



УДК 551.54:582.232(571.56)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.42>

Роль атмосферной циркуляции в формировании современного пыльцевого и альгологического состава атмосферных осадков Центральной Якутии

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

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

А. А. Галанин

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Россия

Аннотация. В 2014–2015 гг. в Центральной Якутии (г. Якутск) было отобрано 57 проб атмосферных осадков, в 28 из которых при микроскопическом анализе обнаружены пыльцевые зерна и микроскопические водоросли. Максимальная концентрация пыльцы и водорослей наблюдается в летних пробах и представлена преимущественно местными таксонами. Адвективные пыльцевые зерна определены в единичных пробах и являются представителями *Tilia* sp. и *Acer* sp. Для оценки влияний атмосферных циркуляций на поступление адвективных пыльцевых зерен и водорослей с атмосферными осадками был проведен анализ синоптических процессов по классификации Дзердзеевского, что позволило определить регионы, с территорий которых с атмосферными осадками заносились пыльца и водоросли. Так, выявлено, что пыльцевые зерна *Acer* sp. в теплый период 2014 г. поступали с воздушными массами, сформированными над территориями, расположенными западнее района исследования. В холодный период пыльца сем. *Asteraceae* и диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. поступали с сопредельных территорий, свободных от снежного покрова, что способствовало вторичному подъему пыльцевых зерен. Пыльца *Tilia* sp., а также диатомея *Halamphora coffeaeformis* (Ag.) Levkov, обнаруженные в осадках теплого сезона 2015 г., были принесены воздушными массами, пришедшими с территорий, расположенных юго-восточнее, а именно с Приморья, где имеются ареалы распространения липы.

Ключевые слова: Центральная Якутия, атмосферные осадки, синоптические условия, пыльца, микроскопические водоросли.

Для цитирования: Роль атмосферной циркуляции в формировании современного пыльцевого и альгологического состава атмосферных осадков Центральной Якутии / Н. А. Курятникова, Н. С. Малыгина, Е. Ю. Митрофанова, А. А. Галанин // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 42–60. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.42>

Введение

Изучение рецентных (современных) спорово-пыльцевых и альгологических спектров (пыльца, споры и микроскопические водоросли), переносимых воздушными массами и выпадающих/осаждающихся вместе с атмосферными осадками, имеет важнейшее значение для анализа пыльцевой и альгологической составляющих четвертичных отложений при палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях. В составе рецентных спек-

тров, как правило, выделяют не только локальные компоненты, но и региональные, ареалы которых расположены в сотнях километров. Это свидетельствует о значительной роли атмосферной циркуляции в формировании таксономического состава рецентных спектров.

Широко распространенные в Восточной Сибири многолетнемерзлые породы (ММП) являются хорошими палеоархивами и содержат в себе информацию об увлажнении и термическом режиме, биологической продуктивности и ряде других параметров, что позволяет их использовать в качестве источников палеоклиматической и палеоэкологической информации. Интенсивное разрушение ММП, связанное с глобальными климатическими изменениями, может оказывать значительное влияние на формирование рецентных спектров, обогащая их экзотическими и вымершими таксонами. В целом все эти факторы могут затруднять интерпретацию биостратиграфических данных и снижать ее достоверность.

Состав пыльцевых и альгологических спектров характеризуется сезонной ритмичностью [Сафатов, 2012; Hader, Wright, Petters, 2014], что обусловлено в первую очередь синоптическими условиями периода пыления: температурой воздуха, относительной влажностью, осадками, скоростями и направлениями ветра и др. [Exploring the spatio-temporal ... , 2014]. Синоптические условия отражены на ежедневных синоптических картах, анализ которых позволяет установить связь между метеорологическими параметрами и состоянием атмосферы, а именно классифицировать атмосферную циркуляцию и определить направления движения воздушных масс для конкретных дат [Perspectives on the ... , 2016].

В этой связи особый интерес представляет рассмотрение влияний синоптических условий на особенности поступления пыльцы и водорослей с атмосферными осадками на территории, где распространены многолетнемерзлые породы – естественные палеоархивы, содержащие информацию о состояниях окружающей среды и в которых, несмотря на отмечающуюся деградацию, покрытая споропропиленом пыльца и имеющие кремнистый панцирь водоросли довольно хорошо сохраняются. В настоящей статье авторами представлены результаты микроскопического анализа 57 проб атмосферных осадков, отобранных на территории г. Якутска в 2014–2015 гг., позволяющих выявить взаимосвязь между синоптическими процессами и составом пыльцевых и альгологических спектров. Целью данной работы ставилось выявление таксономического разнообразия пыльцевых и альгологических спектров в современных атмосферных осадках Центральной Якутии, а также анализ синоптических процессов в их формировании.

Район исследования

Центральная Якутия расположена в восточной части Восточно-Сибирской равнины в бассейне среднего течения р. Лены. С востока и северо-востока данная территория окружена Верхоянским хребтом, а с юга – Алданским нагорьем, что способствует устойчивому положению здесь Сибирского антициклона на протяжении всего года, а также свободному проникновению арктических воздушных масс (рис. 1).

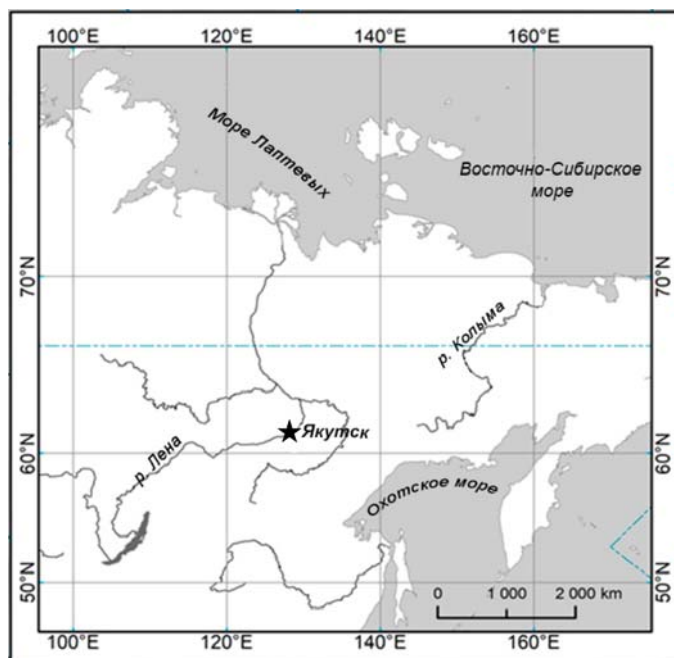


Рис 1. Район исследования (звездочка – место отбора проб)

Климатически район относится к наиболее холодной ультраконтинентальной области Северного полушария. По данным метеостанции г. Якутска, среднегодовая температура – около $-10,2^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля составляет $+19,5^{\circ}\text{C}$, января $-38,6^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум $+38,4^{\circ}\text{C}$ (17.07.2011), минимум $-64,4^{\circ}\text{C}$ (05.02.1891), максимальная амплитуда температуры – 108°C . Среднегодовое количество осадков за 130-летний период метеонаблюдений варьировало от 147 (2001 г.) до 330 мм (1971 г.). Средняя многолетняя годовая сумма осадков составляет 237 мм, что сравнимо с данными показателями пустынных регионов. Соотношение зимних и летних осадков – примерно 1/6 [Гаврилова, 1962; Скачков, 2012]. В некоторые годы испарение зачастую превышает количество выпавших в регионе осадков [Seasonal variation in ... , 2001].

