

Algae-pollen monitoring in Altai Biosphere Reserve (Altai Republic, Russia)

E.Yu. Mitrofanova

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

N.A. Kuriatnikova

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Altai State University

N.S. Malygina

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Altai State University

O. Demberel

Khovd State University

The results of study of primary biological aerosols (pollen and algae spectra) in the precipitation deposited on the territory of the Altai Biosphere Reserve (Altai Republic, Russia) from July to October 2017 are presented. In the analyzed samples, 28 taxa of pollen grains and algae were revealed. Using of the HYSPLIT model the main regions-suppliers of pollen and algae on the area of Altai Biosphere Reserve for the specified period were determined.

Альго -пыльцевой мониторинг в Алтайском биосферном заповеднике (Республика Алтай, Россия)

Е.Ю. Митрофанова¹, Н. А. Курятникова^{1,2}, Н.С. Малыгина^{1,2}, Отгонбаяр Дэмберел³

¹ *Институт водных и экологических проблем СО РАН*

656038, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, E-mail : emit@iwep.ru

² *Алтайский государственный университет*

ул. Ленина, 61, Барнаул, Россия

E-mail : ryabchinnatalia@gmail.com, natmgn@gmail.com

³ *Ховдский государственный университет*

213500, Ховд, Монголия, E-mail : summit_aamo@mail.ru

Представлены результаты исследований первичных биологических аэрозолей (пыльцевые спектры и водоросли) в атмосферных осадках, выпадавших на территории Алтайского биосферного заповедника (Республика Алтай, Россия) с июля по октябрь 2017 года. В проанализированных пробах было интерпретировано 28 таксонов пыльцевых зерен и водорослей. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных с помощью модели HYSPLIT, позволил определить основные регионы поступления пыльцевых зерен и водорослей на территорию Алтайского биосферного заповедника за указанный промежуток времени.

Ключевые слова: Алтайский биосферный заповедник; осадки; альго-пыльцевой спектр; первичные биологические аэрозоли

Введение

Первичные биологические аэрозоли (Primary biological aerosol particles – PBAP) представляют собой группу частиц размерами от нанометров до сотой доли миллиметра, состоящую из микроорганизмов (водоросли, археи, бактерии), дисперсных частиц (споры грибов, пыльца растений) и прочих конкреций биологического происхождения, играющих важную роль во взаимодействии между биосферой и атмосферой и влияющих на климат (Despres et al., 2012; Fröhlich-Nowoisky et al., 2016; Li et al., 2017). PBAP выступают ядрами конденсации, которые способствуют развитию облачности, перераспределению радиационных потоков и увеличению атмосферных осадков, что в значительной мере может повлиять на гидрологический и климатический циклы как в глобальном, так и региональном масштабе (Hoose et al., 2012; Sesartic et al., 2013; Prenni et al., 2013; Tobo et al., 2013; Morris et al., 2014a; Matthew et al., 2017; Tanarhte et al., 2018). Однако, при оценке современных изменений степень влияния PBAP как в атмосфере, так и при их взаимодействии с наземными и водными экосистемами, учитывается не полностью (Solomon et al., 2007; Stocker et al., 2013, Tanarhte et al., 2018).

Первые работы, посвященные исследованию биологических аэрозолей локального происхождения в воздушной среде, были опубликованы в начале XIX века, а начиная с 1990-х годов, эти работы получили прикладной характер и стали использоваться при реконструкциях климатических условий окружающей среды (McLeod, MacDonald, 1997).

Наиболее изученными источниками поступления биологических аэрозолей являются наземные экосистемы (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). Однако горные регионы, занимающие четверть земной поверхности и характеризующиеся климатическим и биологическим разнообразием на незначительно большей территории, требуют более детального изучения. По сравнению с наземными источниками формирования атмосферного аэрозоля водные экосистемы, с одной стороны, находятся под влиянием наземных источников, а с другой – сами являются источниками поступления аэрозольных частиц биологического происхождения (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016).

В Азии горные системы занимают 54% территорий, и в центральной ее части в переходной области от гумидных к более аридным районам расположены Алтайские горы, отличающиеся высоким биологическим разнообразием (Kokorin, 2011). Климат территории имеет хорошо выраженный сезонный характер, на формирование которого оказывают влияние географическое положение и расчлененность рельефа. В результате взаимодействия многих факторов (термических, динамических и орографических), а также преобладания зимой сибирского антициклона, а летом барической депрессии климат территории характеризуется как умеренно-континентальный с холодной зимой и теплым летом. В зимний период господствуют преимущественно континентальные арктические воздушные массы, которые приносят холодный воздух с низкой температурой, а в летнее время влияние оказывает область низкого давления, формирующаяся над Азией.

