3.
26. Харламова, Н. Ф. Климат Алтайского региона / Н. Ф. Харламова. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. – 108 с.
27. Винокуров, Ю. И. Ландшафтная индикация в эколого-географических исследованиях / Ю. И. Винокуров, Ю. М. Цимбалеи. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2016. – 258 с.
28. Ландшафтная карта Алтайского края [Карты] / сост. и подгот. к изд. Федеральным гос. бюджетным учреждением науки Ин-т водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН); спец. содерж. разработ. Ю. М. Цимбалеи; под науч. рук. Ю. И. Винокурова; картогр.: Н. Ю. Курепина, С. В. Циликина. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2016. – 1 к. (2 л.): цв., текст, доп. карта; 73x150 см.
29. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
30. PalDat – Palynological Database. – URL: <https://www.paldat.org/search/A> (дата обращения: 29.01.2022)
31. Куприянова, Л. А. Пыльца и споры растений флоры СССР / Л. А. Куприянова, Л. А. Алешина. – Л.: Наука, 1972. – 171 с.
32. Куприянова, Л. А. Пыльца и споры двудольных растений флоры европейской части СССР / Л. А. Куприянова, Л. А. Алешина. – Л.: Наука, 1978 – 174 с.
33. Air Resources Laboratory's. – URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 29.01.2022)
34. Савичев, А. И. Синоптические методы анализа атмосферных процессов / А. И. Савичев. – Л.: ЛПИ, 1980. – 100 с.
35. Курятникова, Н. А. Атмосферное поступление и разнообразие биоаэрозолей в зимних осадках на юге Западной Сибири / Н. А. Курятникова, Н. С. Малыгина, Е. Ю. Митрофанова // *Оптика атмосферы и океана*. – 2022. – Т. 35, вып. 1. – С. 19-24. – DOI 10.15372/AOO20220103.
36. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. – URL: <https://www.ecmwf.int/> (дата обращения: 29.01.2022)
37. Physical Science Laboratory. – URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 29.01.2022)
38. Ахметшина, А. С. Инверсии температуры воздуха как фактор, влияющий на уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы: на примере г. Томска: дис. ... канд. геогр. наук / А. С. Ахметшина. – Томск, 2015. – 210 с.
39. Поляков, П. П. Род Полынь – *Artemisia* L. / П. П. Поляков // *Флора СССР*. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – Т. 26. – С. 425-631.

Поступила в редакцию 10.02.2022

Курятникова Наталья Александровна, ведущий технолог лаборатории биогеохимии

E-mail: ryabchinnatalia@gmail.com

Малыгина Наталья Сергеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник

E-mail: natmgn@gmail.com

Золотов Дмитрий Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

E-mail: dao-poetry@ya.ru

Институт водных и экологических проблем СО РАН

656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

N.A. Kuryatnikova, N.S. Malygina, D.V. Zolotov

POLLEN OF SAGEBRUSH (*ARTEMISIA* SP.) IN SOLID PRECIPITATION OF THE ALTAI KRAI AND AREAS OF ITS SUPPLY

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-1-21-30

The results of microscopic analysis of 207 samples of solid precipitation (snow) collected at three key points located in various natural conditions in the Altai krai during the snow cover period (2019-2020, 2020-2021) are presented. The study focuses on the determination of sagebrush pollen (*Artemisia* sp.) as one of the main indicators of the state of geosystems, cryospheric processes during paleoclimatic and paleoecological reconstructions, and the main allergen. Pollen grains of trees and grasses were identified in the third part of the samples taken, and sagebrush was isolated in 20% of this number of samples. To determine the areas of its supply, an integrated approach based on the analysis of backwards trajectories of air masses movement (HYSPLIT model) and synoptic conditions (ERA 5 and NCEP/NCAR reanalysis) was used. Such an integrated approach made it possible to determine that sagebrush pollen was supplied with air masses coming from the territories of the Kazakh Upland (Kazakhskiy Melkosopochnik).

Keywords: solid atmospheric precipitation, snow, pollen, sagebrush, *Artemisia* sp.