Особенности климатических условий Центральной Якутии и разнообразие почвенного покрова обусловили специфику растительного покрова этого региона. Флора Центральной Якутии насчитывает 1032 таксона высших сосудистых растений [Флора Якутии ... , 2010], но, несмотря на низкий коэффициент увлажнения, близкий к коэффициенту пояса пустынь и степей, благодаря повсеместному распространению ММП [Permafrost is warming ... , 2018] и высокому уровню надмерзлотных вод здесь доминируют таежные сообщества.

Наиболее распространенными древесными эдификаторами являются лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна (*Pinus sylvestris* L.), ель (*Picea obovata* Ledeb.) и береза плосколистная (*Betula platiphylla* Sukaczew), формирующие как самостоятельные (монодоминантные) группировки, так и мно-

жество различных ассоциаций. В среднем ярусе таежных сообществ обычно присутствуют несколько видов древовидных и кустарниковых берез (*Betula pendula* Roth, *B. exilis* Sukaczew, *B. nana* L.), ольховый стланик (*Alnus alnobetula* subsp. *fruticosa* (Rupr.) Raus), шиповник (*Rosaceae* sp.), реже встречаются осина (*Populus tremula* L.) и кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). В нижнем ярусе, как правило, доминируют вересковые кустарнички (сем. *Ericaceae*), плаунки (сем. *Licopodiaceae*), мохообразные (*Bryophyta*), кустистые лишайники (*Cladina* sp., *Cetraria* sp. и др.) и разнотравье. Травянистые группировки представлены значительным количеством таксонов, среди которых преобладают злаковые, осоковые и сложноцветные (сем. *Poaceae*, *Asteraceae* и *Cyperaceae*) [Флора Якутии ... , 2010].

Безлесные ландшафты распространены преимущественно на некоторых участках высоких пойм и крутых уступах речных террас, в аласных котловинах, а также на наиболее крутых склонах южных экспозиций. Они представлены лугами, лугостепями, обедненными степями и полупустынями. В степных и лугово-степных группировках эдификаторами являются ковыль (*Carex duriuscula* С.А. Мей.), овсяница (*Festuca lenensis* Drobow), кобрезия (*Kobresia filifolia* (Turcz.) С.В. Clarke), осоки (*Carex pediformis* С.А. Мей. и др.), полыни (*Artemisia* sp.), лютиковые (*Anemone sylvestris* L. и др.).

Полупустынные группировки распространены главным образом в пределах незакрепленных дюнных массивов, реже на сухих каменистых склонах южных экспозиций, сложенных карбонатными породами. Эдификаторами здесь выступают ксерофитные полукустарнички и полыни (*Krascheninnikovia lenensis* (Kuminova) Tzvelev, *Ephedra monosperma* С. А. Мей., *Thymus* sp., *Artemisia* sp.), а также некоторые эндемичные злаки и осоки.

Диатомовая флора водоемов Якутии в целом представляет флору умеренно континентального типа, характерную для Палеарктики, по составу и характеру экологических групп определяется как пресноводная, свойственная относительно мелководным водоемам со слабощелочной активной реакцией среды. При достаточно большом таксономическом разнообразии диатомей (более 500 таксонов) набор массовых видов в водоемах сравнительно невелик. Большой частотой встречаемости среди видов характеризуются *Sellaphora pupula* (Kütz.) Mereschkovsky, *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kutz. и *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehr. Считается, что эти виды наиболее адаптированы к существованию в условиях резко континентального климата, повсеместного распространения многолетней мерзлоты и нестабильного гидрологического режима большинства водоемов региона [Городничев, 2015]. Отмечают, что распространенными видами в водоемах Якутии являются виды-космополиты [Пшенникова, Копырина, Васильева-Кралина, 2012], т. е. те виды, которые могут обитать в сходных биотопах, но в разных регионах Земли. Индикаторно значимых видов-эндемиков, которые могут непосредственно указать на водоем-источник, не обнаружено. Так, например, о таких видах нет упоминания в работе Р. М. Городничева [2015], проанализировавшего состав диатомовых комплексов озерных систем севера Якутии.

Материалы и методы

Пробоотбор

Фактическим материалом статьи являются 57 проб атмосферных осадков, отобранных в период с апреля 2014 г. по июнь 2015 г. на стационарной площадке ИМЗ СО РАН (62.1° с. ш., 129.8° в. д., высота 103 м над у. м.) в г. Якутске. Сразу после отбора проводили измерение объема собранных осадков, затем образцы помещали в плотно закрытые контейнеры и добавляли 40%-ный формалин для сохранности биообъектов. До начала анализа отобранные пробы хранились в холодильнике. Все образцы были доставлены в ИВЭП СО РАН (г. Барнаул) в герметичных контейнерах для исключения вторичного попадания пыльцевых зерен и водорослей. Временной интервал отбора проб (2014–2015 гг.) был условно разделен на три периода – два теплых и один холодный, в зависимости от того, в каком агрегатном состоянии выпадали атмосферные осадки. Теплый период охватывал временной интервал, в течение которого атмосферные осадки выпадали в жидком виде (дождь), в холодный период осадки выпадали в твердом виде (снег). Таким образом, первый теплый период длился с 23 апреля по 28 сентября 2014 г.; холодный период – с 29 сентября 2014 г. по 31 марта 2015 г.; второй теплый период, в силу изменений условий отбора, продолжался с 17 апреля по 4 июня 2015 г., т. е. охватывал только начало теплого сезона.

Микроскопирование

Микрокопирование выполнено с помощью светового микроскопа Nikon H550L при увеличении в 400 раз. Для подсчета использовали счетную камеру Нажотта объемом 0,5 мл. Препараты просматривали регулярно расположенными непрерывными трансектами, перпендикулярными продольной оси препарата. Определение и подсчет биообъектов, в том числе пыльцы высших растений и микроскопических водорослей, проводили стандартными методами, применяемыми при палинологических и гидробиологических исследованиях [Руководство по гидробиологическому..., 1992]. Для идентификации видовой принадлежности использовались определители [Определитель диатомовых водорослей ... , 2016] и атласы [Куприянова, Алешина, 1972; Хурсевич, 1989], а также международные базы данных [Algae base]. Для уточнения таксономического состава спорово-пыльцевых спектров атмосферных осадков была применена сканирующая электронная микроскопия (SEM S-3400N Hitachi Science Systems Ltd, Япония). В ходе пробоподготовки для СЭМ отобранные образцы были объединены в 14 групп по временному признаку в соответствии с фенологическими фазами, выделенными на основе анализа метеорологических условий исследуемого периода в Центральной Якутии.

Синоптический анализ

Анализ синоптических условий, детерминирующих поступление и последующее осаждение пыльцы и водорослей с атмосферными осадками в изучаемом регионе, выполняли по метеорологическим данным, зафиксированным непосредственно при отборе проб и по данным реанализа NCEP/NCAR [Physical Sciences Laboratory]. В дальнейшем влияние синоп-

тических условий на формирование спорово-пыльцевых и альгологических спектров рассматривали на основе календаря последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) по классификации Дзердзеевского [Колебания циркуляции атмосферы...]. Календарь включает в себя информацию о ежедневной смене ЭЦМ в Северном полушарии и базируется на данных синоптических карт и карт барической топографии (АТ-850, АТ-700 и АТ-500). Основным признаком, по которому проведена классификация циркуляций атмосферы, т. е. выделены ЭЦМ, – это наличие или отсутствие блокирующих процессов в Северном полушарии, их направление и количество, в отдельную группу выделены процессы с циклонической циркуляцией на полюсе. Таким образом, в классификации циркуляций атмосферы по Дзердзеевскому выделен 41 подтип ЭЦМ, который детально как во времени, так и в пространстве отражает основные траектории движения воздушных масс в Северном полушарии, представленные на динамических схемах ЭЦМ [Кононова, 2009]. Подобный подход, а именно определение связи между синоптическими условиями и концентрацией пылицы в окружающей среде на основе классификаций циркуляций атмосферы Вангенгейма – Гирса, Лэмба, Шуэппа и др., ранее уже успешно реализовывался в Европе [Laiidi, 2001; An objective classification ... , 2006; Classifications of Atmospheric ... , 2008; Weather elements, chemical ... , 2015; Hebborn, Cakmak, 2015].