В современных условиях горные территории, как и равнинные, подвергаются как естественному, так и антропогенному воздействию. В Алтайских горах наименее антропогенно нарушенной территорией является Алтайский государственный природный биосферный заповедник (здесь и далее «Алтайский заповедник») общей площадью 87120,6 км² (в том числе заповедная часть акватории Телецкого озера – 114,1 км²), расположенный на высотах от 434 до 3500 м над уровнем моря. Алтайский заповедник вместе с Телецким озером является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, входящий в список «Global-200» (WWF) — девственных или мало измененных экорегионов мира, в которых сосредоточено 90% биоразнообразия планеты, при этом занимающий одно из первых мест среди российских заповедников по этому показателю. Озеро Телецкое, половина акватории которого входит в состав заповедника, является самым большим по площади и глубине пресноводным озером Алтая, с уникальной экосистемой. Сосредоточение на территории биосферного заповедника

разнообразных водных и наземных экосистем позволяет изучать РВАР на их границе, что может быть эффективно использовано при создании прогнозов регионального изменения климата.

Таким образом, основной целью настоящей работы стало изучение спорово-пыльцевых и альгологических спектров, отобранных в соответствии с требованиями международной программы Pollen Monitoring Programme, и анализ влияния синоптических условий на поступление пыльцы, спор и водорослей с атмосферными осадками в условиях Алтайской горной страны.

Материалы и методы

Располагалась в Северо-Восточном Алтае и имея сложный рельеф с перепадами высот от 434 до 3500 м, разнообразные климатические и естественно-исторические условия, Алтайский заповедник отличается значительным разнообразием растительного покрова – более 1500 видов сосудистых растений, встречаются реликты и эндемики. Наиболее крупными являются семейства сложноцветных – 192 вида, злаковых – 155, осоковых – 106, розоцветных – 97, бобовых – 85 видов (Zolotuhin et al., 1986).

В границах заповедника представлены различные типы наземных экосистем: сибирская тайга, озера, таежные среднегорья и низкогорья, субальпийские и альпийские среднегорья и высокогорья, тундрово-степные высокогорья, тундровые среднегорья и высокогорья, гляциально-нивальные высокогорья (Altajskij gosudarstvennyj biosfernyj zapovdenik, 2019).

Пробы отбирали согласно требованиям международной программы Pollen Monitoring Program в параллельно установленные ловушки Таубера с июля по октябрь 2017 года. Одна группа ловушек была установлена на метеоплощадке Станции Фонового Комплексного Мониторинга Яйлю (СФКМ Яйлю), расположенной на Яйлинской террасе на высоте 40 м над уровнем озера Телецкое на расстоянии 500 метров от уреза воды (Рис. 1). Растительность данной территории представлена разнотравными сенокосными лугами, фруктовым садом и березово-сосново-кедровой растительностью. Вторая группа ловушек была размещена непосредственно над водной поверхностью (2,5-3 метра над поверхностью воды) на расстоянии 2-3 м от берега и приблизительно в 50 км от первой в направлении на юго-восток, на территории гидропоста Кыгинского залива озера (на мостике гидропоста). Прибрежная зона Кыгинского залива также представлена разнотравными сенокосными лугами с вкраплениями березово-сосновой растительности.



Figure 1. Район исследования (1 - Яйлю, 2 Кыгинский залив)

Ловушки снимали в конце вегетационного периода, измеряли объем отобранных проб, помещали в герметичные контейнеры с целью исключения вторичного попадания РВАР. В каждый контейнер с пробами добавляли 40%-ный формалин для прекращения развития микрофлоры и сохранности объектов. Отобранные образцы были доставлены в Институт водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН (г. Барнаул), где в дальнейшем их фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. После чего препараты смывали с фильтров пятью миллилитрами дистиллированной воды для дальнейшего микрокопирования с помощью светового микроскопа Nikon H550L при увеличении в 400 раз. Для удобства использовали счетную камеру Нажотта объемом 0,5 мл. Таксономическую принадлежность пыльцевых зерен и водорослей определяли с помощью определителей, атласов и монографий (Zabelina et al., 1953; Kupriyanova, 1972; Hartley, 1996; Dzyuba, 2005).

Суммарное содержание биологических частиц (пыльца и диатомовые водоросли) в отобранной пробе рассчитывалось по формуле:

$$N = n \times V_1 \times (V_2 \times V_3)^{-1} \times 1000^{-1}$$

где N - количество биологических объектов в отобранной пробе, шт. л⁻¹; n - количество биологических объектов (пыльцевых зерен) в счетной камере, шт.; V₁ - объем концентрированного образца, мл; V₂ - объем отобранной пробы, л; V₃ - объем счетной камеры, мл.

