На правах рукописи

КУРЯТНИКОВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА

МОНИТОРИНГ АДВЕКТИВНЫХ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН В ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Специальность 1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Барнаул – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный университет»

Научный руководитель:	**Малыгина Наталья Сергеевна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул
Официальные оппоненты:	**Рапута Владимир Федотович**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск
	Колесников Роман Александрович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий научно-исследовательским сектором охраны окружающей среды Государственного автономного учреждения Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард
Ведущая организация:	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «2» декабря 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.039.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных и экологических проблем СО РАН и на сайте www.iwep.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1, Диссертационный совет, факс: (385-2) 24-03-96, e-mail: iwep@iwep.ru.

Автореферат разослан «____» _____2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.039.01,
доктор географических наук, доцент Рыбкина И.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Наблюдающееся в последние десятилетия увеличение аэрозольной составляющей в атмосфере, оказывающее влияние не только на разномасштабные климатические и экологические изменения в окружающей среде, но и на здоровье населения, выступает одной из важнейших геоэкологических проблем (Ивлев, 1982; Seinfeld et al., 1998, 2006; Аэрозоли..., 2006; WHO, 2015; Jyethi, 2016; Jaafari et al., 2021). Пристальное внимание при изучении состояния атмосферы уделяют мониторингу антропогенных и биогенных (биологических) загрязняющих веществ (ГОСТ Р 54139-2010), включая биоаэрозоли. Мониторинг определяют как систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды (Израэль, 1984), а применительно к геосистемам реализуют геоэкологический мониторинг на локальном, региональном и глобальном уровнях (Калинин, Рязанова, 2011). В системе геоэкологического мониторинга выделяют биологический (санитарный) блок, который включает наблюдения за ПДК токсичных веществ, физическими и биологическими раздражителями (шумами, аллергенами) (Герасимов, 1985).

Биоаэрозоли являясь широко распространенной группой аэрозолей, зачастую выступающие в качестве аллергенов (Despres et al., 2012), но их недоучет (например, при моделировании до 70%) обуславливает кратно возрастающий к ним интерес (Despres et al., 2012; IPCC, 2014; Steiner et al., 2015; Li et al., 2020). Пыльца – наиболее крупный представитель биоаэрозолей, характеризуется хорошей сохранностью, что предопределяет ее как значимый объект мониторинга, который в последние годы приобрел особую актуальность в связи с существенным ростом числа заболеваний, вызванных ее негативным влиянием на человека (Елькина, 2008; WHO, 2015).

Пыльцевые зерна используют и в качестве геоиндикаторов изменений состояний природных систем, в частности, криолитозоны (Nakazawa et al., 2007; 2013, 2018; Papina et al., 2013, 2015; Brugger et al., 2018; Васильчук, 2018), объекты которой – подземные льды, ледники, снежный покров, снег и др. (Котляков, Кренке, 1979), формируются преимущественно за счет атмосферных осадков в холодный период, в связи с чем пыльца в них может поступать с адвективными воздушными массами и/или региональным, глобальным переносом. Большинство всех наблюдений за пыльцевой компонентой в воздухе проводят в теплый период (т.е. во время вегетации высших растений) на специализированных станциях с целью своевременного информирования населения об аллергокомфортности. Исследования, посвященные непосредственному анализу осаждений пыльцевых зерен с атмосферными осадками, единичны, и они узко локализованы (Kasprzyk, Borycka, 2019). При этом как присутствие в атмосфере, так и вымывание аэрозолей, включая пыльцу, вне зависимости от сезона года определяет не только степень ее загрязнения, но и потенциальный экологический риск для человека (Суржиков и др., 2021).

Одни из первых работ по оценке дальнего переноса пыльцы были проведены в рамках работы комиссии по изучению Четвертичного периода под руководством Е.А. Мальгиной, Е.Д. Заклинской, Р.Ф. Федоровой. На юге Западной Сибири

сотрудники институтов РАН и других научных организаций (И.С. Андреева, А.Н. Анкилов, А.М. Бакланов, Б.Д. Белан, В.И. Букатый, К.П. Куценогий, М.В. Панченко, В.Ф. Рапута, А.С. Самойлов, А.С. Сафатов, И.А. Суторихин и др.) выполняли исследования преимущественно антропогенных аэрозольных частиц в осадках и снежном покрове. Изучением пыльцевой составляющей в атмосфере занимались В.В. Головко (Новосибирск) и Г.И. Ненашева (Барнаул), в том числе с целью получения данных о содержании аллергенной пыльцы в воздухе, но лишь в теплый период года (Ненашева, 2013). Полученные научными группами результаты в настоящее время весьма востребованы, в первую очередь, при проведении оценок экологических рисков и рисков для здоровья населения, а также оценок состояний геосистем и при моделировании процессов, происходящих в них. Однако данные по вымыванию пыльцы, являющейся в большинстве случаев аллергеном, с атмосферными осадками в течение продолжительного зимнего периода (5-6 месяцев) на юго-востоке Западной Сибири отсутствуют.

Цель исследования – выделение адвективных пыльцевых трассеров в твердых атмосферных осадках, отобранных в ходе мониторинга на юго-востоке Западной Сибири для идентификации атмосферных межгеосистемных связей.

Для достижения указанной цели было необходимо решить следующие **задачи**:
1) обосновать целесообразность мониторинга пыльцы в твердых атмосферных осадках как составляющей в оценках атмосферных межгеосистемных связей;
2) оценить таксономическое разнообразие пыльцевых зерен в осадках, отобранных в ходе мониторинговых исследований на юго-востоке Западной Сибири в холодный период;
3) проанализировать поступление, транспорт и вымывание адвективной пыльцы и рассмотреть ее способность выступать в качестве трассеров атмосферного взаимодействия геосистем в течение холодных периодов на исследуемой территории.

Объект исследования – пыльцевые зерна, выделенные в твердых атмосферных осадках, отобранных в ходе мониторинга на юго-востоке Западной Сибири.

Предмет исследования – процессы атмосферного поступления, транспортировки и вымывания адвективной пыльцы с осадками в период с устойчивым снежным покровом.

Материалы и методы исследования. Диссертационная работа базируется на данных 460 проб твердых атмосферных осадков, микроскопический анализ которых полностью выполнен автором. В работе использованы данные реанализов NCEP/NCAR и ERA, ERA5 средних скоростей и направлений ветра, осадков, температуры и др. В качестве основных методов исследования применяли: геосистемный, мониторинговый, микроскопический, синоптический, траекторный, сравнительно-географический, и др. Мониторинг заключался в отборе каждого случая выпадения твердых атмосферных осадков в пробоотборники, соответствующие минимальным требованиям «Pollen monitoring program (PMP)» в течение семи холодных периодов (2014-2021 гг.). Пробоподготовку полученных образцов выполняли с соблюдением методических рекомендаций (Руководство…, 1992), микроскопические исследования проводили с помощью светового и сканирующего микроскопов. Систематизацию полученных данных проводили с использованием программы Microsoft Office

Access, статистическую обработку – Microsoft Office Excel, включающей XLSTAT. Траекторное моделирование реализовывали в HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory).

Научная новизна. Впервые в пробах твердых атмосферных осадков выделены пыльцевые зерна, и обоснована необходимость их использования при верификации реконструкций условий окружающей среды. При траекторном моделировании атмосферного переноса пыльцевых зерен впервые успешно апробировано совместное использование в качестве входных параметров высот пограничного слоя атмосферы (ПСА) и продолжительности естественного синоптического периода (ЕСП). Предложен и успешно реализован алгоритм, базирующийся на траекторном моделировании и данных адвективных пыльцевых трассеров, описывающий атмосферные межгеосистемные связи, и показано, что для юго-востока Западной Сибири пыльцевые зерна ивы и полыни выступают таковыми трассерами.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты диссертационной работы вносят значительный вклад в развитие научных направлений, находящихся на стыке геоэкологии, палинологии, метеорологии. Полученные данные о пыльцевой составляющей в твердых атмосферных осадках, отобранных на юго-востоке Западной Сибири, и путях ее поступления позволяют оценивать как атмосферные связи между геосистемами регионального уровня, так и состояния геосистем в целом. Результаты диссертационного исследования целесообразно использовать для верификаций ранее выполненных палеореконструкций состояний окружающей среды для территории исследования и сопредельных с ней районов, т.к. они могут существенно повысить их достоверность.