Результаты и обсуждения

Спорово-пыльцевые и альгологические спектры

При микроскопировании более чем в 50 % проб были обнаружены пыльцевые зерна, панцири диатомовых и цисты золотистых водорослей, которые составили пыльцевой и альгологический спектры, характеризующие качественный (таксономический, видовой) состав пылицы и микроскопических водорослей в атмосферных осадках. Пыльцевой спектр состоял из представителей лиственных (*Acer* sp., *Alnus* sp., *Betula* sp., *Populus* sp., *Tilia* sp.) и хвойных (*Pinus* sp.) деревьев, а также трав (сем. *Apiaceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*) (табл.). В общем спектре существенно превалировала пыльца древесных таксонов (более 85 %), при этом максимальное количество приходилось на пыльцу *Betula* sp. – 62 % и *Pinus* sp. – 14 %, которые также преобладали во всех сезонных спектрах. Пыльцевые зерна *Alnus* sp., *Populus* sp. были отмечены лишь в 8 пробах обоих теплых периодов. Идентифицированные пыльцевые зерна *Acer* sp. и *Tilia* sp., обнаруженные в двух разных пробах, очевидно, имеют адвективное (заносное) происхождение, поскольку они не присутствуют в современной флоре региона [Флора Якутии ... , 2010]

Пыльца травянистых таксонов составила 15 % от всего спектра и представлена ведущими травянистыми таксонами Центральной Якутии, относящимися к ксерофитной экологической группе. Идентифицированные пыльцевые спектры были зафиксированы только в пробах теплых периодов, за исключением одной пробы холодного периода, когда были определены пыльцевые зерна представителя сем. *Asteraceae*. Максимальное количество

пыльцевых зерен травянистых таксонов приходилось на теплый период 2014 г.: существенно преобладала пыльца растений сем. *Apiaceae*, *Asteraceae*, при этом пыльца сем. *Chenopodiaceae*, *Poaceae* была представлена в равном количестве.

Таблица

Таксономическое разнообразие и концентрация пыльцы, диатомовых и золотистых водорослей в пробах атмосферных осадков Центральной Якутии (2014–2015 гг.)

Таксон	Общее кол-во, тыс. шт/м ³	Вклад в общий спектр, %	Кол-во проб, в которых обнаружены пыльца и водоросли
Пыльцевой спектр			
Древесные			
<i>Acer</i> sp.	0,138	0,26	1
<i>Alnus</i> sp.	1,475	2,61	3
<i>Betula</i> sp.	17,521	62,04	20
<i>Pinus</i> sp.	12,843	14,13	14
<i>Populus</i> sp.	2,965	6,28	5
<i>Tilia</i> sp.	0,021	0,26	1
Травянистые			
<i>Artemisia</i>	4,056	4,94	2
сем. <i>Apiaceae</i>	5,531	1,83	4
сем. <i>Asteraceae</i>	11,126	5,75	7
сем. <i>Chenopodiaceae</i>	2,385	1,38	2
сем. <i>Poaceae</i>	0,062	0,52	2
Альгологический спектр			
Диатомовые			
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	2,993	14,29	1
<i>Encyonema ventricosum</i>	0,973	8,16	1
<i>Halamphora coffeaeformis</i>	0,144	2,04	7
<i>Hantzschia amphioxys</i>	2,77	16,33	2
<i>Planothidium lanceolatum</i>	0,0448	2,04	8
<i>Cyclotella</i> sp.	1,946	10,20	1
<i>Navicula</i> sp.	0,6838	12,25	4
Золотистые			
<i>Chrysococcus rufescens</i>	2,5046	24,49	12
Стоматоцисты	1,2728	10,20	5

Альгологический спектр проанализированных проб был представлен диатомовыми (*Hantzschia amphioxys*, *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czar., *Planothidium lanceolatum* (Bréb.) Lang.-Bert., *H. coffeaeformis*, *Encyonema ventricosum* (Ag.) Grun., *Cyclotella* sp., *Navicula* sp.) и золотистыми водорослями (*Chrysococcus rufescens* Klebs, стоматоцисты). Диатомеи существенно преобладали в спектре, составляя 65 % от общего количества, в том числе более 30 % спектра приходилось на *H. amphioxys* и *A. minutissimum*. В альгофлоре Якутии одни диатомовые водоросли, такие как *H. amphioxys*, *A. minutissimum* и *P. lanceolatum*, являются широко рас-

пространенными и встречаются во многих водоемах, а другие не зафиксированы в альгологических сводках [Городничев, 2015]. Так, не отмечена для водоемов Якутии и мелкоклеточная золотистая водоросль *Ch. rufescens*, хотя относится к космополитичным видам и встречается во многих водоемах Севера России – от Невской губы до Магадана и Колымы [Волошко, 2017]. Представители рр. *Cyclotella* и *Navicula* встречаются повсеместно, какие именно – при данном исследовании определить не удалось ввиду малого количества обнаруженных экземпляров. В водоемах Якутии обнаружено 10 видов первого рода и 28 – второго [Городничев, 2015].

В пыльцевых и альгологических спектрах были выявлены сезонные отличия. Так, в пыльцевом спектре первого теплого периода 2014 г. наблюдалось богатое таксономическое разнообразие с высоким содержанием пыльцы древесных таксонов (66 %), в первую очередь лиственных, и особенно *Betula* sp. (более 35 %). Хвойные таксоны были представлены пыльцой *Pinus* sp., что составило около 30 % от общего спектра первого теплого периода. В группе травянистых растений преобладала пыльца сем. *Asteraceae* (13 %) и в равном количестве (по 4 %) было пыльцы сем. *Apiaceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*. В альгологическом спектре превалировала *H. amphioxys* (20 % общего количества). Кроме того, были отмечены *A. minutissimum*, *Cyclotella* sp., *Ch. rufescens* (по 16 %).

Второй теплый период был ограничен лишь началом теплого сезона, что, естественно, отразилось на таксономическом разнообразии его спектра. Так, в результате микроскопирования была обнаружена пыльца только древесных таксонов, среди которых существенно преобладала береза *Betula* sp. (более 80 %). Стоит отметить, что в данных пробах было найдено одно пыльцевое зерно липы (*Tilia* sp.), предположительно, адвективного (заносного) характера, которое не встречалось в пробах других периодов. Альгологический спектр включал единичные представители диатомей (*H. amphioxys*, *A. minutissimum*, *H. coffeaeformis*, *E. ventricosum*, *Cyclotella* sp., *Navicula* sp.) и золотистые водоросли (*Ch. rufescens*, стоматоцисты).