Для более детального анализа пробы высушивали на специальных «столиках» диаметром около

1 см, покрывали золото-палладиевой смесью и просматривали с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N (Япония), что позволяет более точно определять качественный (таксономический) состав.

Результаты исследования и их обсуждение

При микроскопировании проб, отобранных на метеоплощадке СФКМ Яйлю и в Кыгинском заливе, были идентифицированы пыльцевые зерна древесных (*Pinus sylvestris*, *Betula* sp., *Acaciadealbata*, *Populus* sp.), травянистых (*Carex* sp., сем. *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Ranunculaceae*, *Thalictrum*, *Brassicaceae*) растений и кустарничков (сем. *Ericaceae*) (Рис. 2). Необходимо отметить, что все интерпретированные пыльцевые зерна принадлежат анемофильным растениям, пыльца которых имеет ряд морфологических особенностей (наличие воздушных мешков, гладкая экзина\поверхность), что позволяет им переноситься на значительные расстояния.

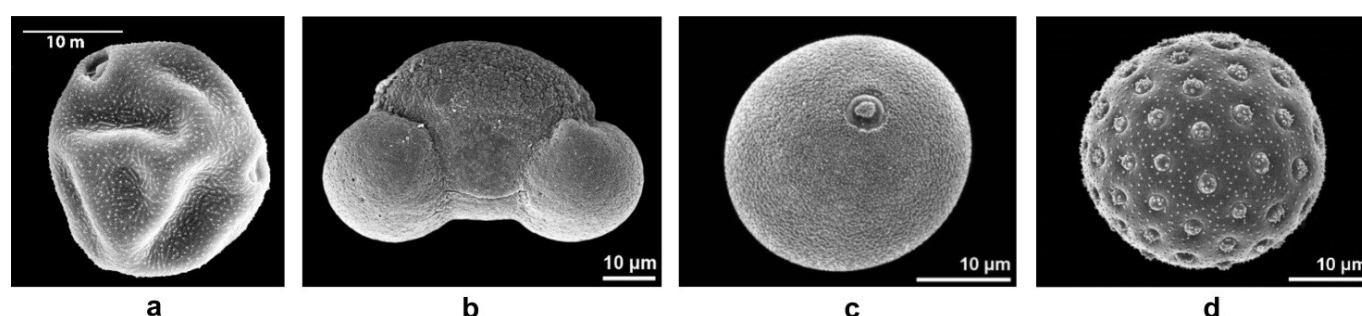


Figure 2. Пыльцевые зерна некоторых растений, выявленных в пробах атмосферных осадков с метеоплощадки СФКМ Яйлю и гидроста в Кыгинском заливе. а - *Betula* sp., б - *Pinus sylvestris*, с - *Poaceae*, d - сем. *Chenopodiaceae*

В пробах, отобранных на метеоплощадке СФКМ Яйлю, существенно превалировала пыльца злаковых (*Poaceae*) – 35% и лютиковых (*Ranunculaceae*) – 22,8%, что в пять и три раза, соответственно, больше, чем в пробе, отобранной в Кыгинском заливе (Табл. 1). При этом в последних пробах пыльца березы составляет примерно четверть пыльцевого спектра, тогда, как в пробе с метеоплощадки СФКМ Яйлю были обнаружены единичные пыльцевые зерна данного таксона. Примерно в равном количестве идентифицирована пыльца *P. sylvestris*, представители сем. *Rosaceae* и *Fabaceae*, а также *Thalictrum*. Пыльцевой спектр проб, отобранных в СФКМ Яйлю, представлен меньшим количеством таксонов и не включает в себя пыльцевые зерна *Acaciadealbata*, *Cares* sp, *Populus* sp. и представители сем. *Chenopodiaceae*, тогда, как в пробах Кыгинского залива не были определены пыльцевые зерна представителей сем. *Brassicaceae* и *Ericaceae*

Таксон	Точка отбора, %	
	Кыгинский Залив	СФКМ Яйлю
<i>Acaciadealbata</i> Link.	9,76	–
сем. <i>Asteraceae</i>	7,32	12,28
<i>Betula</i> sect. <i>Albae</i>	24,39	1,75
сем. <i>Chenopodiaceae</i>	7,32	–
<i>Carex</i> sp.	9,76	–
сем. <i>Fabaceae</i>	4,88	5,26
<i>Pinus sylvestris</i> L.	7,32	7,02
сем. <i>Poaceae</i>	4,88	35,09
<i>Populus</i> sp.	4,88	–

