

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ВАСИЛЕВСКАЯ

доктор биологических наук, профессор кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)
n.v.vasilevska@gmail.com

АННА ДМИТРИЕВНА ДОМАХИНА

магистр биологии, учитель биологии, основная общеобразовательная школа № 26 (Мурманск, Российская Федерация)
anna8774582@gmail.com

ПОЛИМОРФИЗМ ПЫЛЬЦЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. И *LARIX SIBIRICA* LEDEB. ГОРОДА МУРМАНСКА

Представлены данные палинологических исследований *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica* в г. Мурманске. Исследования пыльцы проводили ацетокарминовым методом. При палинологическом анализе *P. sylvestris* выделено 11 морфологических аномалий развития пыльцы: с редуцированным содержимым, без содержимого, без воздушных мешков, с редуцированными воздушными мешками, одно-мешковые, двухразномешковые, гипертрофированные с тремя воздушными мешками, карликовые с наростами на экзине, с разрывами экзины, гигантские и карликовые. В образцах контроля доля тератоморф составляет 15,6 %, на площадках города варьирует от 54,2 до 70,6 %. Наиболее высока доля пыльцы без содержимого (10,8–28 %) и с редуцированным содержимым (9–18,6 %). В протестированных образцах пыльцы *L. sibirica* выделено пять морфологических аномалий развития: без содержимого, с редуцированным содержимым, с нарушениями экзины, гигантские, карликовые. В г. Мурманске доля тератоморф варьирует от 76 до 80,7 %, что выше контрольных значений в 2,5–3 раза. Большая часть аномальных зерен представлена пыльцой с редуцированным содержимым (57,6–63,7 %) и без содержимого (11,4–18,2 %). Значительно реже встречаются гигантские, карликовые пыльцевые зерна и пыльца с нарушениями экзины. Согласно палинологической шкале экологического районирования территории Н. А. Калашник, территория г. Мурманска является критически загрязненной.

Ключевые слова: палиноморфология, тератоморфизм, *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, Мурманск

Экологическая палинология – одно из самых молодых направлений палинологической науки. В условиях экологического стресса полиморфизм пыльцы значительно усиливается: возрастает количество патологий пыльцевых зерен и общий процент тератоморфоза. Загрязнение городской среды по своей специфике представляет постоянно действующий геохимический фактор. Формирующиеся при этом геохимические аномалии обусловливают возникновение неспецифических ответных биологических реакций растений [22], в частности изменения в ходе микроспорогенеза. В последнее время на урбанизированных территориях Северо-Запада России активно проводятся эколого-палинологические исследования [5], [9], [10], [14], однако в городах Мурманской области они пока немногочисленны [2], [8].

Исследования выполнены в г. Мурманске – крупнейшем в мире городе за Полярным кругом ($68^{\circ}58'$ с. ш., $33^{\circ}05'$ в. д.). Основные источники загрязнения атмосферы города: Мурманские ТЭЦ, Мурманский морской порт, завод по термической

обработке твердых бытовых отходов, автотранспорт. Специфическими загрязнителями являются сажа, формальдегид, летучие органические соединения, углеводороды [4]. Экологическая ситуация в городе в последние годы стала ухудшаться за счет повышения объемов перевалки угля открытым способом Мурманским морским портом, использования мазута низкого качества местными ТЭЦ, увеличения автотранспортной нагрузки.

Pinus sylvestris L. (сосна обыкновенная) часто встречается в составе зеленых насаждений городов Мурманской области. В Мурманске она произрастает в составе сохранившихся естественных участков притундровых лесов. *P. sylvestris* высоко чувствительна к техногенному загрязнению, и ее часто используют в качестве тест-объекта состояния окружающей среды [2], [11], [20]. В условиях экологического стресса у сосны увеличивается число аномалий развития и общий процент тератоморфоза пыльцы [10].

Larix sibirica Ledeb. (лиственница сибирская) в Мурманской области является интродуцированным видом и достаточно широко используется для озеленения городов. В г. Мурманске доля посадок *L. sibirica* составляет 4–5 % от общего количества зеленых насаждений [3]. Для данного вида характерен высокий уровень полиморфизма пыльцевых зерен, даже при экологическом благополучии он превышает 47 % [7]. В условиях промышленного загрязнения увеличивается процент аномалий пыльцевых зерен [12], [13], [17].

Цель исследования – изучение полиморфизма пыльцы *P. sylvestris* и *L. sibirica* г. Мурманска и палиноиндикация качества среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования явились пыльцевые зерна *P. sylvestris* и *L. sibirica*.