Электронно-микроскопическое исследование проб, объединенных по фенологическим признакам (14 групп), показало следующее. В объединенной пробе, относящейся к фенологической фазе умеренно теплого лета (27.06–11.08.2014), были идентифицированы пыльцевые зерна *Pinus sibirica* R. Maug. (рис. 2, а–в), для которых характерно наличие воздушных мешков, способствующих переносу пыльцы по воздуху на большие расстояния. Согласно ботаническому описанию района исследования [Флора Якутии ... , 2010], данный таксон не встречается в Центральной Якутии, что позволяет предположить его адвективное происхождение. Использование СЭМ, в отличие от светового микроскопирования, дополнительно позволило обнаружить пыльцевые зерна округлой (предположительно, сем. *Betulaceae*) (рис. 2, г), а также эллипсоидной и округлой формы (рис. 2, д–е), которые, к сожалению, достоверно не определены.

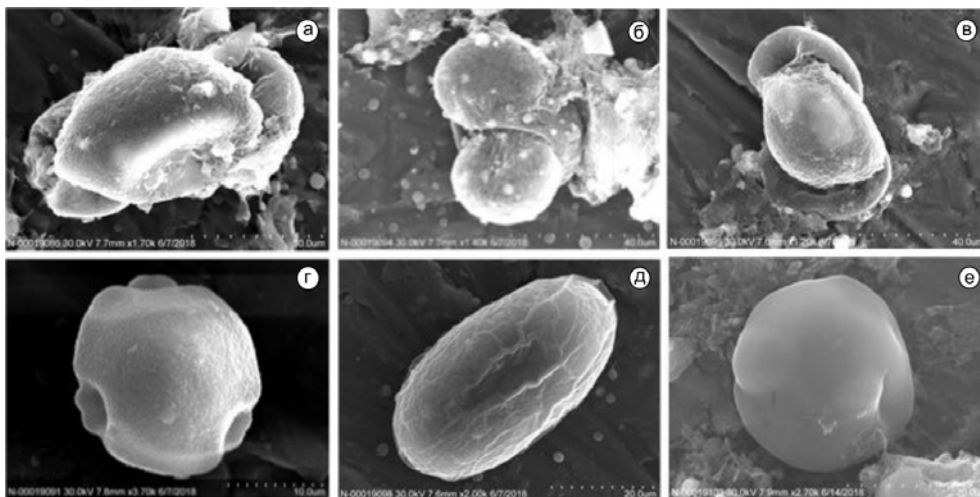


Рис. 2. Пыльцевые зерна растений, обнаруженные в пробах Центральной Якутии (*Pinus sibirica* R. Maug. (а–в), сем. *Betulaceae* (г); неопределенные (д, е))

Пробы, отобранные в Центральной Якутии в холодный период (2014–2015 гг.), отличались бедным пыльцевым спектром, представленным зернами древесных *Betula* sp. и сосны *Pinus* sp. Травянистые были представлены единственным пыльцевым зерном сем. *Asteraceae*. Все идентифицированные таксоны в атмосферных осадках холодного периода широко распространены в растительном покрове Центральной Якутии. Альгологический спектр включал водоросли (*A. minutissimum*, *P. lanceolatum*, *E. ventricosum*, *Navicula* sp.) и золотистые водоросли (*Ch. rufescens*, стоматоцисты).

В целях оценки влияния синоптических процессов на формирование пыльцевых и альгологических спектров атмосферных осадков Центральной Якутии, и в первую очередь возможного адвективно поступления ряда таксонов, необходим совокупный анализ атмосферных циркуляций и состава спектров атмосферных осадков.

Циркуляционные условия

Анализ циркуляционных условий в Центральной Якутии (2014–2015 гг.) по данным NCEP/NCAR показал следующее. В приземном слое (на уровне 1000 мб) не было сформировано длительно существующих, четко выраженных барических образований (рис. 3, а), что, естественно, отразилось на размытом поле скоростей и направлений ветра (рис. 3, б), т. е. однозначных тенденций в смене атмосферных циркуляций не было выявлено. На высотах порядка 1500 м (уровень 850 мб) над Центральной Якутией превалировал западный перенос воздушных масс, о чем свидетельствуют средние значения высот геопотенциала (рис. 3, в), скоростей и направлений ветра (рис. 3, г).

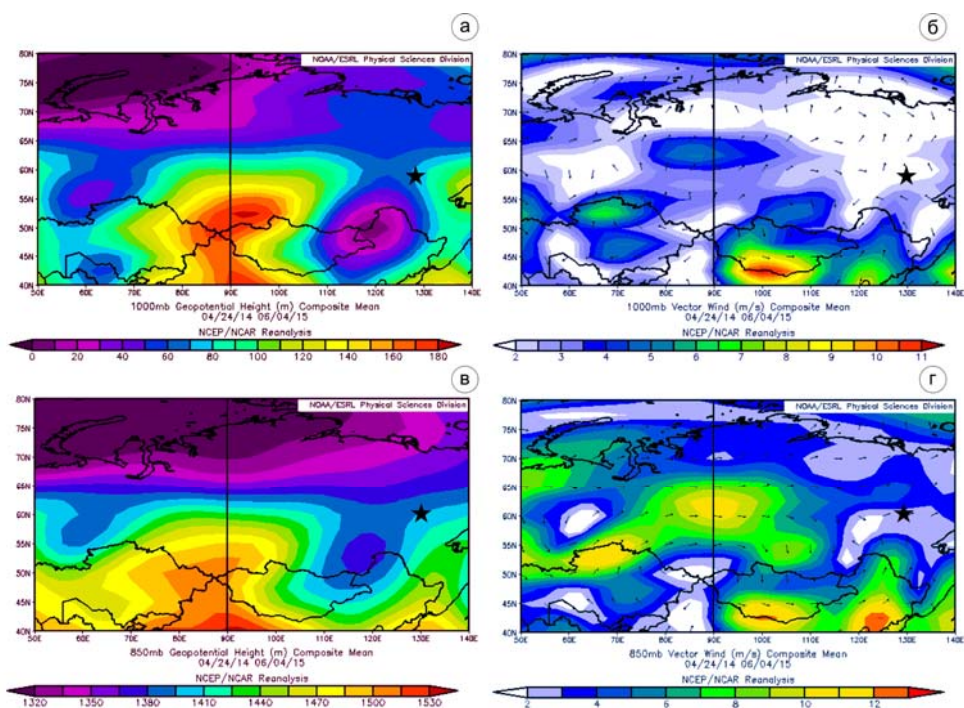


Рис. 3. Высоты геопотенциала (м) (а и в) и средние скорости (м/с) с направлениями ветра (стрелки) (б и г) на уровне 1000 мб (а и б) и 850 мб (в и г) в период с 24 апреля 2014 г. по 4 июня 2015 г. (звездочка – место отбора проб)

Изменения в атмосферной циркуляции, по данным календаря смены ЭЦМ [Колебания циркуляции атмосферы...], в целом за исследуемый период были близки к средним значениям (1986–2015 гг.), однако отмечались некоторые особенности. Так, в начале первого теплого периода (июнь 2014 г.) ЭЦМ 4б имел максимальную продолжительность для июня, а в Центральную Якутию в это время приходили циклоны с запада (рис. 3, а). В начале холодного периода 2014–2015 гг. существенно преобладал ЭЦМ 13л, а именно наблюдался почти в три раза дольше, чем в среднем за предыдущие 30 лет. При данном подтипе ЭЦМ, согласно динамической схеме ЭЦМ 13л (рис. 4, б), над территорией Центральной Якутии превалировал западный перенос воздушных масс. В конце второго теплого периода (в мае 2015 г.) ЭЦМ 12 бл встречался в пять раз чаще, чем в 1986–2015 гг., т. е. воздушные массы в Центральную Якутию поступали с юга (рис. 5, б). Таким образом, за исследуемый период над Центральной Якутией отмечалось как минимум три периода нетипичных состояний в атмосферной циркуляции.