сем. Rosaceae	9,76	7,02
сем. Ranunculaceae	7,32	22,81
Thalictrum sp.	2,44	1,75
сем. Brassicaceae	–	3,51
сем. Ericaceae	–	1,75

Table 1. Состав и процентное соотношение пыльцевых зерен в пробах атмосферных осадков, отобранных на двух точках прителецкой территории в 2017 г. The composition and rate of pollen grains in samples of precipitation, collected at two stations of the near Lake Teletskoye territory in 2017. «–» - не обнаружено

Наряду с пыльцевыми зёрнами при микрокопировании были обнаружены водоросли 14 таксонов из семи отделов, крупных систематических единиц, причем в двух разных точках отбора было выявлено почти одинаковое число таксонов – восемь и десять (Табл. 2).

Таксон	Точка отбора	
	Кыгинский залив (гидропост)	пос. Яйлю (метеоплощадка)
CYANOBACTERIA		
Aphanothececlathrata W. et G.S. West	+	
Gloeocapsaalpina Näg. emend. Brand	+	
G. minuta (Kütz.) Hollerb.	+	
Microcystispulverea (Wood) Forti emend. Elenk.	+	
Неизв. цианобактерии шаровидные	+	
Неизв. цианобактерии эллипсоидные	+	
CHRYSOPHYTA		
Chrysococcusrufescens Klebs	+	
Циста Chrysophyceae	+	+
BACILLARIOPHYTA		
Navicula sp.	+	
CRYPTOPHYTA		
Cryptophyceae sp.	+	
EUGLENOPHYTA		
Trachelomonashispida (Perty) Stein emend. Defl.	+	
CHLOROPHYTA		
Closteriopsisacicularis (G.M. Smith) Belcher et Swale	+	
Sphaerocystisplanktonica (Korsch.) Bourr.	+	
XANTHOPHYTA		
Botrydiopsisarhiza Borzi	+	
Неизв. желто-зеленые шаровидные	+	
Гифы, спорангии и споры водных грибов	+	+
Всего: 14	8	10

Table 2. Список таксонов водорослей в атмосферных осадках, собранных на прителецкой территории в 2017 г. List of algae taxa in atmospheric precipitation collected on the near Lake Teletskoye territory in 2017.

В пробе, отобранной в Кыгинском заливе, в основном были представлены одноклеточные водоросли, только *Microcystis pulverea* из цианобактерий относится к колониальным формам, но клетки его колоний имеют малые размеры (до 1 мкм), что позволяет им переноситься на значительные расстояния. Кроме *M. pulverea* были встречены и другие цианобактерии

больших размеров (до 4 мкм), но определить их видовую принадлежность нам не удалось. Из золотистых водорослей были встречены цисты, или стоматоцисты – покоящиеся стадии представителей данного отдела, шаровидные с гладкой поверхностью. Из диатомовых была обнаружена всего лишь одна створка мелкоклеточной пеннатной формы из р. *Navicula*, которую в водном препарате не определить до вида. Встречена одна жгутиковая форма криптофитовых водорослей, отмечен домик *Trachelomonas* из эвгленовых. В целом, можно с большей долей вероятности утверждать, что выявленные в отобранных пробах Кыгинского залива водоросли могли развиваться в небольших мелководных водоемах, которых много на большой территории бассейна Телецкого озера.

Состав водорослей, выявленный в осадках на террасе Яйлю значительно отличается от такого в Кыгинском заливе. Из цианобактерий здесь были отмечены *Aphanothece clathrata*, *Gloeocapsa alpina* и *G. minuta*. Все это колониальные формы, также как и *M. pulvereae*. Но, если у *A. clathrata* клетки достаточно мелкие, то у видов *Gloeocapsa* диаметр клеток в колонии несколько больше, и часто эти колонии имеют вид пленок на каких-либо субстратах. В воздушные массы они могут попасть при отрыве кусочков пленок от поверхности скал, или при затоплении прибрежных скал в период паводка и отмыывании от субстрата, перехода в планктон и потом попадания в воздушную среду с каплями воды. К широко распространенным видам относится *G. alpina*, которая развивается на влажных скалах. Такие условия вполне можно найти в окрестностях Телецкого озера и на территории его бассейна. Интересно обнаружение *G. minuta*, которая чаще развивается в планктоне болот и солоноватых водоемов, реже – на влажных скалах (Голлербах и др., 1953). Из золотистых водорослей кроме цист были встречены шаровидные домики золотистой водоросли *Chrysococcus rufescens*. Этот мелкоклеточный вид обитает в планктоне различных водоемов на протяжении всего года (Матвиенко, 1954). Отличительной его особенностью является массовое развитие в некоторые периоды года, вследствие чего он, вероятно, может чаще, чем другие виды, захватываться с каплями воды и переноситься по воздуху. Интересно, что цисты были встречены в обеих точках прибрежной территории. В самом озере можно найти разнообразные морфотипы стоматоцист золотистых водорослей, поэтому обнаружение их в атмосферных осадках – вполне логично. Кроме цист в атмосферных осадках и Кыгинского залива, и пос. Яйлю были обнаружены многочисленные гифы, спорангии и споры водных грибов, которые заселили водную среду накопительных емкостей. В пробе были выявлены неопределенные до вида водоросли предположительно их отдела желто-зеленых водорослей, образующих обширные колонии в слизи. В целом, состав водорослей в атмосферных осадках, которые были собраны на террасе пос. Яйлю, разнообразнее по составу. Обнаруженные водоросли вполне могут обитать как в Телецком озере, так и в водоемах его водосборного бассейна, что может свидетельствовать о значительном вкладе местных циркуляционных потоков в попадании микроскопических биологических объектов в атмосферные осадки.