Пыльцевые зерна *P. sylvestris* – типичные (нормально развитые) двумешковые, гетерополярные, билатерально-симметричные, дистально-однолептомные [19]. Воздушные мешки продолговато-эллиптической формы, резко отделены от пыльцевого зерна и смешены на дистальную сторону. Процесс микроспорогенеза у *P. sylvestris* взаимосвязан с температурой и влажностью воздуха [24]. Мейоз начинается и протекает весной. Перепады температур во время частых весенних заморозков являются причиной многочисленных нарушений мейоза и деградации пыльцы [23], влажная погода негативно воздействует на микроспорогенез, массовое пыление наступает при установлении сухой и теплой погоды [16]. Пыление *P. sylvestris* начинается в Мурманске в конце июня – начале июля.

Пыльца рода *Larix* отличается от пыльцевых зерен других представителей семейства Pinaceae отсутствием воздушных мешков и сфероидальной формой, с одним более или менее выраженным углублением. Экзина тонкая, легко сминающаяся в складки, гладкая, двухслойная [7]. Формирование пыльцы *L. sibirica* имеет свои особенности: мейоз начинается осенью, развитие микроспороцитов продолжается до стадии диплотены (профазы I) [16]. Завершение мейоза происходит весной следующего года. При неблагоприятной динамике температур воздуха (потепление перед началом пыления и вслед за ним резкое похолодание) мейотические деления идут с многочисленными нарушениями. В результате формируется большое количество аномальной пыльцы как в фоновых, так и в загрязненных районах [17]. Пыление *L. sibirica* в условиях Мурманской области начинается в конце мая.

Сбор образцов для палинологического анализа *P. sylvestris* проводился в г. Мурманске со 2 по

7 июля 2014 года. Пробные площадки заложены в районах города, где сохранились фрагменты тайги: ул. Шабалина, около больницы «Севрыба», ул. Маклакова, в окрестностях мусоросжигательного завода (ТО ТБО) и в районе Роста. Контрольные образцы собраны на 39-м км Серебрянского шоссе в северном направлении от города.

Сбор проб пыльцы *L. sibirica* осуществлялся 29 и 30 мая 2014 года. В качестве объектов исследования выбраны 40–50-летние экземпляры *L. sibirica*, высаженные на территории города в 60–70-е годы XX века. В разных районах города весной 2014 года заложено 5 пробных площадей: проспект Героев-североморцев, ул. Книповича, скверы у Драматического театра, кинотеатра «Родина», Мурманской клинической больницы им. Пирогова. В качестве контрольной площадки выбран сквер около церкви Благовещения Пресвятой Богородицы в г. Кола ($68^{\circ}52'59''$ с. ш., $33^{\circ}01'19''$ в. д.), находящемся в 12 км от центра Мурманска, где уровень техногенного загрязнения значительно ниже [4].

На всех пробных площадках с 5 деревьев *P. sylvestris* и *L. sibirica* взяты пробы микростробил с созревшей пыльцой. Мужские шишки подсушивали и фиксировали в 50 % растворе спирта. Для анализа использовали микроспорофиллы из средней части микростробил, материал окрашивали в 1 % растворе ацетокармина. Исследование пыльцы проводилось с помощью светового микроскопа Apexlab 104/600 при 160-кратном увеличении. Микрофотосъемка выполнялась цифровой камерой DEM 35. При первичном анализе микропрепаратов на основе нарушений развития пыльцы *P. sylvestris* и *L. sibirica*, описанных в литературе [5], [16], выделены морфологические аномалии развития пыльцевых зерен. В поле зрения микроскопа фиксировалось наличие нормальной и деструктивной пыльцы, подсчитывалось их количество. С каждой пробной площади изучено не менее 400 пыльцевых зерен. Размеры пыльцы измеряли с помощью окулярмикрометра. Палиноиндикацию городской среды Мурманска проводили на основе содержания нормально развитой пыльцы сосны и лиственницы в образцах по классификации Н. А. Калашник [12]. Согласно данной шкале экологического районирования территорий, пробы пыльцы условно чистых территорий содержат более 90 % нормально развитой пыльцы, умеренно загрязненных – 89,4–82,9 %, сильно загрязненных – 82,3–75,2 %, критически загрязненных – 68,6–62 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате палинологических исследований *P. sylvestris* в г. Мурманске обнаружено, что

во всех протестированных пробах содержатся как нормальные, так и тератоморфные пыльцевые зерна. Наибольшее содержание нормальной пыльцы (84,4 %) выявлено в пробах контрольной площадки, расположенной на 39-м км Серебрянского шоссе, в образцах г. Мурманска ее доля в несколько раз ниже и варьирует в диапазоне от 29,4 до 45,8 % (табл. 1). При этом количество пыльцевых зерен *P. sylvestris* с нарушениями развития на всех пробных площадках города очень высоко, от 54,2 до 70,6 %. Наибольшее содержание деструктивной пыльцы обнаружено на ул. Маклакова и около больницы «Севрыба» (70 %), в районе Роста (65 %).