Атмосферная циркуляция, пыльцевые и альгологические спектры

Проведенный микроскопический анализ атмосферных осадков, отобранных в Центральной Якутии, позволил обнаружить в пробах теплого периода несколько нетипичных для территории исследования пыльцевых зерен (*Acer sp.* и *Tilia sp.*), а также только в одной пробе холодного периода

была отмечена пыльца сем. *Asteraceae*. Для определения влияний атмосферных циркуляций на особенности поступления и распределения пыльцы и водорослей, идентифицированных в атмосферных осадках, был реализован совокупный анализ данных календаря ЭЦМ и значений средних скоростей и направлений ветра. Поля ветра были получены на основе данных реанализа NCEP/NCAR для уровня 850 мб, что соответствует высоте примерно 1500 м. Карты с аналогичными высотами используются при оставлении календаря ЭЦМ, высота в 1500 м является одной из общепринятых высот при аэробιологических исследованиях [Source regions of ... , 2017].

Пыльцевые зерна *Acer* sp. были определены только в пробе первого теплого периода, отобранной 27.06.2014. Данный таксон является нетипичным для региона исследования, так как не упоминается во флористическом описании региона, что указывает на возможности заноса идентифицированных пыльцевых зерен. В целях подтверждения адвективного поступления определенной пыльцы был проанализирован календарь смены ЭЦМ и получены данные реанализа о скоростях и направлениях ветра. Так, атмосферные осадки, выпадавшие 27.06.2014 при ЭЦМ 4б, были обусловлены циклоническими воздушными массами, приходящими с запада согласно динамической схеме ЭЦМ 4б (рис. 4, а). Этот факт подтверждается существенными скоростями (более 6 м/с) и направлениями ветров (преимущественно с запада на восток), преобладавших на уровне 850 мб над Центральной Якутией 27 июня 2014 г. Важно отметить, что при анализе циркуляционных условий всего периода исследований было показано, что ЭЦМ 4б имел значительную продолжительность в июне относительно предыдущих лет. При описанной синоптической ситуации воздушные массы, определившие атмосферные осадки, поступали с западных территорий, где цветение клена, согласно суммам активных температур, уже наблюдалось, и карты произрастания это подтверждают.

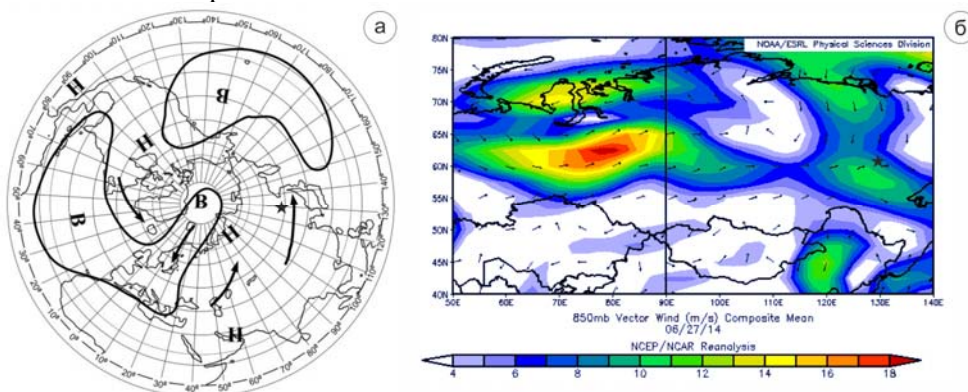


Рис. 4. Динамическая схема ЭЦМ 4б (а) и средние скорости (м/с) и направление ветра на уровне 850 мб (б) на 27.06.2014: а) стрелками обозначены генерализованные траектории циклонов; Н – область низкого давления; В – область высокого давления; б) стрелками показаны направления ветра (звездочка – место отбора проб)

В течение холодного периода 2014–2015 гг. было идентифицировано незначительное количество пыльцевых зерен и микроскопических водорослей. Так, лишь в одной пробе атмосферных осадков, отобранной в начале периода (29.09.2014), были определены пыльцевые зерна сем. *Asteraceae* и диатомовая водоросль *H. amphioxys*. Атмосферные осадки 29.09.2014 в Центральной Якутии выпадали при ЭЦМ 13л, согласно данным календаря последовательной смены ЭЦМ. Этот подтип ЭЦМ в начале холодного периода 2014–2015 гг. существенно преобладал, что является нетипичным для данного периода года, и это необходимо учитывать в дальнейшем. Согласно динамической схеме ЭЦМ 13л (рис. 5, а), над территорией Центральной Якутии доминирует западный перенос воздушных масс, что довольно хорошо подтверждают результаты анализа скоростей и направлений ветра по данным NCEP/NCAR (рис. 5, б). Анализ карт распространения снежного покрова [Earth System Research...] на конец сентября 2014 г. показал, что территория, где производился отбор проб, уже была покрыта снежным покровом, а сопредельные территории, особенно расположенные западнее, были еще открыты. Это указывает на возможный вторичный подъем пыльцевых зерен и микроскопических водорослей, т. е. на адвективный характер их поступления.

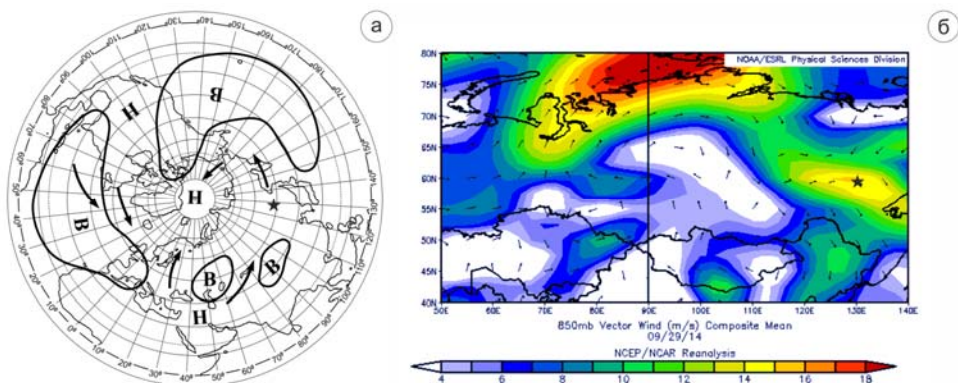


Рис. 5. Динамическая схема ЭЦМ 13л (а) и средние скорости (м/с) и направление ветра на уровне 850 мб (б) на 29.09.2014: а) стрелками обозначены генерализованные траектории циклонов; Н – область низкого давления; В – область высокого давления; б) стрелками показаны направления ветра (звездочка – место отбора проб)

Анализ проб теплого периода 2015 г. показал особенные результаты, а именно: в пробе от 27.05.2015 была определена пыльца и *Tilia* sp., а также диатомея *H. coffeaeformis*. Следует отметить, что идентифицированные пыльцевые зерна *Tilia* sp. являются нетипичным для пыльцевого спектра, отражающего флору района исследования, и имеют, скорее всего, адвективный характер. Данное предположение подтверждает и особенность распространения липы, а именно ее тяготение к территориям с более теплым и влажным климатом (например, Закавказью и Приморью) [Лесная энциклопедия]. Для более точного определения регионов, с территорий которых

могла поступать пыльца липы, были проанализированы ЭЦМ на время отбора проб атмосферных осадков. Так, атмосферные осадки в Центральной Якутии 27.05.2015 были обусловлены воздушными массами, приходившими с юга согласно динамической схеме ЭЦМ 12бл, именно этот подтип ЭЦМ был определен для анализируемой даты (рис. 6, а). При этом ЭЦМ 12бл в мае 2015 г. встречался в пять раз чаще, чем в среднем за последние 30 лет. Данное развитие ситуации – поступление воздушных масс с юга подтверждают и направления ветров на уровне 850 мб (рис. 6, б), т. е. доказывается возможность поступления пыльцы липы с территории Приморья, которая как раз и является ареалом распространения *Tilia* sp. [Лесная энциклопедия].