Следует отметить, что в пробах присутствовали не только одноклеточные мелкогабаритные представители водорослевого населения водоемов, но колониальные и ценобиальные формы, которые в принципе не должны переноситься с атмосферными осадками ввиду больших размеров. Вероятнее всего, в пробоотборники попали какие-то инициальные клетки, из которых впоследствии и развились колонии, ценобии и талломы, так как вода в емкостях была, наверное, на протяжении всего периода экспонирования ввиду большого количества осадков. В дополнении к водорослям в пробах также было выявлено большое количество гифов, спорангиев и спор водных грибов. Все это могло развиваться в емкости для сбора атмосферных осадков после попадания в нее спор грибов и единичных клеток водорослей.

Распространение первичных биологических аэрозолей, в частности пыльцы и водорослей, связано в первую очередь с метеорологическими параметрами. Каждый таксон высших растений имеет определенный ритм пыления (суточный, сезонный, годовой), который может варьироваться в зависимости от погодных условий. Например, концентрация пыльцы возрастает при достаточно высокой температуре, а количество осадков способствует ее снижению, но при этом дает импульс развитию водорослей.

Анализ метеорологических условий с июля по октябрь 2017 г. показал, что средняя температура рассматриваемого периода была в пределах климатической нормы 1981-2010 гг. (Рис. 3). Разница среднемесячных температур на 0,2°C была отмечена только в сентябре. Данный факт подтверждает то, что пыление растений происходило согласно фенологическим фазам, характерным для данного региона. Общее количество атмосферных осадков было больше климатической нормы (1981-2010 гг.) на 25% и с июля по сентябрь ежемесячно выпадало больше на 4 мм. В октябре атмосферных осадков было в два раза меньше нормы, но большое количество выпавших ранее осадков могло способствовать накоплению воды в пробоотборниках, что в дальнейшем привело к развитию колониальных и ценобиальных форм, а также спорангиев и спор водных грибов.