Положения, выносимые на защиту:

1) мониторинг адвективной пыльцы в твердых осадках (снеге) рекомендуется проводить в период с устойчивым снежным покровом и полученные результаты использовать при оценках процессов атмосферного взаимодействия геосистем;

2) адвективные пыльцевые спектры в твердых атмосферных осадках юго-востока Западной Сибири с максимальным таксономическим разнообразием в начале и конце холодных периодов целесообразно учитывать при верификации палеореконструкций условий окружающей среды;

3) алгоритм, базирующийся на траекторном моделировании и адвективных трассерах, в качестве которых для юго-востока Западной Сибири выступает пыльца ивы (*Salix* sp.) и полыни (*Artemisia* sp.), отражает атмосферные межгеосистемные связи.

Степень достоверности и апробация результатов. Исходные материалы с 2014 по 2019 гг. получены при участии автора в качестве исполнителя работ по двум темам госбюджетных НИР ИВЭП СО РАН: № АААА-Б18-218022690054-9 и № АААА-А17-117041210242-1, а с 2019 г. проекта РФФИ № 19-35-90078 на базе АлтГУ. В работе руководствовались методическими рекомендациями «Pollen monitoring program», пробоподготовку и микроскопирование выполняли с соблюдением регламентирующих норм и правил. Результаты исследований опубликованы и были представлены на профильных международных и всероссийских конференциях Вена, 2015; Томск, 2015, 2019, 2020; Сочи, 2018; Санкт-Петербург, 2020; Москва, 2020; Барнаул, 2019, 2020, 2021; Иркутск, 2017, 2020, 2021.

Публикации. Соискателем в соавторстве опубликовано более 40 научных работ, в том числе по теме диссертационного исследования – 21, из них 4 статьи в изданиях Web of Science и Scopus, 3 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621843 RU, 02.09.2021.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы из 157 источников. Общий объем составляет 98 страниц машинописного текста, включая 27 рисунков, 7 таблиц.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Мониторинг адвективной пыльцы в твердых осадках (снеге) рекомендуется проводить в период с устойчивым снежным покровом и полученные результаты использовать при оценках процессов атмосферного взаимодействия геосистем.

Оценка состояния атмосферы занимает одно из ведущих мест при проведении геоэкологического мониторинга окружающей среды, что обусловлено влиянием загрязняющих веществ, включая аэрозоли, на глобальные климатические и экологические процессы и биосферу в целом (МГЭИК, 2021), а также она необходима для расчетов экологических рисков и рисков для здоровья человека. В ходе мониторинга ведутся наблюдения за антропогенными и биогенными (биологическими) загрязняющими веществами, однако большинство нормативно-правовых документов регламентирует проведение исследований за частицами антропогенного происхождения.

При геоэкологическом мониторинге взаимосвязанных природных компонентов и соподчиненных комплексов реализуют систему наблюдений, оценки и прогнозов состояний геосистем (Калинин, Рязанова, 2015), одним из главных свойств которых является структурность, выражающаяся в пространственно-временной упорядоченности, т.е. определенном расположении отдельных частей геосистем и характере их связей: вертикальных (межкомпонентных) и горизонтальных (межгеосистемных). Среди основных каналов, посредством которых осуществляется транзит и перераспределение вещества на большие расстояния, выступает воздушная среда, посредством сухого и мокрого осаждения, включая аэрозоли.

Пыльца, покрытая устойчивой к внешним воздействиям оболочкой из спорополленина, имеет размеры от 2 до 100 мкм, а объем ее эмиссии в атмосферу составляет порядка 87 Тг в год, и происходит пассивным или активным путем (Despres et al., 2012; Hu et al., 2020). Попадая в воздушную среду, биологические аэрозоли, включая пыльцевые зерна, находятся преимущественно в ПСА, который на верхней границе перекрыт инверсионным слоем, препятствующим дальнейшему вертикальному перемешиванию воздуха, и, как следствие, ограничивающим попадание частиц в более высокие слои атмосферы (Brunet et al., 2017; Nissanka et al., 2018). Для ПСА характерны разнонаправленные потоки, способствующие преимущественному переносу частиц в горизонтальном (адвективные потоки) и вертикальном (конвективные потоки) направлениях (Семенченко, 2002; Pal et al., 2021), а морфологические особенности пыльцевых зерен (небольшие размеры, наличие воздушных мешков) позволяют большинству

из них транспортироваться на значительные расстояния (Мальгина, 1950; Заклинская, 1951; Федорова, 1952; Сладков, 1967).

Осаждение пыльцы из атмосферы, как и других аэрозолей, происходит вследствие седиментации (сухое осаждение) и/или вымывания (мокрое осаждение). При этом вклад сухого осаждения в поступление частиц биологического происхождения на подстилающую поверхность в умеренных широтах зачастую не превышает 10-20% (Ивлев, 1999; Emerson et al., 2020), и его учет более важен при локальных исследованиях, так как в региональных и глобальных масштабах он нивелируется (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). При влажном осаждении твердые атмосферные осадки (снег) вымывают аэрозоли в 3-4 раза эффективнее относительно жидких осадков (дождя) (Семенченко 2002; Blanco-Alegrea et al., 2021).

Для мониторинга пыльцы в атмосфере используют пробоотборники с принудительным и седиментационным отбором (Ghosh et al., 2015; Lindsley et al., 2017), но для разделения сухого и мокрого вкладов в поступление пыльцевых зерен стоит, в первую очередь, применять пробоотборники, соответствующие требованиям PMP. Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения, опубликованному в начале 2000-х гг., пыльца была признана сильнейшим аллергеном, от которого страдает более 20% населения Земли (WHO, 2003), что послужило очередным толчком для создания сети точек мониторинга пыльцы в воздухе. В результате к 2018 г. в Европе насчитывалось уже более 600 станций (Buters et al., 2018), деятельность которых регламентирована CEN/TS 16868:2015. В России мониторинг пыльцы в воздухе проводят точечно в период вегетации, и основное количество действующих аэропалинологических точек мониторинга сосредоточено в Европейской части страны, а в Сибири наиболее продолжительно функционирует станция, расположенная в г. Барнаул (Ненашева, 2013).

В целях проведения мониторинга пыльцы в атмосферных осадках холодных периодов на юго-востоке Западной Сибири с учетом природно-климатических особенностей были выбраны четыре точки наблюдений (рисунок 1), которые, согласно ландшафтному районированию (Ландшафтная карта…, 2016), расположены в степной и лесостепной зонах юго-востока Западной Сибири в границах Южноприалейской и Верхнеобской провинции в Среднейалейском, Верхнеобском и Приобском районах. Данная территория характеризуется поступлением разнотипных воздушных масс (Харламова, 1995), при этом южные циклоны (Малыгина и др., 2014) вносят максимальный вклад в осадки, годовое количество которых варьирует от 250 до 550 мм, с преобладанием в теплый период (апрель-октябрь) (Харламова, 1995). Средняя дата формирования устойчивого снежного покрова приходится на первую декаду ноября, а его максимальное накопление фиксируют в феврале-марте (Харламова, 2013). Снежный покров выступал лимитирующим фактором при проведении мониторинга адвективных пыльцевых зерен в твердых атмосферных осадках, т.к. исключал вторичный локальный подъем пыльцевых зерен с подстилающей поверхности.

Мониторинг пыльцы в атмосферных осадках был начат на рекогносцировочной точке (РТ), расположенной в лесостепной зоне (г. Барнаул) в холодный период 2014/15 гг., когда на территории исследования и сопредельных с ней (в радиусе 250-300 км) отсутствовала вегетация, был сформирован снежный покров и осадки выпадали в твердом виде (снег).

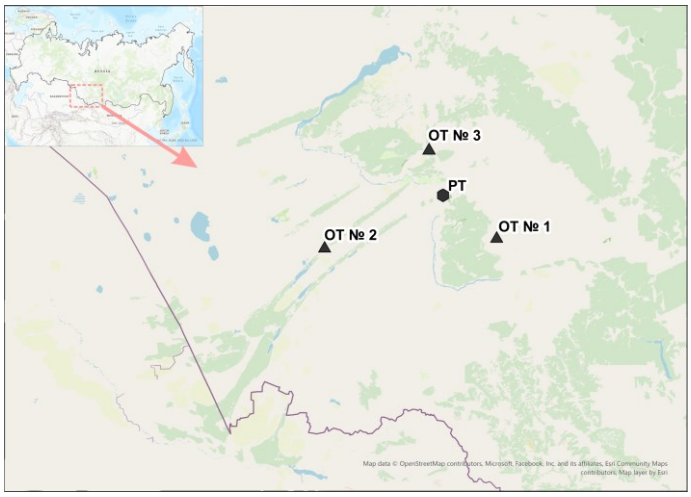


Рисунок 1 – Местоположение точек мониторинга (РТ – рекогносцировочная точка, ОТ – опорная точка)

В течение пяти холодных периодов на РТ было отобрано 253 пробы (таблица). В целях расширения сети в 2019 г. с учетом разнообразия ландшафтных условий были дополнительно выбраны три опорные точки (ОТ), расположенные в степной и лесостепной зонах, где не происходило нарушение снежного покрова, при этом ландшафтные условия ОТ № 3 были схожи с условиями РТ.