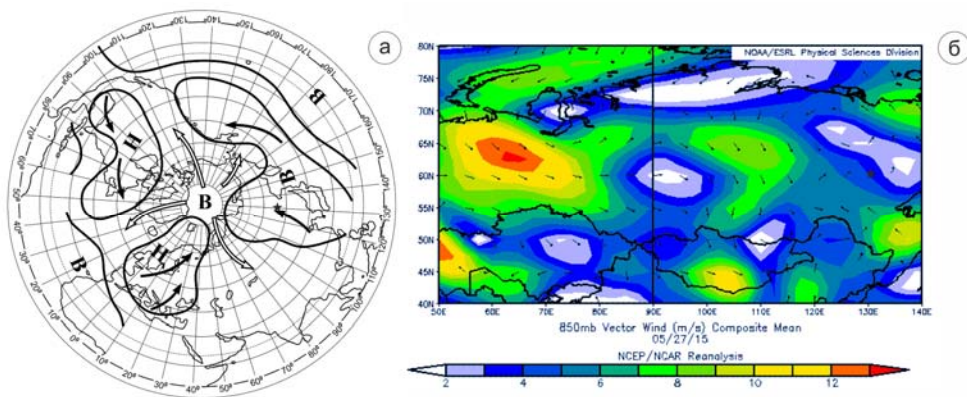


Рис. 6. Динамическая схема ЭЦМ 12бл (а) и средние скорости (м/с) и направление ветра на уровне 850 мб (б) на 27.05.2014: а) стрелками обозначены генерализованные траектории циклонов; Н – область низкого давления; В – область высокого давления; б) стрелками показаны направления ветра (звездочка – место отбора проб)

Заключение

Результаты анализа 57 проб атмосферных осадков, отобранных в Центральной Якутии в течение 2014–2015 гг., показывают, что в 28 пробах были обнаружены пыльцевые зерна лиственных (*Acer* sp., *Alnus* sp., *Betula* sp., *Populus* sp., *Tilia* sp.) и хвойных (*Pinus* sp.) деревьев, трав (сем. *Apiaceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*), а также диатомовые водоросли (*H. amphioxys*, *A. minutissimum*, *P. lanceolatum*, *H. coffeaeformis*, *E. ventricosum*, *Cyclotella* sp., *Navicula* sp.) и золотистые (*Ch. rufescens*, стоматоцисты).

Максимальная концентрация пыльцы и альгофлоры наблюдается в летних пробах и представлена преимущественно местными таксонами, широко распространенными на территории Центральной Якутии. Заносные таксоны представлены единичными зёрнами липы, клена, сосны сибирской. Данные таксоны не встречаются в современной флоре региона, а ближайшие границы их ареалов расположены за несколько сотен (сосна сибирская) и тысяч километров (липа, клен).

Анализ особенностей распределения пыльцы и водорослей в зависимости от синоптических процессов продемонстрировал, что максимальные из-

менения очень хорошо согласуются с данными ЭЦМ по классификации Дзерdzeевского, что позволяет определять особенности атмосферной циркуляции, влияющей на поступление пыльцы и водорослей с атмосферными осадками, в том числе и в холодный период. Так, пыльцевые зерна *Acer* sp., обнаруженные в теплый период 2014 г., поступили с воздушными массами из регионов, расположенных западнее Центральной Якутии. Пыльца сем. *Asteraceae* и диатомея *H. amphioxys*, определенные в пробах начала холодного сезона 2014–2015 гг., осаждались из воздушных масс, пришедших с сопредельных территорий, еще не покрытых устойчивым снежным покровом. Одновременно выявленные пыльца *Tilia* sp., а также диатомовая водоросль *H. coffeaeformis* в пробах теплого периода 2015 г. поступили с воздушными массами, пришедшими с территории Приморья, где уже было возможно пыление данных таксонов и развитие в бентосе мелководных водоемов диатомей, что подтверждается картами полей ветра и синоптическим анализом.

Таким образом, использование классификации элементарных циркуляционных механизмов Дзерdzeевского позволяет не только описывать особенности атмосферной циркуляции в исследуемом регионе, но и определять процессы, контролируемые поступление пыльцы и водорослей с атмосферными осадками, а также территории, с которых они могли переноситься. Одновременно выявленные комбинации нескольких таксонов пыльцы и водорослей и отдельных подтипов ЭЦМ могут быть использованы при региональных палеорекострукциях, базирующихся на спорово-пыльцевых и альгологических спектрах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН АААА-А17-117041210242-1 (микроскопический и синоптический анализы) и при частичной поддержке РФФИ-РС(Я) № 18-45-140012, РФФИ № 20-05-00366 А (отбор проб).

Список литературы

- Волошко Л. Н. Золотистые водоросли водоемов Севера России. СПб. : Реноме, 2017. 380 с.
- Гаврилова М. К. Климат Центральной Якутии. Якутск : Якут. кн. изд-во, 1962. 63 с.
- Городничев Р. М. Взаимосвязь состава диатомовых комплексов, морфометрических и гидрохимических характеристик озерных экосистем Севера Якутии : автореф. дис. ... канд. биол. наук, Якутск, 2015. 22 с.
- Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс]. URL: <http://atmospheric-circulation.ru/> (дата обращения: 03.04.2020)
- Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзерdzeевскому / отв. ред. А. Б. Шмакин ; РАН, Институт географии. М. : Воентехиниздат, 2009. 372 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры СССР. Л. : Наука, 1972. Т. 1. 171 с.
- Лесная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://forest.geoman.ru/> (дата обращения 03.04.2020)
- Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский, А. М. Глушченко, С. И. Генкал, И. В. Кузнецова. Ярославль : Филигрань, 2016. 804 с.

Пиенникова Е. В., Копырина Л. И., Васильева-Кралина И. И. Водоросли некоторых горных водоемов реки Алдан (Южная Якутия) // Вестник СВФУ. 2012. Т. 9, № 4. С. 30–35.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Сафатов А. С. Мониторинг биогенных компонентов атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири // Интерэкспо ГеоСибирь. 2012. № 3(2).

Скачков Ю. Б. Тенденции изменения климата Центральной Якутии на рубеже XX–XXI вв. // Материалы Междунар. науч. конф. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН. 2012. Т. 1. С. 38–41.

Флора Якутии: географический и экологический аспекты / Л. В. Кузнецова [и др.]. Новосибирск : Наука, 2010. 192 с.

Хурсевич Г. К. Атлас видов *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* (Bacillariophyta) из верхне-кайнозойских отложений СССР. Минск : Наука и техника, 1989. 167 с.

Algae base [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org/> (дата обращения: 18.12.2019)

An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special attention to plant pollen levels / L. Makra, M. Juhasz, J. Mika, A. Bartzokas, R. Beczi, Z. Sumeghy // International Journal of Biometeorology. 2006. Vol. 50(6). P. 403–421.