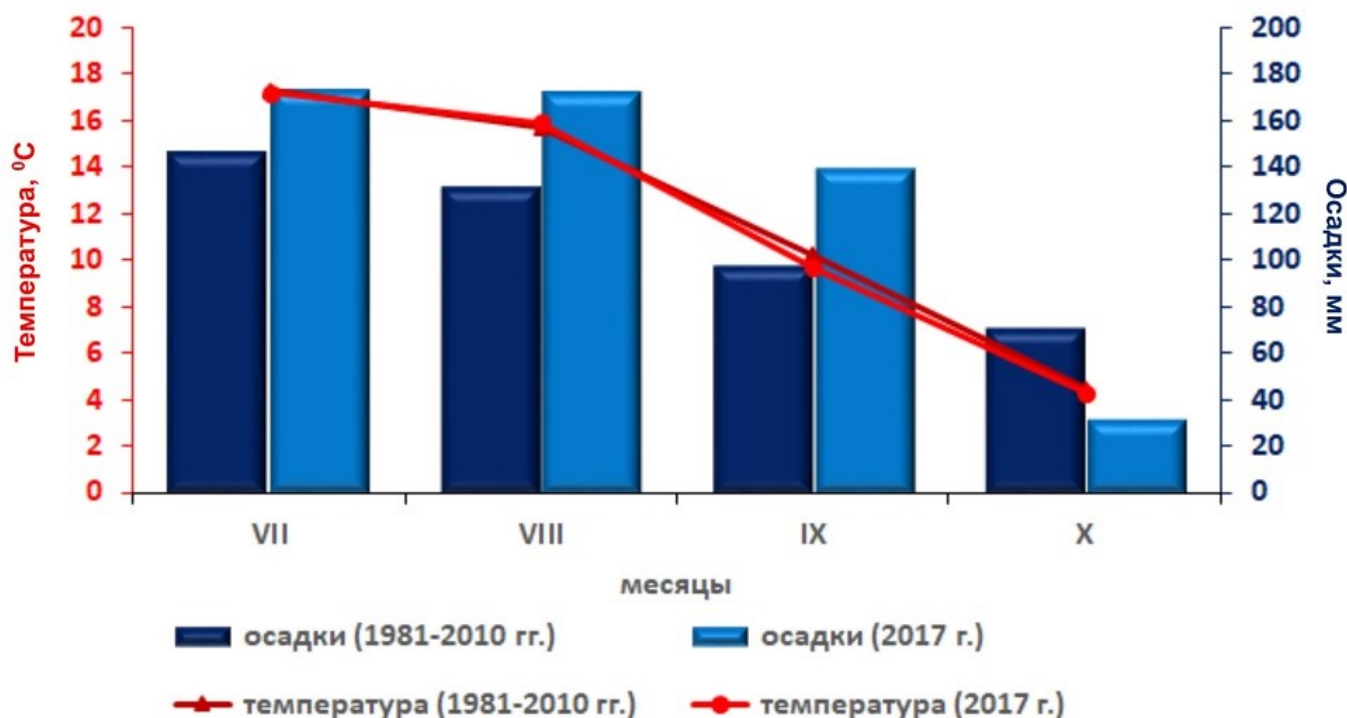


Figure 3. Метеорологические условия периода отбора проб с июля по октябрь 2017 г. и климатические нормы 1981-2010 гг.

Ранее было установлено, что выявленные объекты биологического происхождения (пыльца, водоросли) в атмосферных осадках являются надежными маркерами атмосферных переносов в регионе (Malugin, 2018). В связи с этим, изучение их состава и количества в атмосферных осадках имеет существенное значение при определении основных/превалирующих траекторий движений воздушных масс в тот или иной момент времени. При этом изучение распространения пыльцы и водорослей в атмосферных осадках на локальном уровне может служить дополнением к данным по изучению атмосферного переноса микроэлементов или субмикронных аэрозольных частиц.

Для оценки региональных и локальных источников поступления объектов биологического происхождения с июля по октябрь 2017 г. были построены обратные траектории движения воздушных масс с помощью HYSPLIT модели (Рис. 4). Траектории были рассчитаны с разрешением в 30 дней, каждая новая траектория на дату выпадения осадков строилась через 6 часов (если продолжительность осадков превышала этот временной интервал) на средней высоте 430 метров.