В совокупности за два холодных периода на трех опорных точках было отобрано 207 проб (таблица), а всего за семь холодных периодов – 460 проб твердых атмосферных осадков.

Таблица – Количество проб атмосферных осадков по точкам мониторинга

Период	Точка / Дата	РТ	ОТ № 1	ОТ № 2	ОТ № 3
I	10.11.14-20.03.15	28	-	-	-
II	27.11.15-04.03.16	54	-	-	-
III	14.10.16-15.03.17	83	-	-	-
IV	09.11.17-12.03.18	40	-	-	-
V	07.11.18-18.03.19	48	-	-	-
VI	08.11.19-13.03.20	-	31	39	48
VII	10.11.20-18.03.21	-	39	27	23
					Итого: 460

«-» пробы не отбирали

После окончания выпадения осадков полученные пробы пересыпали из пробоотборников в подготовленные герметичные пакеты для дальнейшей транспортировки в лабораторию, где образцы таяли при комнатной температуре, после чего их концентрировали как фильтрационным, так и седиментационным методами (Руководство…, 1992). Полученный концентрированный осадок помещали в пробирки малого объема и фиксировали 40%-ым формалином.

Микроскопический анализ подготовленных образцов проводили при помощи световых микроскопов (Laboval 4 и Axio Lab A.1 Carl Zeiss, Германия), с увеличением 400 и 1000 раз, а в целях повышения точности идентификации пыльцевых зерен применяли сканирующий электронный микроскоп (SEM S-3400N Hitachi Science Systems Ltd, Япония) с возможностью увеличения до 300 000 раз. Для выявления видовой принадлежности пыльцевых зерен использовали различные атласы (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Дзюба, 2005; Карпович и др., 2015) и международные базы данных (Pollen atlas, 2021; Palynological Database, 2021).

При изучении пыльцевой компоненты в атмосфере в период вегетации (пыления растений) используют различные методы и подходы, но они позволяют оценивать лишь ее сухое осаждение на подстилающую поверхность. В этой связи для комплексного понимания характера поведения пыльцы особенно важно

изучать ее адвективное поступление и вымывание с атмосферными осадками, что наиболее эффективно реализовывать в ходе мониторинга в холодный период года. Таким образом, мониторинг пыльцевых зерен в твердых атмосферных осадках стоит проводить на территориях с устойчивым снежным покровом и отсутствием вегетации в течение всего холодного периода в целях исключения их локального вторичного подъема с подстилающих поверхностей и возможного вымывания с осадками. Отбор проб каждого случая выпадения осадков, для вычленения адвективной (заносной) пыльцевой составляющей, следует выполнять с использованием пробоотборника, соответствующего требованиям РМР. Наиболее оптимальным методом при пробоподготовке является седиментационный, минимизирующий возможные потери пыльцевых зерен. Для повышения достоверности идентификации таксонов микроскопирование проб следует выполнять при комплексном использовании световой и сканирующей микроскопии. Полученные результаты стоит применять для оценки возможного поступления, транспортировки и выведения адвективной пыльцевой компоненты, способной отражать атмосферные связи между геосистемами регионального уровня.

2. Адвективные пыльцевые спектры в твердых атмосферных осадках юго-востока Западной Сибири с максимальным таксономическим разнообразием в начале и конце холодных периодов целесообразно учитывать при верификации палеореконструкций условий окружающей среды.

Микроскопический анализ всех отобранных проб за семь холодных периодов на юго-востоке Западной Сибири показал, что только в трети (143 из 460) из них были идентифицированы пыльцевые зерна деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp., *Populus* sp., *Alnus* sp.) и трав (*Artemisia* sp., *Taraxacum* sp., *Plantago* sp., сем. Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae, Fabaceae), среди которых (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp., *Populus* sp., *Artemisia* sp., *Plantago* sp., сем. Chenopodiaceae, Poaceae), ввиду антигенного состава пыльцы, являются аллергенами в период цветения (Puc, 2003; Taylor et al., 2004). Пыльцы экзотических таксонов не было выделено, а жизненные формы *Salix* sp. и *Alnus* sp. отличаются в зависимости от условий местообитания (Карпова, 2015; Недосеко и Викторов, 2018), поэтому для удобства анализа они были отнесены к деревьям.

Количество определенных таксонов в пробах юго-востока Западной Сибири было в четыре раза больше по сравнению результатами аналогично проводимых исследований в холодный период 2014/15 гг. в Центральной Якутии, где было выделено всего три таксона (*Betula* sp., *Pinus* sp., Asteraceae). При этом концентрации зерен в пробах исследуемой территории достигали 640 шт./л, что может быть связано с возможностью дальнего переноса пыльцевых зерен, например, пыльца сосны может транспортироваться по воздуху на несколько тысяч километров (Сладков, 1967).

Качественный состав спектров каждой точки мониторинга характеризовался вариациями, проявляющимися как в изменениях между точками мониторинга, так и от сезона к сезону, но были выделены и общие черты. Одной из основных черт стало преобладание пыльцы деревьев с доминированием березы (*Betula* sp.) и сосны (*Pinus* sp.), что согласуется с данными В.П. Гричук и Е.Д. Заклинской (1948), которые относили эту пыльцу к региональной компоненте спорово-пыльцевого

спектра, т.к. ее часть могла поступить из удаленных источников. Пыльца деревьев (*Alnus* sp., *Populus* sp., *Salix* sp.) была представлена единичными зернами, появление которых в пробах носило эпизодический характер. Общее обилие пыльцы деревьев в спектрах было связано с тем, что они являются широко распространенными в Голарктическом царстве растений и относятся к ветроопыляемым, в результате чего продуцируют большое количество зерен, способных переноситься на значительные расстояния (Сладков, 1967).

Пыльца трав в спектрах была представлена более разнообразно, но ее вклад в ее общее количество был существенно меньше, что связано с ее небольшой летучестью (преимущественно в пределах ареала) и морфологическими особенностями (отсутствие воздушных мешков), которые не позволяют ей длительное время находиться во взвешенном состоянии в атмосфере. Доминирующими таксонами трав в спектрах являлись представители широко распространенных семейств маревых (Chenopodiaceae), астровых (Asteraceae) и злаковых (Poaceae) (Горбунов,1980; Кирпичников, 1981), выделенные в пробах как РТ, так и ОТ, а их вклад достигал 15%.

Анализ проб, отобранных на РТ за пять холодных периодов, показал, что в 57 из 253 были идентифицированы пыльцевые зерна как деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Populus* sp., *Alnus* sp., *Salix* sp.), так и трав (*Artemisia* sp., сем. Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae), где существенно, как и в общем спектре, доминировали по количеству береза (*Betula* sp.) – 43% и сосна (*Pinus* sp.) – 28% (рисунок 2).