Classifications of Atmospheric Circulation Patterns / R. Huth, C. Beck, A. Philipp, M. Demuzere, Z. Ustrnul, M. Cahynova, J. Kysely, O. E. Tveito // Recent Advances and Applications. Trends and Direction in Climate Research: Ann. N. Y. Acad. Sci. 2008. Vol. 1146. P. 105–152. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.019>.

Earth System Research Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/> (дата обращения 03.04.2020)

Exploring the spatio-temporal relationship between two key aeroallergens and meteorological variables in the United Kingdom / N. Khwarahm, J. Dash, P. M. Atkinson, R. M. Newnham, C. A. Skjoth, B. Adams-Groom // International Journal of Biometeorology. 2014. Vol. 58. P. 529–545. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-013-0739-7>

Hader J. D., Wright J. D., Petters M. D. Contribution of pollen to atmospheric ice nuclei concentrations // Atmospheric Chemistry and Physics. 2014. Vol. 14. P. 5433–5449. <https://doi.org/10.5194/acp-14-5433-2014>

Hebbern C. M., Cakmak C. Synoptic weather types and aeroallergens modify the effect of air pollution on hospitalisations for asthma hospitalisations in Canadian cities // Environmental Pollution. 2015. Vol. 204. P. 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.010>.

Laiidi K. Predicting days of high allergenic risk during *Betula* pollination using weather types // International Journal of Biometeorology. 2001. Vol. 45. P. 124–132.

Permafrost is warming at a global / B. K. Biskaborn, S. L. Smith, J. Noetzi, H. Matthes, G. Vieira, D. A. Streletskiy, P. Schoeneich, V. E. Romanovsky, A. G. Lewkowicz, A. Abramov, M. Allard, J. Boike, W. L. Cable, H. H. Christiansen, R. Delaloye, B. Diekmann, D. Drozdov, B. Etzelmüller, G. Grosse, M. Guglielmin, T. Ingeman-Nielsen, K. Isaksen, M. Ishikawa, M. Johansson, H. Johannsson, A. Joo, D. Kaverin, A. Kholodov, P. Konstantinov, T. Kröger, C. Lambiel, J.-P. Lanckman, D. Luo, G. Malkova, I. Meiklejohn, N. Moskalenko, M. Oliva, M. Phillips, M. Ramos, A. B. K. Sannel, D. Sergeev, C. Seybold, P. Skryabin, A. Vasiliev, Q. Wu, K. Yoshikawa, M. Zheleznyak, H. Lantuit // Nature Communications. 2019. Vol. 10. P. 264. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>

Perspectives on the synoptic climate classification and its role in interdisciplinary research / P. G. Dixon, M. Allen, S. N. Gosling, D. M. Hondula, V. Ingole, R. Lucas // Geography Compass. 2016. Vol. 10. P. 147–164. <https://doi.org/10.1111/gec3.12264>

Physical Sciences Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data> (дата обращения: 03.04.2020)

Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia / T. Ohta, T. Hiyama, H. Tanaka, T. Kuwada, T. C. Maximov, T. Ohata, Y. Fukushima // *Hydrological Processes*. 2001. Vol. 15. P. 1459–1476. <https://doi.org/10.1002/hyp.219>

Source regions of ragweed pollen arriving in south-western Poland and the influence of meteorological data on the HYSPLIT model results / D. Bilińska, C. A. Skjøth, M. Werner, M. Kryza, M. Malkiewicz, J. Krynicka, A. Drzeniecka-Osiadacz // *Aerobiologia*. 2017. Vol. 33. P. 315–326. <https://doi.org/10.1007/s10453-017-9471-9>

Weather elements, chemical air pollutants and airborne pollen influencing asthma emergency room visits in Szeged, Hungary: performance of two objective weather classifications / L. Makra, J. Puskas, I. Matyasovszky, Z. Csepe, E. Lelovics, B. Balint // *International Journal of Biometeorology*. 2015. Vol. 59. P. 1269–1289. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0938-x>

The Role of Atmospheric Circulation in the Formation of Modern Pollen and Algological Composition in Precipitation in Central Yakutia

N. A. Kuryatnikova, N. S. Malygina, E. Yu. Mitrofanova

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

A. A. Galanin

Institute for Permafrost SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

Abstract. In 2014–2015 in Central Yakutia (Yakutsk) 57 precipitation samples were taken, in 28 of which pollen grains and microscopic algae were detected by microscopic analysis. The maximum concentration of pollen and algae is observed in summer samples and is represented mainly by local taxa. Adveective pollen grains were determined in single samples and are representatives of *Tilia* sp. and *Acer* sp. To assess the effects of atmospheric circulation on the advection of pollen grains and algae, synoptic processes were analyzed according to the Dzerdzeevsky classification. It allowed to determine the regions from whose territories pollen and algae were introduced. Thus, the pollen grains of *Acer* sp. of the warm period of 2014 came with air masses formed over territories located west of the study area. In the cold period pollen of sem. Asteraceae and diatom *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. came from neighboring territories that were free of snow cover, which contributed to the secondary rise of pollen grains. The pollen of *Tilia* sp. and the ditome *Halamphora coffeaeformis* (Ag.) Levkov, both detected in the sediments of the warm season of 2015, were brought by air masses coming from areas located southeast, namely from Primorye, where the areas of distribution of linden are.

Keywords: Central Yakutia, precipitation, synoptic conditions, pollen, microscopic algae.

For citation: Kuryatnikova N.A., Malygina N.S., Mitrofanova E.Yu., Galanin A.A. The Role of Atmospheric Circulation in the Formation of Modern Pollen and Algological Composition in Precipitation in Central Yakutia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 32, pp. 42–60. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.32.42> (in Russian)

References

Voloshko L.N. *Zolotistye vodorosli vodoemov Severa Rossii* [Golden algae waters of the North of Russia]. Saint-Peterburg, Renome Publ., 2017, 380 p. (in Russian)

Gavrilova M.K. *Klimat Tsentralnoi Yakutii* [Climate of Central Yakutia]. Yakutsk, Yakutskoe knizhnoe izdatelstvo Publ., 1962, 63 p. (in Russian)

Gorodnichev R.M. *Vzaimosvjaz' sostava diatomovykh kompleksov, morfometricheskikh i gidrohimicheskikh harakteristik ozernykh jekosistem Severa Jakutii* [Interrelation of the composition of diatom complexes, morphometric and hydrochemical characteristics of lake ecosystems in the North of Yakutia]. Cand. sci. diss. abstr. Yakutsk, 2015, 22 p. (in Russian)

Kolebanija cirkuljacii atmosfery Severnogo polusharija v XX – nachale XXI veka [Fluctuations in the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere in the XX-beginning of the XXI century]. Available at: <http://atmospheric-circulation.ru/> (date of access: 03.04.2020) (in Russian)

Kononova N.K. *Klassifikacija cirkuljacionnykh mehanizmov Severnogo polusharija po B.L. Dzerdzeevskomu* [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky]. Moscow, Voentehinzdat Publ., 2009, 372 p. (in Russian)

Kulikovskii M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. *Opredelitel' diatomovykh vodoroslei Rossii* [Determinant of Russia diatoms]. Yaroslavl', Filigran' Publ., 2016, 804 p. (in Russian)

Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. *Pyłtsa i spory rastenii flory SSSR* [Pollen and spores of flora plants of the USSR]. 1972, vol. 1, Leningrad, Nauka Publ., 171 p. (in Russian)