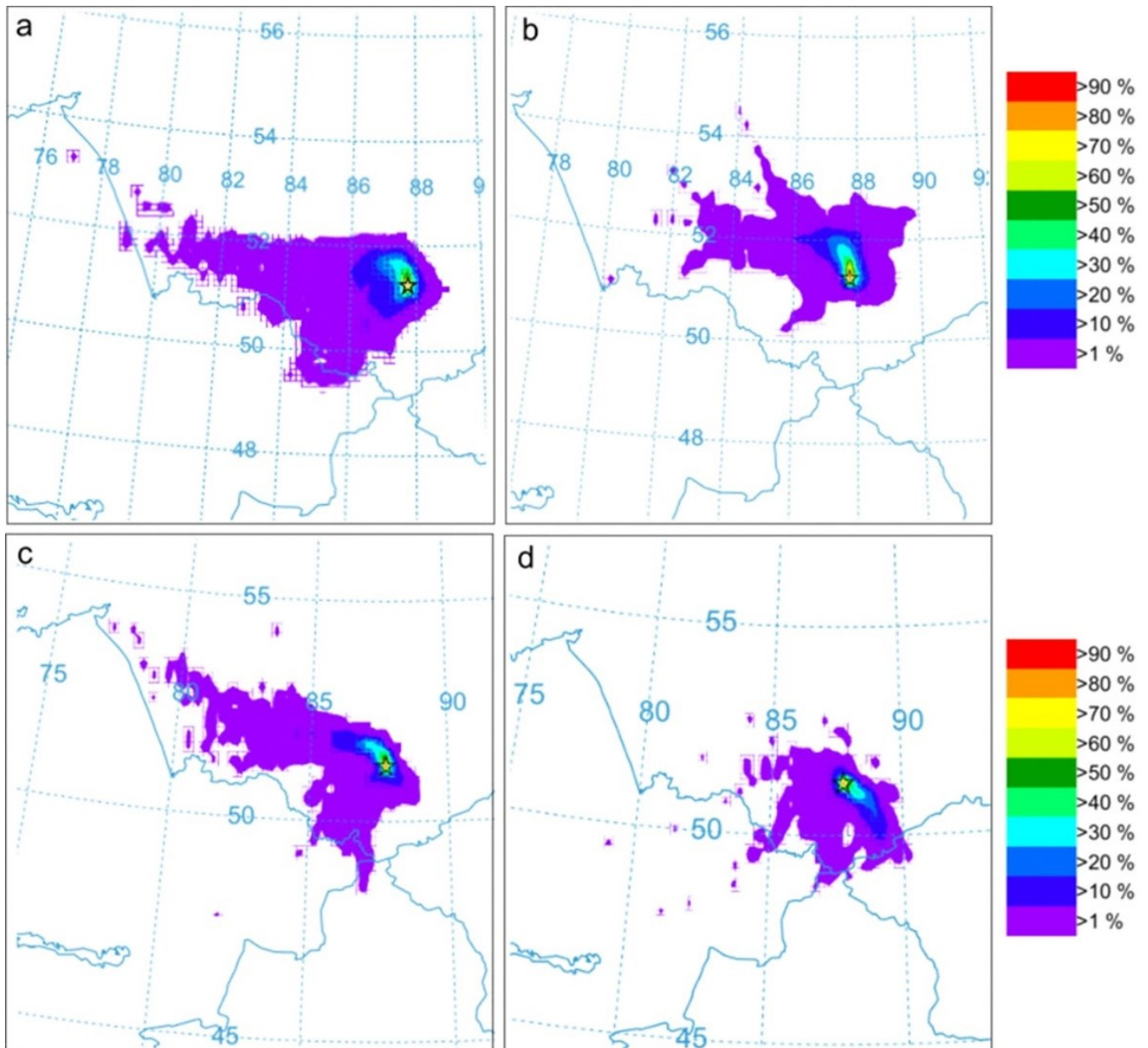


Figure 4. Обратные траектории движения воздушных масс на каждый месяц наблюдений (a – июль, b – август, c – сентябрь, d – октябрь)

Построенные обратные траектории позволили определить направленность движения воздушных масс для каждого анализируемого месяца с выделенным процентным вкладом (см. шкалу на Рис. 4). Наиболее часто в июле воздушные массы имели западную и юго-западную направленность на региональном уровне и северо-западную на локальном. В августе месяце существенный вклад вносили воздушные массы, приходящие с северо-запада и запада. Вклад юго-западной составляющей на региональном уровне усилился в сентябре, на фоне превалирования северо-западной составляющей. На локальном уровне в октябре воздушные массы имели южную и юго-восточную направленность, как и на региональном уровне. В дальнейшем предполагается обозначить для каждого месяца на локальном и региональном уровнях возможные территории, которые могли бы послужить источниками поступления биологических аэрозолей на исследуемую территорию.

Выводы

1. Пыльцевой спектр атмосферных осадков, отобранных с июля по октябрь 2017 г., представлен пыльцевыми зёрнами древесных, травянистых и кустарничковых форм высших растений из 14 таксонов. Наличие пыльцевых зёрен соответствует фенологическим фазам сезона.
2. Альгологический состав отобранных осадков представлен 14 таксонами водорослей из семи отделов.
3. На основе анализа обратных траекторий движения воздушных масс и спорово-пыльцевого анализа атмосферных осадков были определены территории, которые могли послужить источниками поступления биологических аэрозолей в исследуемых пробах.
4. В июле воздушные массы наиболее часто имели западную и юго-западную направленность на региональном уровне и северо-западную на локальном; августе – северо-западную и западную; сентябре – северо-западную с повышением доли юго-западной на региональном уровне; октябре – южную и юго-восточную на локальном и региональном уровнях. В дальнейших исследованиях предполагается определить территории, с которых могли поступать биологические аэрозоли с атмосферными осадками на территорию Алтайского заповедника, что, по мнению авторов, такой подход можно будет применять и в других регионах, в том числе и горных.

Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Asian-Pacific Network for Global Change проект «Climatogenic Transformation of the Alpine Landscapes in Mongolian and Siberian Altai» (CRRP2017-05MY-Demberel). Авторы выражают благодарность сотрудникам СФКМ Яйлю и гидропоста в Кыгинском заливе Телецкого озера за помощь при установке и обеспечении сохранности пробоотборников в течение исследуемого периода 2017 г.