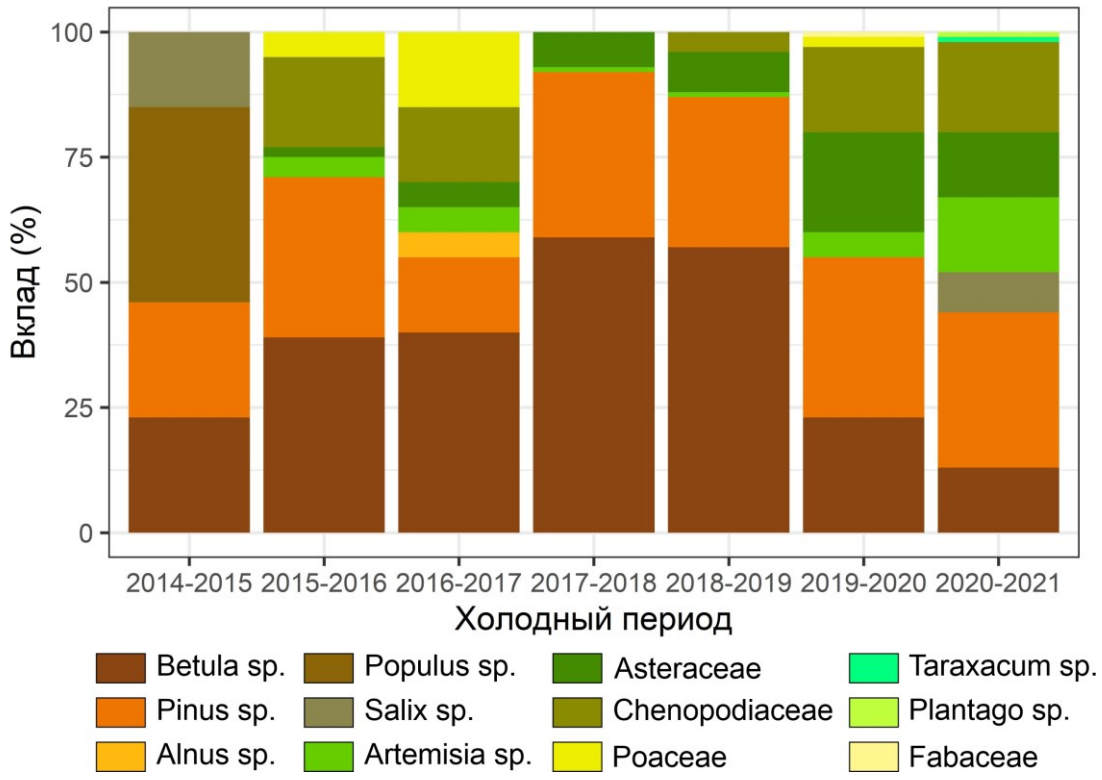


Рисунок 2 – Вклад (%) таксонов в сезонные пыльцевые спектры РТ

Пыльца березы и сосны была выделена в пробах, отобранных в течение каждого периода, в то время как пыльцевые зерна других деревьев (*Populus* sp., *Salix* sp., *Alnus sp.)* были определены только в пробах конца периода. Пыльца трав присутствовала в пробах четырех периодов и составила 22% от суммарного спектра РТ, при преобладании пыльцевых зерен представителей семейства

маревых (Chenopodiaceae) – 11%. Вклад астровых (Asteraceae) составил 4% от общего спектра, а злаки (Poaceae) были определены только в пробах II и III периодов. Максимальное разнообразие пыльцы в осадках было характерно для проб начала и конца холодных периодов (рисунок 3 а), когда территории, расположенные западнее и юго-западнее относительно точек мониторинга, могли быть свободны от снежного покрова и выступать источниками вторичного подъема пыльцевых зерен с подстилающей поверхности.

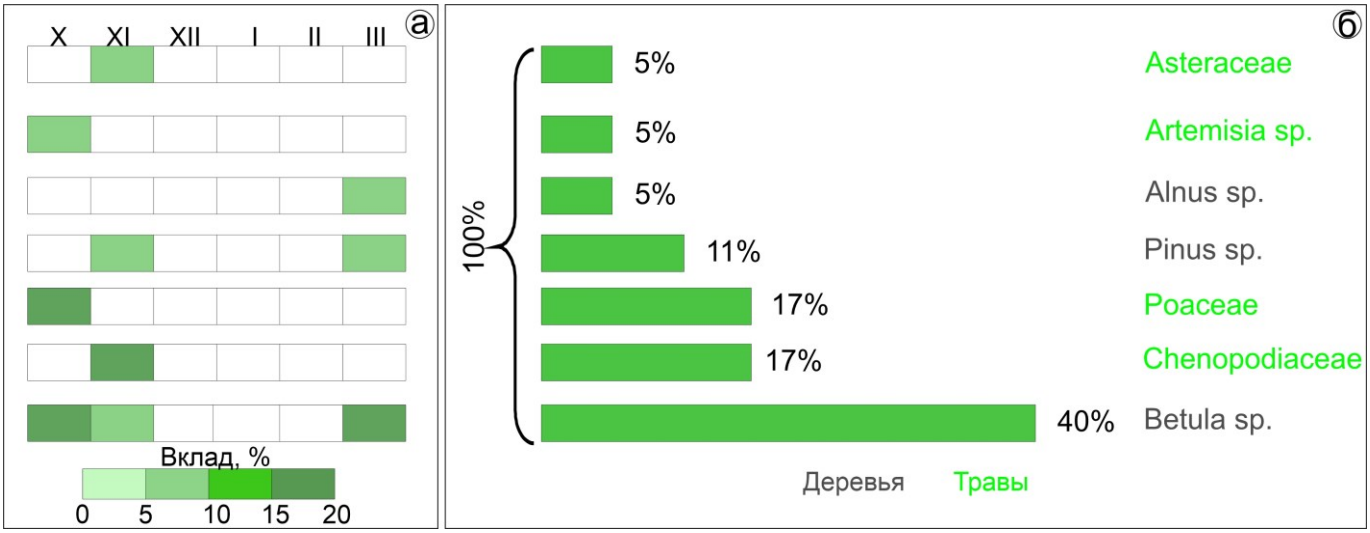


Рисунок 3 – Таксономическое разнообразие сезонного пыльцевого спектра холодного периода 2016/17 гг. РТ
а) распределение таксонов по месяцам; б) вклад таксонов в общий спектр

Результаты микроскопических исследований 207 проб атмосферных осадков, отобранных на трех опорных точках за два холодных периода (2019/20 и 2020/21 гг.), показал, что в 86 из них были идентифицированы пыльцевые зерна деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp.) и трав (*Artemisia* sp., *Taraxacum* sp., *Plantago* sp., сем. Asteraceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, Poaceae). Таксономическое разнообразие в спектрах ОТ было богаче по сравнению со спектрами РТ, что связано с присутствием большего числа трав, а именно *Taraxacum sp., Plantago sp., сем.* Fabaceae. Значительных изменений в спектрах точек мониторинга, расположенных в степной (ОТ № 2) и лесостепной (ОТ №1 и № 3) зонах, не было выявлено, что обусловлено их малым удалением друг от друга в границах одного естественно-синоптического района, где развивались преимущественно единые синоптические процессы.

Пыльцевой спектр ОТ № 1, расположенной в лесостепной зоне, был представлен пыльцой деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp.) и трав (*Artemisia* sp., *Plantago* sp., сем. Asteraceae, Chenopodiaceae, Fabaceae), при этом вклад каждого таксона значительно варьировал (рисунок 4 а). Особенно ярко это прослеживалось на примере полыни (*Artemisia* sp.), которая в пробах 2019/20 гг. составила 3% от сезонного спектра, а в 2020/21 гг. – почти в 10 раз больше. Такие межгодовые вариации связаны с особенностями синоптических условий, а именно с вариациями поступлений юго-западных воздушных масс в течение холодных периодов, что наглядно отражают данные направлений ветров (рисунок 4 б).

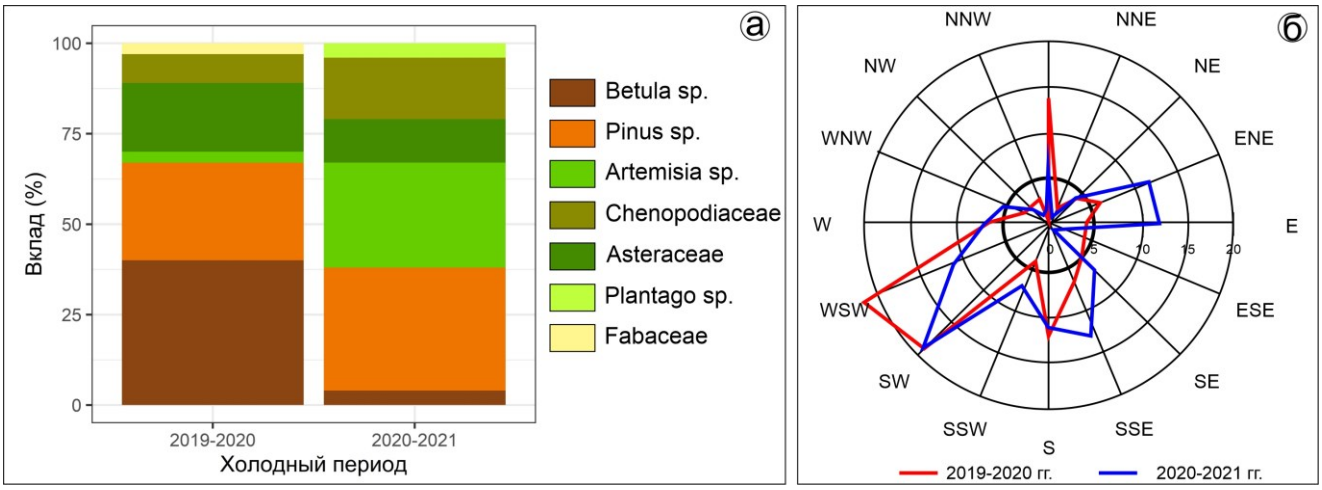


Рисунок 4 – Вклад (%) таксонов в сезонные пыльцевые спектры (а) и роза ветров (б) за период мониторинга на ОТ № 1

В пробах ОТ № 2, расположенных в степной зоне, были определены пыльцевые зерна 8 таксонов (*Betula* sp., *Pinus* sp., *Salix* sp., *Artemisia* sp., *Taraxacum* sp., сем. Asteraceae, Chenopodiaceae, Poaceae), при этом для березы (*Betula* sp.) и сосны (*Pinus* sp.) отмечались незначительные изменения между периодами (рисунок 5 а). Среди трав, помимо пыльцы полыни, астровых и маревых, были выделены зерна злаков (Poaceae) (VI период) и одуванчика (*Taraxacum* sp.) (VII период), поступление которых обусловлено синоптическими ситуациями, но в целом в течение двух холодных периодов здесь преобладали ветры южных направлений (рисунок 5 б).