REFERENCES

1. Després V. R., Huffman J. A., Burrows S. M., Hoose C., Safatov A. S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M. O., Pöschl U., Jaenicke R.: Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review, in *Tellus B*, 2012, vol. 64, pp. 15598. DOI 10.3402/tellusb.v64i0.15598.
2. Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C. J., Weber B., Huffman J. A., Pöhlker C., Andreae M. O., Lang-Yona N., Burrows S. M., Gunthe S. S., Elbert W., Su H., Hoor P., Thines E., Hoffmann T., Després V. R., Pöschl U. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions, in *Atmospheric Research*, 2016, vol. 182, pp. 346-376. DOI 10.1016/j.atmosres.2016.07.018.
3. Sun J. M., Ariya P. A. Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review, in *Atmospheric Environment*, 2006, vol. 40, pp. 795–820. DOI 10.1016/j.atmosenv.2005.05.052.
4. Ariya P. A., Sun J., Eltouny N. A., Hudson E. D., Hayes C. T., Kos G. Physical and chemical characterization of bioaerosols – Implications for nucleation processes, in *International Reviews in Physical Chemistry*, 2009, vol. 28, pp. 1-32. DOI 10.1080/01442350802597438.
5. Georgakopoulos D. G., Després V., Fröhlich-Nowoisky J., Psenner R., Ariya P. A., Pósfai M., Ahern H. E., Moffett B. F., Hill T. C. J. Microbiology and atmospheric processes: biological, physical and chemical characterization of aerosol particles, in *Biogeosciences*, 2009, vol. 6, pp. 721-737. DOI 10.5194/bg-6-721-2009.
6. Morris C. E., Sands D. C., Bardin M., Jaenicke R., Vogel B., Leyronas C., Ariya P. A., Psenner R. Microbiology and atmospheric processes: research challenges concerning the impact of airborne micro-organisms on the atmosphere and climate, in *Biogeosciences*, 2011, vol. 8, pp. 17-25. DOI 10.5194/bg-8-17-2011.
7. Morris C. E., Conen F., Alex Huffman J., Phillips V., Pöschl U., Sands D. C. Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere, in *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, pp. 341-351. DOI 10.1111/gcb.12447.
8. Paudel B., Chu T., Chen M., Sampath V., Prunicki M., Nadeau K. C. Increased duration of pollen and mold exposure are linked to climate change, in *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, pp. 12816. DOI 10.1038/s41598-021-92178-z.
9. Möhler O., DeMott P. J., Vali G., Levin Z. Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics, in *Biogeosciences*, 2007, vol. 4, pp. 1059-1071. DOI 10.5194/bg-4-1059-2007.
10. Pratt K. A., DeMott P. J., French J. R., Wang Z., Westphal D. L., Heymsfield A. J., Twohy C. H., Prenni A. J., Prather K. A. In situ detection of biological particles in cloud ice-crystals, in *Nat. Geosci.*, 2009, vol. 2, pp. 397-400.
11. Pope F. D. Pollen grains are efficient cloud condensation nuclei, in *Environmental Research Letters*, 2010, vol. 5, pp. 044015. DOI 10.1088/1748-9326/5/4/044015.
12. Pummer B. G., Bauer H., Bernardi J., Bleicher S., Grothe H. Suspendable macromolecules are responsible for ice nucleation activity of birch and conifer pollen, in *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, vol. 12, pp. 2541-2550. DOI 10.5194/acp-12-2541-2012.
13. Kanji Z. A., Ladino L. A., Wex H., Boose Y., Burkert-Kohn M., Cziczo D. J., Krämer M. Overview of ice nucleating particles, in *Meteorological Monographs*, 2017, vol. 58, pp. 1.1-1.33. DOI 10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-16-0006.1
14. Gute E., Abbatt J.P.D. Oxidative Processing Lowers the Ice Nucleation Activity of Birch and Alder Pollen, in *Geophys. Res. Lett.*, 2018, vol. 45, pp. 1647–1653. DOI 10.1002/2017GL076357.
15. Hung H. M., Katrib Y., Martin S. T. Products and mechanisms of the reaction of oleic acid with ozone and nitrate radical, in *The Journal of Physical Chemistry A*, 2005, vol. 109, pp. 4517-4530. DOI 10.1021/jp0500900.