Lesnaja jenciklopedija [Forest Encyclopedia]. Available at: <http://forest.geoman.ru/> (date of access: 03.04.2020) (in Russian)

Pshennikova E.V., Kopyrina L.I., Vasilieva-Kralina I.I. *Vodorosli nekotorykh gornykh vodoemov reki Aldan (Juzhnaja Jakutija)* [Algae of some mountain's ponds of Aldan river area (South Yalutia)]. Vestnik Severo-Vostochnogo Federalnogo universiteta [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2012, vol. 9 (4), pp. 30-35. (in Russian)

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guide hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 318 p. (in Russian)

Safatov A.S. *Monitoring biogennykh komponentov atmosfernogo aerozolya yuga Zapadnoi Sibiri* [Monitoring of biogenic components of atmospheric aerosol in the south of Western Siberia]. Novosibirsk, Interekspo GeoSibir, 2012, no. 3(2). (in Russian)

Skachkov Yu.B. *Tendentsii izmeneniya klimata Tsentralnoi Yakutii na rubezhe XX–XXI vv* [Climate change trends in Central Yakutia at the turn of the 20th – 21st centuries]. Materialy Mezhdunar.nauch. konf, 2012. vol. 1, pp. 38-41. (in Russian)

Kuznetsova L.V., Zakharova V.I., Sosina N.K. et al. *Flora Yakutii: geograficheskii i ekologicheskii aspekty* [Flora of Yakutia: geographical and ecological aspects]. Novosibirsk, Nauka Publ, 2010, 192 p. (in Russian)

Khursevich G.K. *Atlas vidov Stephanodiscus i Cyclostephanos (Bacillariophyta) iz verkhne-kainozoiskikh otlozhenii SSSR* [Atlas of species Stephanodiscus and Cyclostephanos (Bacillariophyta) from the Upper Cenozoic sediments of the USSR]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ, 1989, 167 p. (in Russian)

Algae base. Available at: <http://www.algaebase.org/> (date of access: 18.12.2019)

Bilińska D., Skjøth C.A., Werner M., Kryza M., Malkiewicz M., Krynicka J., Drzeniecka-Osiadacz A. Source regions of ragweed pollen arriving in south-western Poland and the influence of meteorological data on the HYSPLIT model results. *Aerobiologia*, 2017, vol. 33, pp. 315-326. <https://doi.org/10.1007/s10453-017-9471-9>

Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzi J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A., Schoneich P., Romanovsky V.E., Lewkowicz A.G., Abramov A., Allard M., Boike J., Cable W.L., Christiansen H.H., Delaloye R., Diekmann B., Drozdov D., Etzelmueller B., Grosse G., Guglielmin M., Ingeman-Nielsen T., Isaksen K., Ishikawa M., Johansson M., Johansson H., Joo A., Kaverin D., Kholodov A., Konstantinov P., Kröger T., Lambiel C., Lanckman J.-P., Luo D., Malkova G., Meiklejohn, I., Moskalenko N., Oliva M., Phillips M., Ramos M., Sannel A.B.K., Sergeev D., Seybold C., Skryabin P., Vasiliev A., Wu Q., Yoshikawa K., Zheleznyak M., Lantuit H. Permafrost is warming at a global. *Nature Communications*, 2019, vol. 10, p. 264. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>

Dixon P.G., Allen M., Gosling S.N., Hondula D.M., Ingole V., Lucas R. Perspectives on the synoptic climate classification and its role in interdisciplinary research. *Geography Compass*, 2016, vol. 10, pp. 147-164. <https://doi.org/10.1111/gec3.12264>

Earth System Research Laboratory. Available at: URL: <https://www.esrl.noaa.gov/> (date of access: 18.12.2019)

Hader J. D., Wright J. D., Petters M. D. Contribution of pollen to atmospheric ice nuclei concentrations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, vol. 14, pp. 5433-5449. <https://doi.org/10.5194/acp-14-5433-2014>

Hebbern C.M., Cakmak C. Synoptic weather types and aeroallergens modify the effect of air pollution on hospitalisations for asthma hospitalisations in Canadian cities. *Environmental Pollution*, 2015, vol. 204, pp. 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.010>

Huth R., Beck C., Philipp A., Demuzere M., Ustrnul Z., Cahynova M., Kysely J., Tveito O. E. Classifications of Atmospheric Circulation Patterns. Recent Advances and Applications. *Trends and Direction in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 2008, vol. 1146, pp. 105-152. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.019>

Khwarahm N., Dash J., Atkinson P.M., Newnham R.M., Skjoth C.A., Adams-Groom B. Exploring the spatio-temporal relationship between two key aeroallergens and meteorological variables in the United Kingdom. *International Journal of Biometeorology*, 2014, vol. 58, pp. 529-545. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0739-7>

Laïidi K. Predicting days of high allergenic risk during Betula pollination using weather types. *International Journal of Biometeorology*, 2001, vol. 45, pp. 124-132.

Makra L., Juhasz M., Mika J., Bartzokas A., Beczi R., Sumeghy Z. An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special attention to plant pollen levels. *International Journal of Biometeorology*, 2006, vol. 50(6), pp. 403–421.

Makra L., Puskas J., Matyasovszky I., Csepe Z., Lelovics E., Balint B. Weather elements, chemical air pollutants and airborne pollen influencing asthma emergency room visits in Szeged, Hungary: performance of two objective weather classifications. *International Journal of Biometeorology*, 2015, vol. 59, pp. 1269-1289. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0938-x>

Ohta T., Hiyama T., Tanaka H., Kuwada T., Maximov T.C., Ohata T., Fukushima Y. Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia. *Hydrological Processes*, 2001, vol. 15, pp. 1459-1476. <https://doi.org/10.1002/hyp.219>

Physical Sciences Laboratory. Available at: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data> (date of access: 03.04.2020)

Курятникова Наталья Александровна

ведущий технолог

Институт водных и экологических проблем СО РАН

Россия, 656038, г. Барнаул,

ул. Молодежная, 1

e-mail: ryabchinnatalia@gmail.com

Kuryatnikova Natalya Aleksandrovna

Lead Technologist

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,

Russian Federation

e-mail: ryabchinnatalia@gmail.com

Малыгина Наталья Сергеевна

кандидат географических наук,

старший научный сотрудник

Институт водных и экологических проблем СО РАН

Россия, 656038, г. Барнаул,

ул. Молодежная, 1

e-mail: natmgn@gmail.com

Malygina Natalya Sergeevna

Candidate of Sciences (Geography),

Senior Researcher

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,

Russian Federation

e-mail: natmgn@gmail.com

Митрофанова Елена Юрьевна
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник
Институт водных и экологических
проблем СО РАН
Россия, 656038, г. Барнаул,
ул. Молодежная, 1
e-mail: emit@iwep.ru

Mitrofanova Elena Yurevna
Candidate of Sciences (Biology),
Senior Researcher
Institute for Water and Environmental
Problems SB RAS
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,
Russian Federation
e-mail: emit@iwep.ru

Галанин Алексей Александрович
доктор географических наук,
главный научный сотрудник
Институт мерзлотоведения СО РАН
Россия, 677010, г. Якутск,
ул. Мерзлотная, 36
e-mail: agalanin@gmail.com

Galanin Aleksey Aleksandrovich
Doctor of Sciences (Geography),
Chief Researcher
Institute of Permafrost SB RAS
36, Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010,
Russian Federation
e-mail: agalanin@gmail.com

Код научной специальности: 25.00.36

Дата поступления: 22.04.2020

Received: April, 22, 2020