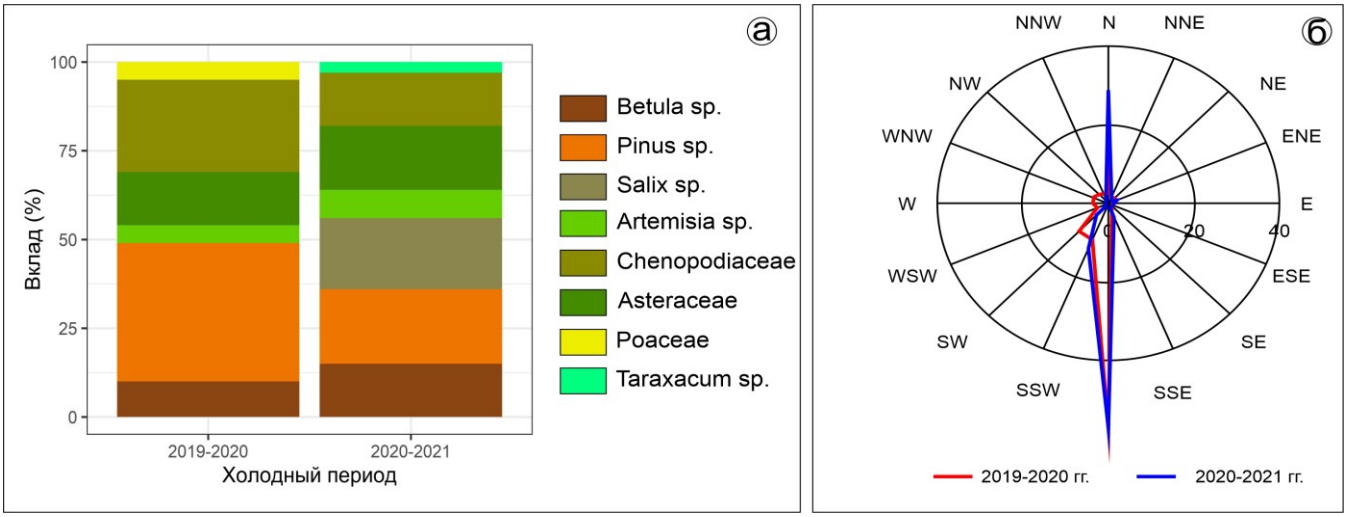


Рисунок 5 – Вклад (%) таксонов в сезонные пыльцевые спектры (а) и роза ветров (б) за период мониторинга на ОТ № 2

Сезонные спектры ОТ № 3 имели бедное разнообразие и были сформированы пыльцой деревьев (*Betula* sp., *Pinus* sp.) и трав (*Artemisia* sp., сем. Asteraceae, Chenopodiaceae) (рисунок 6 а). Суммарный вклад пыльцы деревьев, представленных березой (*Betula* sp.) и сосной (*Pinus* sp.) в два сезонных спектра, составил примерно равное значение (55% и 58%) с незначительным преобладанием сосны, а среди трав наибольшие вариации наблюдали при оценке вклада полыни (*Artemisia* sp.) (до 13%), что может быть обусловлено межгодовыми изменениями в направлениях поступлений воздушных масс (рисунок 6 б).

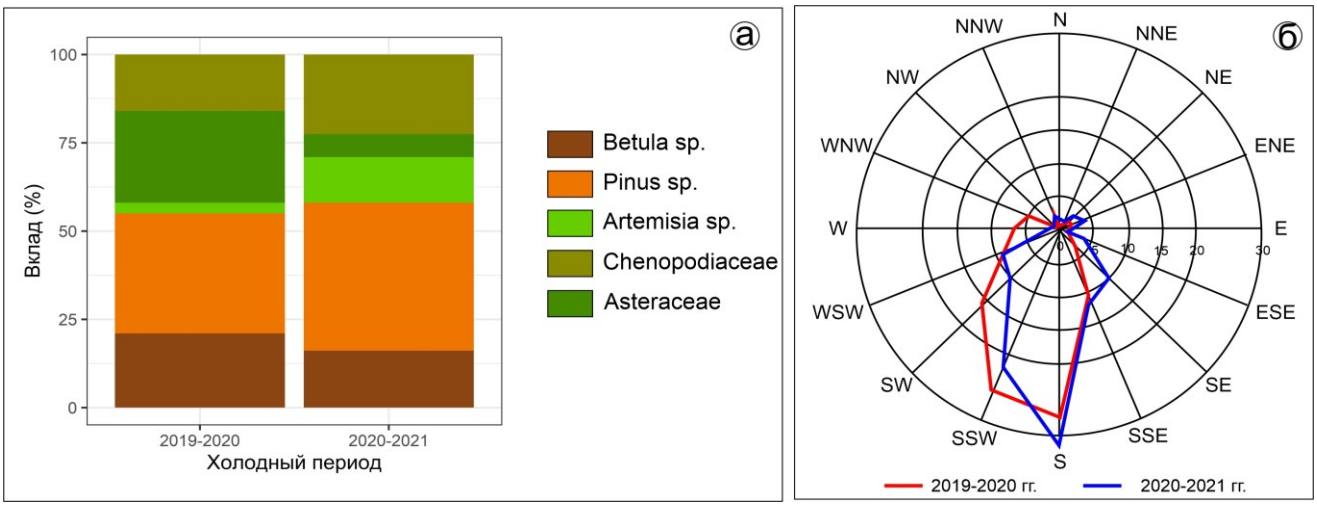


Рисунок 6 – Вклад (%) таксонов в сезонные пыльцевые спектры (а) и роза ветров (б) за период мониторинга на ОТ № 3

Микроскопический анализ 460 проб твердых атмосферных осадков, отобранных в период с устойчивым снежным покровом, исключающим поступление локальной пыльцевой компоненты, показал, что только в 143 из них присутствовали пыльцевые зерна 12 таксонов, причем пыльца деревьев преобладала в каждом сезонном спектре при значительном доминировании березы (*Betula* sp.) и сосны (*Pinus* sp.). Среди трав наибольший вклад вносили представители семейства маревых (Chenopodiaceae) и астровых (Asteraceae), которые присутствовали в большинстве сезонных спектров. Полученные результаты целесообразно учитывать при проведении и верификации уже имеющихся реконструкций (Nakazawa et al., 2007) для территории исследования и сопредельных с ней районов, а также и прогнозах изменений состояний геосистем, т.к. данные пыльцевых спектров уже использовали в качестве маркеров теплого периода.

Максимальное разнообразие пыльцы было определенно в пробах, отобранных в начале и конце холодных периодов, когда воздушные массы, обуславливающие выпадение атмосферных осадков, а с ними и пыльцевых зерен, могли приходить либо с территорий еще свободных от снежного покрова, либо уже освободившихся от него. Анализ изменений в пыльцевых спектрах с использованием метода главных компонент показал группировку по четырем основным компонентам: PC 1 – появление пыльцы ивы и полыни связанно с заносом каждого таксона из специфического (своего) региона; PC 2 – вариации пыльцы представителей семейства астровых в спектрах объясняются большим количеством источников ее продуцирования (самое большое семейство); PC 3 – распределение пыльцевых зерен сосны в спектрах связано с их морфологическими особенностями (наличие воздушных мешков), обусловливающими возможный дальний перенос; PC 4 – значительное присутствие пыльцы березы связано с широким ареалом распространения и значительным количеством продуцируемой пыльцы.

3. Алгоритм, базирующийся на траекторном моделировании и адвективных трассерах, в качестве которых для юго-востока Западной Сибири выступает пыльца ивы (*Salix* sp.) и полыни (*Artemisia* sp.), отражает атмосферные межгеосистемные связи.