16. Tanarhte M., Bacer S., Burrows S.M., Huffman J. A., Pierce K. M., Pozzer A., Sarda-Estève R., Savage N. J., Lelieveld J. Global modeling of primary biological particle concentrations with the EMAC chemistry-climate model, in *Atmospheric chemistry and physics, Discussions*, 2018. DOI 10.5194/acp-2018-361.
17. Li W., Liu L., Xu L., Zhang J., Yuan Q., Ding X., Hu W., Fu P., Zhang D. Overview of primary biological aerosol particles from a Chinese boreal forest: Insight into morphology, size, and mixing state at microscopic scale, in *Science of The Total Environment*, 2020. vol. 719, pp. 137520. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137520.
18. Zhang M., Khaled A., Amato H., Delort A., Ervens B. The effect of biological particles and their ageing processes on aerosol radiative properties: Model sensitivity studies, in *Atmospheric chemistry and physics*, 2020, vol. 1, pp. 1-40. DOI 10.5194/acp-2020-781
19. Janeczek K., Emeryk A., Rachel M., Duma D, Zimmer Ł, Poleszak E. Polyvalent Mechanical Bacterial Lysate Administration Improves the Clinical Course of Grass Pollen-Induced Allergic Rhinitis in Children: A Randomized Controlled Trial, in *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 2021, vol. 9(1), pp. 453-462. DOI 10.1016/j.jaip.2020.08.025.
20. Nakazawa F., Fujita K., Takeuchi N., Fujiki T., Uetake J., Aizen V., Nakawo M. Dating of seasonal snow/firn accumulation layers using pollen analysis, in *Journal of Glaciology*, 2005, vol. 51(174), pp. 483-490. DOI 10.3189/172756505781829179.
21. Festi D., Carturan L., Kofler W., Fontana G. D., De 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 firn temperate core, in *Cryosphere*, 2017, vol. 11(2), pp. 937-948. DOI 10.5194/tc-11-937-2017.
22. Nakazawa F., Suzuki K. The alteration in the pollen concentration peak in a melting snow cover, in *Bulletin of Glaciological Research*, 2007, vol. 25, pp. 1-7.
23. Chevalier M., Davis B. A., Heiri O., Seppä H., Chase B. M., Gajewski K., Lacourse T., Telford R. J., Finsinger W., Guiot J., Kühl N., Maezumi S. Y., Tipton J. R., Carter V. A., Brussel T. V., Phelps L. N., Dawson A., Zanon M., Vallè F., Nolan C.J., Mauri A., de Vernal A., Izumi K., Holmström L., Marsicek J.P., Goring S.J., Sommer P.S., Chaput M. A., Kupriyanov D. A. Pollen-based climate reconstruction techniques for late Quaternary studies, in *Earth-Science Reviews*, 2020, vol. 210, pp. 103384. DOI 10.1016/j.earscirev.2020.103384
24. Malygina N. S., Zinchenko G. S., Ryabchinskaya N. A., Mitrofanova E. Yu. Sources of Biological Aerosols in Winter Precipitation in the South of Western Siberia, in *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, vol. 43 (4), pp. 264-270. DOI 10.3103/S1068373918040088.
25. Kasprzyk I., Borycka K. Alder pollen concentrations in the air during snowfall, in *International Journal of Biometeorology*, 2019, vol. 63, pp. 1-8. DOI 10.1007/s00484-019-01781-3.
26. Kharlamova N. F. *Klimat Altayskogo regiona* [Climate of the Altai region], Barnaul: Izd-vo Alt. Univ., 2013, 108 p. (in Russ.).
27. Vinokurov Yu. I., Tsimbaley Yu. M. *Landshaftnaya indikatsiya v ekologo-geograficheskikh issledovaniyakh* [Landscape indication in ecological and geographical research.], Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2016, 258 p. (in Russ.).
28. *Landshaftnaya karta Altayskogo kraya* [Landscape map of the Altai Territory], IVEP SO RAN, 2016, 1 k (2 l) (in Russ.).
29. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems], Abakumov V. A. (ed), St.Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 318 p. (in Russ.).
30. PalDat – Palynological Database at: <https://www.paldat.org/search/A> (accessed 29.01.2022).
31. Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. *Pyl'tsa i spory rasteniy flory SSSR* [Pollen and spores of plants of the flora of the USSR], Leningrad: Nauka Publ., 1972, 171 p. (in Russ.).
32. Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. *Pyl'tsa i spory dvudol'nykh rasteniy flory evropeyskoy chasti SSSR* [Pollen and spores of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR], Leningrad: Nauka Publ., 1987, 174 p. (in Russ.).
33. Air Resources Laboratory's. Available at: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (accessed: 29.01.2022).
34. Savichev A. I. *Sinopticheskie metody analiza atmosferykh protsessov* [Synoptic methods for the analysis of atmospheric processes], Leningrad: LPI Publ., 1980, 100 p. (in Russ.).
35. Kuryatnikova N. A., Malygina N. S., Mitrofanova E. Yu. [Atmospheric input and diversity of bioaerosols in winter precipitation in the south of Western Siberia], in *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2022, vol. 1, pp. 19-24. (in Russ.). DOI 10.15372/AOO20220103.
36. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Available at: <https://www.ecmwf.int/> (accessed: 29.01.2022).
37. Physical Science Laboratory. Available at: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (accessed: 29.01.2022).
38. Akhmetshina A. S. [Air temperature inversions as a factor influencing the level of pollution of the atmospheric boundary layer], Cand. Geogr. Sci. diss., Tomsk, 2015, 210 p. (in Russ.).

39. Polykov P. P. Rod Polyn' – *Artemisia* L. [The genus sagebrush - *Artemisia* L.], in *Flora of the USSR*, Moscow, Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1961, pp. 425-631 (in Russ.).

Received 10.02.2022

Kuryatnikova N.A., leading technologist of the Laboratory of Biogeochemistry

E-mail: ryabchinnatalia@gmail.com

Malygina N.S., Candidate of Geography, Senior Researcher

E-mail: natmgn@gmail.com

Zolotov D.V., Candidate of Biology, Senior Researcher

E-mail: dao-poetry@ya.ru

Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the

Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS)

Molodezhnaya st., 1, Barnaul, Russia, 656038