References

- Altajskij gosudarstvennyj biosfernyj zapovdenik. (2019). Available from:
- Despres, V., Huffman, J.A., Burrows, S., Hoose, C., Safatov, A., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andrea M., Pöschl U., & Jaenke R. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64, 15598, DOI: 10.3402/tellusb.v64i0.15598/
- Dzyuba, O. F. (2005). Atlas pyl'cevnyh zeren. Moskva. IGI (in Russian).
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C.J., Weber, B., Huffman, J.A., Pöhlker, C., Andrea M.O., Lang-Yona N., Burrows S.M., Gunthe S.S., Elbert W., Su H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Despres, V., Pöschl, U. (2016). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmospheric Research*, 182, 346-376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.018>
- Gollebah M.M., Kosinskaya E. K., Polyanskij V. I. (1953). Sinezelenye vodorosli. (Opredelitel presnovodnyh vodoroslej SSSR, vyp. 2). Moscow. Sovetskaya nauka (in Russian).
- Hartley, B. (1996). An Atlas of British Diatoms. Biopress Ltd.
- Hoose, C., Möhler, O. (2012) Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: a review of

results from laboratory experiment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 9817-9854. DOI: 10.5194/acp-12-9817-2012

Kokorin, A. (2011). Climate change and its impacts on ecosystems, the population and economy of the Russian part of the Altai-Sayan Ecoregion. WWF, Moscow, Russia (in Russian).

Kupriyanova, L.A., Aleshina, L.A. (1978). *Pyl'ca dvudol'nyh rastenij flory evropejskoj chasti SSSR*. Leningrad. Nauka (in Russian).

Li, F., Zhao, Ya., Gaillard, M., Li, H., Sun, J., Xu, Q. (2017) Modern pollen-climate relationships in north Xinjiang, northwestern China: Implications for pollen-based reconstruction of Holocene climate. *The Holocene*, 27, 951-966. DOI: 10.1177/0959683616678464

Matthew M.C., Steiner A.L. (2017). A prognostic pollen emissions model for climate models (PECM1.0). *Geoscientific Model Development*, 10, 4105-4127. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4105-2017>

Matvienko, A.M. (1954). *Zolotistye vodorosli. (Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR; vyp. 3)*. Moscow. Sovetskaya nauka (in Russian).

McLeod, T. K., MacDonald, G. M (1997). Postglacial range expansion and population growth of *Picea mariana*, *Picea glauca* and *Pinus banksiana* in the western interior of Canada. *Biogeography* 24, 865-881.10.100-10.110

Morris, C.E., Conen F., Huffman, J.A., Phillips V., Pöschl U., Sands D.C. (2014a). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global Change Biology*, 20 (2), 341-351. DOI: 10.1111/gcb.12447

Mountain Ecosystems. Available from:

Prenni, A.J., Tobo, Y., Garcia, E., DeMott, P.J., Huffman, J.A., McCluskey C.S., Kreidenweis S.M., Prenni J.E., Pöhlker C., Pöschl U. (2013). The impact of rain on ice nuclei populations at a forested site in Colorado. *Geophysical Research Letters*, 40 (1), 227-231. DOI: 10.1029/2012GL053953

Sesartic, A., Lohmann, U., Storelvmo, T. (2013). Modelling the impact of fungal spore ice nuclei on clouds and precipitation. *Environmental Research Letters*, 8 (1), 014029. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014029

Solomon, S. (2007). Climate change, 2007: the physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.

Stocker, T. (2013). IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC.

Tanarhte, M., Bacer, S., Burrows, S.M., Huffman, J.A., Pierce, K.M., Pozzer, A., Sarda-Estève, R., Savage, N.J., Lelieveld, J. (2018). Global modeling of primary biological particle concentrations with the EMAC chemistry-climate model. *Atmospheric Chemistry and Physics Discuss.* .

Tobo, Y., Prenni, A.J., DeMott, P.J., Huffman, J.A., McCluskey, C.S., Tian, G., Pöhlker, C., Pöschl, U., Kreidenweis S.M. (2013). Biological aerosol particles as a key determinant of ice nuclei populations in a forest ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118 (17), 10,100-10,110. DOI: 10.1002/jgrd.50801



Zabelina, M.M., Kiselev, I.A., Proshkina-Lavrenko, A.I., Sheshukova, V.S. (1951). Diatomovye vodorosli. (Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR; vyp. 4). Moscow. Sovetskaya nauka (in Russian).

Zolotuhin, N.I., Zolotuhina, I.B., Marina, L.V. (1986). Flora vysokogorij Altajskogo zapovednika. Novosibirsk. Nauka (in Russian).

Citation

Mitrofanova, E.Yu., Kuriatnikova, N.A., Malygina, N.S., Demberel, O. (2019). Algae-pollen monitoring in Altai Biosphere Reserve (Altai Republic, Russia). *Acta Biologica Sibirica*, 5 (2), 60-67.

Submitted: 19.04.2018. **Accepted:** 12.06.2019

© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).