В целях изучения процессов взаимодействия геосистем на региональном уровне был разработан, а затем реализован алгоритм, базирующийся на

траекторном моделировании. Данный алгоритм может выступать составной частью ранее разработанной функционально-компонентной модели, которая позволяет анализировать процессы поступления, переноса, трансформации и выведения различных компонентов из геосистем (Сочава, 1978). В HYSPLIT-модели (Air resources…, 2022) на каждую дату, когда были отобраны атмосферные осадки, рассчитывали обратные траектории движения воздушных масс. Помимо стандартных условий (координаты точки отбора проб, время выпадения осадков) дополнительно впервые использовали временные (ЕСП) и пространственные (ПСА) параметры, введение которых было обусловлено следующим. ЕСП характеризуется единым типом синоптических процессов, сформированных над данной территорией (т.е. близкими условиями), а перенос биологических частиц происходит преимущественно в пределах ПСА, причем высоты ПСА отражались в высотных вариациях обратных траекторий движения воздушных масс. Все рассчитанные траектории сохраняли в двух форматах для последующего сведения их в единый каталог на основе Google Earth и оценок изменения высот, по которым смещались воздушные массы.

Верификацию рассчитанных траекторий проводили на основе комплексного синоптического анализа по данным метеостанций и натурных наблюдений, а также карт барической топографии для разных изобарических поверхностей в зависимости от высоты, для которой была построена траектория, при этом дополнительно анализировали ряд других метеорологических параметров, в первую очередь, средние скорости и направления ветра из реанализов NCEP/NCAR (Physical Sciences Laboratory…, 2021) и/или ERA5, ERA5–Land (European Centre for…, 2021).

На следующем этапе оценивали ежедневные данные по распространению снежного покрова (National centers …, 2021), который является основным лимитирующим фактором для возможного вторичного подъема пыльцы. Информация об отсутствии снежного покрова в местах формирования воздушных масс, обуславливающих поступление атмосферных осадков, а с ними и пыльцы, указывает на их потенциальный адвективный характер. Над прогретой земной поверхностью происходит формирование теплых воздушных масс, и при натекании на них холодных возникает адвекция (Ахметшина, 2015), что способствует вторичному подъему пыльцевых зерен с подстилающей поверхности и дальнейшей их транспортировке. Для всех семейств и родов идентифицированных пыльцевых зерен был проведен сравнительно-географический анализ ареалов их произрастания по данным карт их распространения и ботаническим описаниям.

Используя разработанный алгоритм, были рассчитаны 460 обратных траекторий движения воздушных масс, комплексный анализ которых показал следующее. Воздушные массы, обусловившие выпадение атмосферных осадков, в которых не была определена пыльца (317 проб), формировались над закрытыми снегом территориями, что препятствовало возможному вторичному подъему пыльцы с подстилающих поверхностей. При этом в 143 случаях, когда в осадках были выделены пыльцевые зерна, это происходило над территориями либо еще свободными от снежного покрова, либо где он был уже разрушен. На основе данных траекторного моделирования в каждом конкретном случае удалось

выделить пути атмосферного поступления пыльцевых зерен, но провести их группировку не представлялось возможным, т.к. от даты к дате для одного и того же таксона в большинстве случаев они отличались, но для пыльцы полыни (*Artemisia* sp.) и ивы (*Salix* sp.) были определены единые пути поступления.

Пыльца полыни (*Artemisia* sp.) является одной из наиболее изученных среди пыльцевых зерен других растений т.к., во-первых, она очень сильный аллерген, что способствует проведению аэропалинологических наблюдений за ее концентрацией в воздухе (Grewling, et al., 2012; Stepalska et al., 2017; Cristofori et al., 2020). Во-вторых, данные пыльцевые зерна достаточно легко идентифицируются (из-за морфологических особенностей) в различных пробах, что объясняет их активное использование в качестве маркеров при оценках состояния геосистем и изучении процессов, происходящих в них, включая палеоклиматические и палеоэкологические реконструкции (Jie et al., 2004; Nakazawa et al., 2007; Nelson, 2012; Festi et al., 2017; Steinhoff et al., 2022).

Пыльцевые зерна полыни (*Artemisia* sp.) были выделены в пробах РТ, отобранных в ноябре-декабре, а также в 20% проб ОТ. Определение путей поступления пыльцы полыни было реализовано на основе алгоритма и представлено на примере 28 ноября 2015 г., когда в осадках впервые была выделена данная пыльца. Для этой даты была рассчитана обратная траектория движения воздушных масс (HYSPLIT) с учетом высоты ПСА и продолжительностью не менее ЕСП (рисунок 7 а), которая показала, что адвективные воздушные массы формировались над территориями Центрального Казахстана, свободными от снежного покрова (рисунок 7 б), а потом смещались на северо-восток, т.е. в направлении точки мониторинга, что подтверждают и данные синоптического анализа.

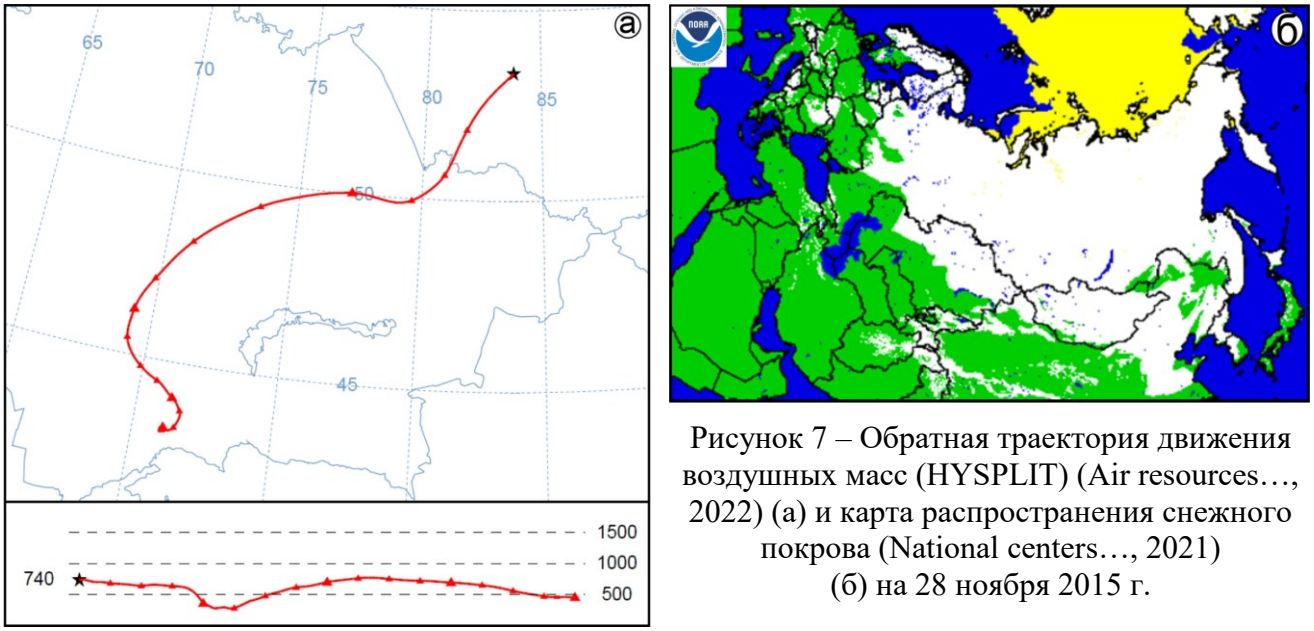


Рисунок 7 – Обратная траектория движения воздушных масс (HYSPLIT) (Air resources…, 2022) (а) и карта распространения снежного покрова (National centers…, 2021) (б) на 28 ноября 2015 г.

Важно отметить, что полынь играет большую роль при формировании растительности степей, увеличивающуюся при движении к полупустыням (Поляков, 1961; Исаченко, Рачковская, 1961; Рачковская, 2016). В совокупности это позволило определить, что выделенные в пробе снега 28 ноября 2015 г. адвективные пыльцевые зерна полыни поступали с воздушными массами,

сформированными над степными районами Центрального Казахстана, которые на момент их формирования были свободны от снежного покрова.

Описанный алгоритм был также реализован для всех остальных случаев, в пробах которых были выделены пыльцевые зерна полыни, и в итоге все рассчитанные обратные траектории движения воздушных масс на основе Google Earth были объединены в единый каталог (рисунок 8). Визуализация результатов наглядно показала, что основной территорией, над которой формировались воздушные массы, обусловившие выпадение атмосферных осадков, а с ними и пыльцевых зерен полыни, являлся Центральный Казахстан вне зависимости от точки мониторинга и времени отбора проб в холодный период на юго-востоке Западной Сибири (Курятникова и др., 2022).

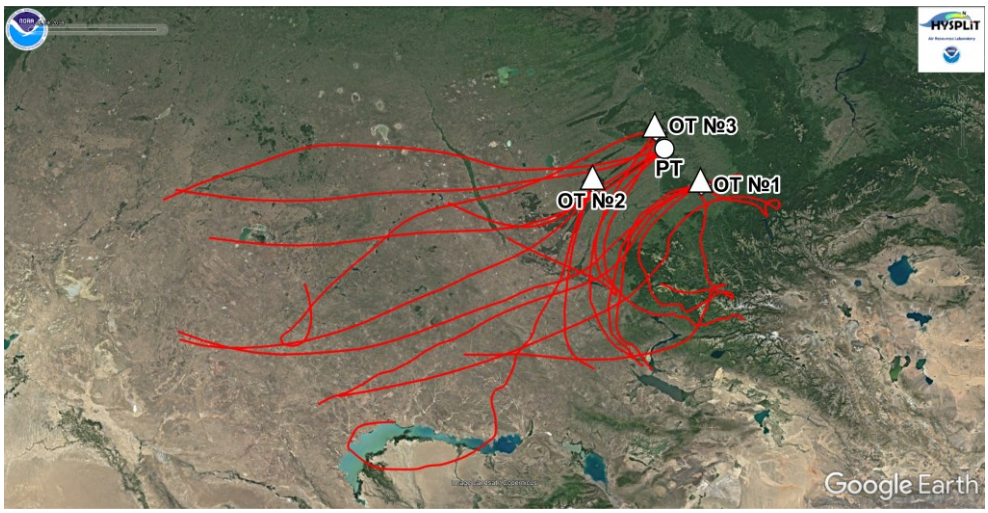
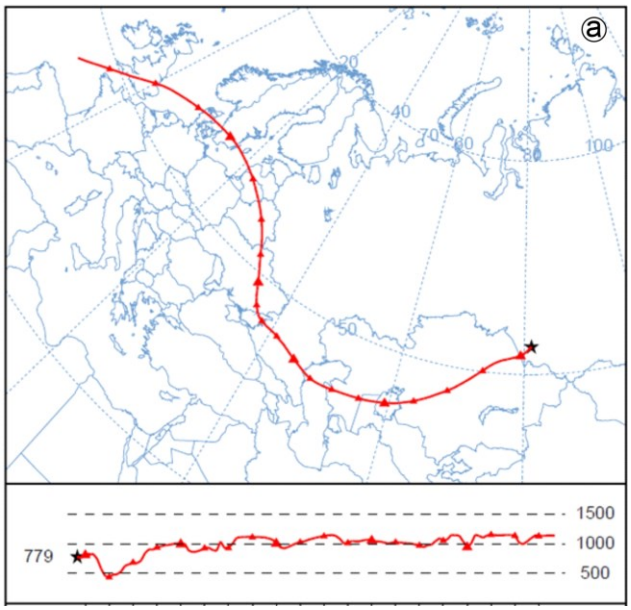


Рисунок 8 – Обратные траектории движения воздушных масс (Air resources…, 2022) для дат, когда в пробах атмосферных осадков была идентифицирована пыльца полыни на РТ и ОТ

Пыльцевые зерна ивы (*Salix* sp.) были выделены в пробах твердых атмосферных осадков, отобранных в марте 2015 г. на РТ, и в пробах февраля-марта 2021 г. ОТ № 2. Необходимо отметить, что в те даты, когда в пробах, полученных на ОТ № 2 в 2021 г., были определены пыльцевые зерна ивы, на ОТ № 1 и № 3 атмосферные осадки не выпадали. Пыльца ивы довольно хорошо определяется в различных пробах ввиду своих морфологических особенностей, а также характеризуется коротким периодом пыления (Karrenberg et al., 2002; Ненашева, 2013; Petruk, 2019). Согласно аэропалинологическим наблюдениям на территории исследования, самое раннее появление пыльцы ивы в воздухе было зарегистрировано 11 апреля 2012 г. (Ненашева, 2013), что указывает на ее возможное адвективное поступление.

Реализация алгоритма определения атмосферного поступления пыльцевых зерен ивы с атмосферными осадками представлена для 15 марта 2015 г. Анализ путей движения рассчитанной обратной траектории (рисунок 9 а) показал, что адвективные воздушные массы, обуславливающие выпадение пыльцы с осадками, сформировались преимущественно над южными территориями Фенноскандии, которые уже были свободны от снега (рисунок 9 б), и где широко распространена ива. Далее эти воздушные массы смещались в направление расположении точки мониторинга, где отмечалось выпадение твердых атмосферных осадков, что подтверждают данные синоптического анализа. Для остальных дат, в пробах

которых была выделена пыльца ивы (*Salix* sp.), также был реализован вышеописанный алгоритм, по результатам которого было получено, что пыльцевые зерна ивы поступали с южных территорий Фенноскандии.



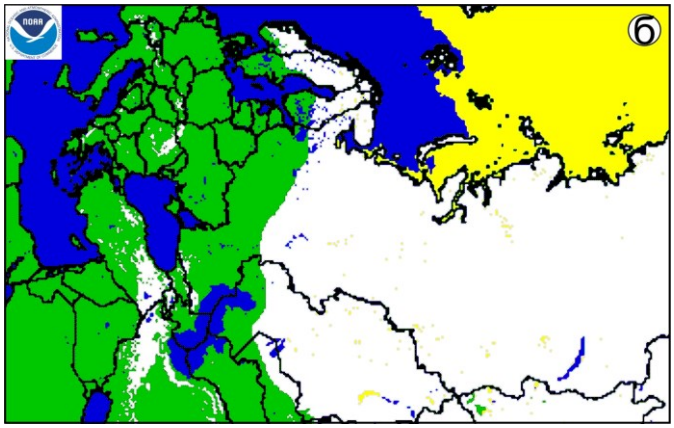


Рисунок 9 – Обратная траектория движения воздушных масс (HYSPLIT) (Air resources…, 2022) (а) и карта распространения снежного покрова (National centers…, 2021) (б) на 13 марта 2015 г.

Полученные результаты показали, что адвективные пыльцевые зерна ивы (*Salix* sp.), выделенные в пробах твердых атмосферных осадков на юго-востоке Западной Сибири, в независимости от периода отбора поступали только с территории юга Фенноскандии, а полыни (*Artemisia* sp.) – Центрального Казахстана, свободных от снежного покрова на период формирования на\д ними воздушных масс, обуславливающих выпадение этих осадков, а с ними и пыльцы. При этом данные зерна одновременно в спектрах не встречались, их появление носило не массовый характер по сравнению с пыльцой сосны и березы, они довольно хорошо идентифицировались, что указывает на целесообразность их использования в качестве атмосферных трассеров горизонтальных связей региональных геосистем. Полученные в ходе применения алгоритма результаты следует учитывать как при оценках изменений состояний природных объектов, так и при расчетах экологических рисков, например, потенциально возможного атмосферного поступления загрязняющих веществ с территорий, над которыми формировались воздушные массы, обусловившие осадки.

ВЫВОДЫ

1. Данные большинства наблюдений за пыльцевыми зернами, проводимых на станциях аэропалинологического мониторинга, не позволяют оценивать полный объем поступления пыльцы из атмосферы, т.к. при их выполнении не учитывают ее вымывание со снегом, которое для биоаэрозолей существенно превалирует как над сухим осаждением, так и дождем. В этой связи при мониторинге адвективной пыльцевой составляющей в твердых атмосферных осадках необходимо соблюдать следующие условия: наличие устойчивого снежного покрова и отсутствие вегетации; событийный отбор твердых атмосферных осадков (снега) при помощи пробоотборника, соответствующего требованиям РМР; проведение лабораторной пробоподготовки седиментационным методом; комбинирование световой и сканирующей микроскопии.

2. Результаты впервые проведенного микроскопического анализа 460 проб твердых атмосферных осадков, отобранных в ходе мониторинга на юго-востоке Западной Сибири с соблюдением вышеописанных условий, показали наличие в 143 пробах пыльцевых зерен 12 таксонов, а в остальных образцах (317 шт.) пыльца не была обнаружена. Основная часть пыльцевых зерен содержалась в пробах осадков, отобранных в начале и конце холодных периодов, когда воздушные массы, обуславливающие их выпадение, приходили либо с территорий еще свободных от снежного покрова, либо уже освободившихся от него.

3. Анализ пыльцевых спектров, выделенных для каждой из четырех точек мониторинга, не выявил существенных изменений таксономического разнообразия для степной и лесостепной зон юго-востока Западной Сибири, что связано с незначительным удалением точек мониторинга друг от друга. Полученные результаты таксономического разнообразия показали целесообразность проведения верификаций, ранее выполненных палеореконструкций по данным пыльцевых спектров как для территории исследования, так и сопредельных регионов.

4. Разработанный и успешно реализованный алгоритм, базирующийся на траекторном моделировании, показал, что все адвективные пыльцевые зерна *Salix* sp., выделенные в пробах твердых атмосферных осадков, в независимости от периода и места отбора проб поступали только с территории юга Фенноскандии, а *Artemisia* sp. – Центрального Казахстана. Данные пыльцевые зерна были встречены не часто, довольно хорошо идентифицировались, но одновременного выделения пыльцы ивы и полыни в пробах осадков не отмечали, что обусловливает использование пыльцы этих таксонов в качестве одних из атмосферных трассеров горизонтальных связей региональных геосистем.

5. Полученные в ходе выполнения работы результаты стоит учитывать как при оценках изменений состояний природных объектов, так и при расчетах экологических рисков, например, потенциально возможного атмосферного поступления загрязняющих веществ с территорий, где происходило формирование воздушных масс, обусловивших выпадение атмосферных осадков.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в международные базы

1. Malygina N.S., Papina T.S., Blyakharchuk T.A., Nenasheva G.I., **Ryabchinskaya N.A. (Kuryatnikova N.A.)**, Eirich A. N. Isotopic composition and pollen spectra of precipitation and ice at the edge part of Korumdu Glacier (North Chu ridge, Altai Mountains) // Ice and snow. – 2017. –. № 1 (129). – P. 40–48. DOI: 10.15356/2076-6734-2015-1-40-48.

2. Malygina N.S., Zinchenko G.S., **Ryabchinskaya N.A. (Kuryatnikova N.A.),** Mitrofanova E.Yu. Sources of Biological Aerosols in Winter Precipitation in the South of Western Siberia // Russian Meteorology and Hydrology. – 2018. – V. 43 (4). – P. 264–270. DOI: 10.3103/S1068373918040088.

3. Mitrofanova E.Yu., **Kuryatnikova N.A.,** Malygina N.S., Demberel O. Algae-pollen monitoring in Altai Biosphere Reserve (Altai Republic, Russia) // Acta Biologica Sibirica. – 2019. – №5 (2). – P. 60–67. DOI: https://doi.org/10.14258/abs.v5.i2.5932.

4. **Kuryatnikova N.A.,** Malygina N.S., Mitrofanova E.Yu. Atmospheric input and diversity of bioaerosols in winter precipitation in the south of Western Siberia // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2022. – V. 35 – P. 146–150.

Статьи в научных журналах из перечня ВАК

5. Ненашева Г.И., Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю., Ловцкая О.В., **Рябчинская Н.А. (Курятникова Н.А.)**, Соколов А.В., Чухонцева С.В., Сахневич М.Б., Королева Е.Ф. Феноиндикаторы геосистемы Северо-Восточного Алтая // Известия Алтайского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2014. – № 3/2(83). – С. 129–134.

6. **Курятникова Н.А.,** Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю., Галанин А.А. Роль атмосферной циркуляции в формировании современного пыльцевого и альгологического состава атмосферных осадков Центральной Якутии // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2020. – № 32. – С. 42–60. DOI: 10.26516/2073-3402.2020.32.42.

7. **Курятникова Н.А.**, Малыгина Н.С., Золотов Д.В. Пыльца полыни (*Artemisia* sp.) в твердых атмосферных осадках Алтайского края и районы ее поступления // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 21–30.

Статьи в прочих научных изданиях

8. Ненашева Г.И., Малыгина Н.С., **Рябчинская Н.А. (Курятникова Н.А.)** Методический подход при палинологических исследованиях аэроспектров Барнаула // География и природопользование Сибири: сборник статей / под ред. проф. Г.Я. Барышникова. – Вып. 17. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. – 2014. – С.129–133.

9. Бляхарчук Т.А., Малыгина Н.С., **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.),** Ненашева Г.И. Пыльцевые спектры краевых частей ледника Корумду и атмосферных осадков в районе Северо-Чуйского хребта // Методы палеоэкологических исследований. Тезисы докладов палинологической школы-конференции с международным участием / Ред. А.А. Величко, Н.С. Болиховская, Е.Ю. Новенко, С.С. Фаустов. М.: Изд. Моск. ун-та – 2014. – С. 80.

10. **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.),** Малыгина Н.С., Ненашева Г.И. Таксономическое разнообразие пыльцевых спектров первой волны пыления г. Барнаула // Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Барнаул, 20-24 октября, 2015. – Барнаул: Изд-во Алтайского университета. – 2015. – С. 1533–1535.

11. **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.),** Малыгина Н.С., Ненашева Г.И. Пыльцевые спектры атмосферных биоаэрозолей г. Барнаула в первую волну пыления // Аэрозоли Сибири: Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН. – 2015 – С. 22.

12. Ненашева Г.И., **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.),** Малыгина Н.С. Особенности методологического подхода к определению формирования спорово-пыльцевых спектров // География и природопользование Сибири: сборник статей / под ред. проф. Г.Я. Барышникова. – Вып. 19. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. – 2015. – С.136–141.

13. **Ryabchinskaya N. (Kuryatnikova N.A.),** Nenasheva G., Malygina N. Identification sources of pollen spectra in dry and wet atmospheric deposition in the forest-steppe zone of Altai Krai (Russia) // Geophysical Research Abstracts. – 2015. –V. 17. – EGU2015-647-1.

14. Митрофанова Е.Ю., Малыгина Н.С., **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.),** Ненашева Г.И. Пыльца и водоросли в атмосферных осадках города Барнаула // Известия Алтайского отделения РГО – Барнаул. – 2015 – №3(38). – С. 63–69.

15. **Рябчинская Н.А**. **(Курятникова Н.А.)** Источники поступления пыльцевых спектров в зимний период на территории г. Барнаула // XXIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2016». Секция «География». Сборник тезисов. – М. Географический факультет МГУ. – 2016. – С. 105–106.

16. **Рябчинская Н.А. (Курятникова Н.А.)** Палинологический мониторинг аэрозолей биологического происхождения воздушного бассейна города Барнаула // Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Географические исследования Евразии: история и современность», посвященной 160-летию экспедиции П. П. Семенова на Тянь-Шань в рамках XII Большого географического фестиваля. – М.: Издательство «Перо». – 2016. – С. 134–136.

17. Малыгина Н.С., **Рябчинская Н.А. (Курятникова Н.А.)** Траекторный анализ – инструмент для идентификации регионов-источников атмосферных осадков // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета: материалы Второй региональной молодежной конференции «Мой выбор наука – НАУКА», XLIII научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов и учащихся лицейских классов. – Вып. 13 – Барнаул: Изд-во Алт. Ун-та. – 2016. – С.55–58.

18. **Рябчинская Н.А. (Курятникова Н.А.),** Малыгина Н.С., Папина Т.С., Митрофанова Е.Ю. Источники биологических аэрозолей в атмосферных осадках Центральной Якутии (г. Якутск) // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий и Байкальского региона: материалы I-й международной научно-практической конференции (26-29 июня 2017 г.). – Иркутск: Из-во ИРНИТУ. – 2017. – С. 126–129.

19. **Курятникова Н.А.,** Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю. Таксономическое разнообразие в пыльцевых спектрах зимних атмосферных осадков Алтая // Тезисы докладов всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий», Сочи, 24–29 сентября 2018 года.

20. **Курятникова Н.А.,** Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю. Пыльцевые зерна в зимних атмосферных осадках юга Западной Сибири // В сборнике: Избранные труды Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Томск. – 2020. – С. 250–253.

21. **Kuryatnikova N.,** Malygina N., Pershin D. Pollen in layers of seasonal snow in the South of Western Siberia // Ukrainian Journal of Ecology. – 2021. – V. 11 (3). – P. 401–405.

База данных

Курятникова Н.А., Малыгина Н.С. Спорово-пыльцевые и альгологические спектры в зимних атмосферных осадках зон взаимодействия нивально-гляциальных систем Алтая. База данных № 2021621843 RU, 02.09.2021; № заявки: 2021621752; Заявл. 25.08.2021; Опубл. 02.09.2021.