В образцах выделено 11 морфологических аномалий развития пыльцы: с редуцированным содержимым, без содержимого, без воздушных мешков, с редуцированными воздушными мешками, одномешковые, двухразномешковые, гипертрофированные с тремя воздушными мешками, с разрывами экзины, карликовые с наростами на экзине, гигантские и карликовые (рис. 1). Большая часть тератоморф представлена неравномерно окрашенной пыльцой с редуцированным содержимым (9–18,6 %) и без содержимого (10,8–28 %). В контроле их доля в несколько раз ниже (см. табл. 1).

Таблица 1
Нормальные и тератоморфные пыльцевые зерна *Pinus sylvestris* L. на территории г. Мурманска (доля, %)

Типы пыльцевых зерен	Места взятия проб (площадки)					
	Серебрянское шоссе (контроль)	Район Роста	Район завода ТО ТБО	Улица Маклакова	Больница «Севрыба»	Улица Шабалина
Нормальные	84,4	35,2	37,1	29,4	30,3	45,8
Тератоморфные пыльцевые зерна Из них:	15,6	64,8	62,9	70,6	69,7	54,2
Редуцированное содержимое	5,5	14,8	15,7	17,7	18,6	9,0
Без содержимого	3,4	10,8	16,9	23,3	28,0	27,2
Двухразномешковые	0,6	6,0	9,2	4,1	3,9	2,9
Редуцированные пыльцевые мешки	2,2	15,1	6,8	1,1	11,7	7,1
Одномешковые	0,0	1,2	1,5	2,0	0,7	1,3
Без пыльцевых мешков	0,9	1,5	3,0	3,8	1,3	0,6
Гипертрофированные с тремя воздушными мешками	0,0	1,2	0,9	0,6	0,3	0,0
Карликовые с наростами на экзине	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0
С разрывами экзины	0,9	5,4	3,9	4,4	2,3	1,3
Карликовые	1,5	2,7	4,8	2,9	1,6	4,2
Гигантские	0,6	1,2	0,3	0,9	1,3	0,6

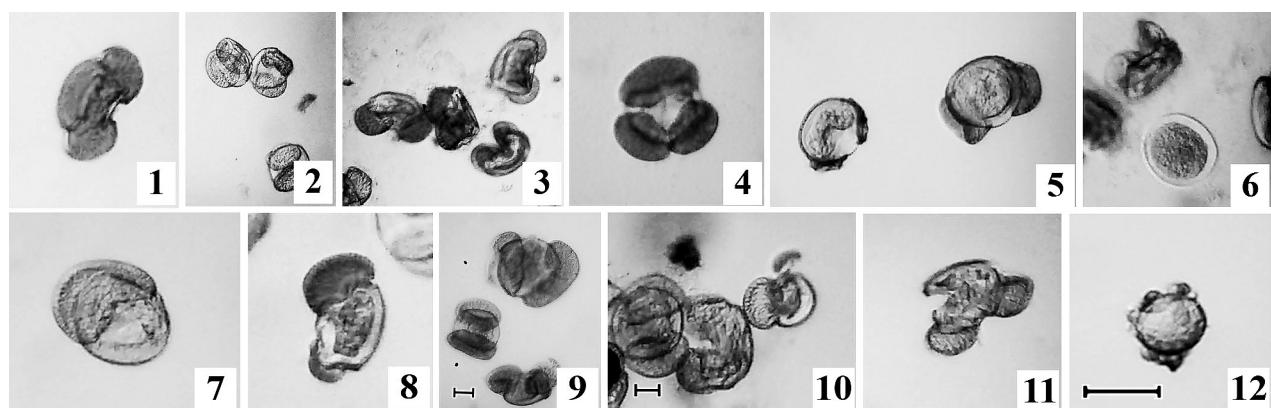


Рис. 1. Микрофотографии пыльцевых зерен сосны обыкновенной:

1 – нормальное, 2 – без содержимого, 3 – неравномерно окрашенные с редуцированным содержимым, 4 – гипертрофированное с тремя воздушными мешками, 5 – с редуцированными воздушными мешками, 6 – без воздушных мешков, 7 – с одним воздушным мешком, 8 – разномешковое, 9 – гигантское, 10 – карликовое, 11 – с разрывами экзины, 12 – карликовое с наростами на экзине. Масштабная линия на микрофотографиях соответствует 20 мкм

Во всех протестированных пробах обнаружены пыльцевые зерна *P. sylvestris* с аномалиями в развитии воздушных мешков (см. рис. 1, табл. 1). Часто встречается пыльца с их редукцией, в контроле ее доля составляет 2,2 %, на территории города варьирует от 7,1 до 15,2 %. Пыльцевые зерна с такими нарушениями развития обладают очень низкой парусностью, поскольку редуцированные воздушные мешки имеют незначительный объем. Максимальное содержание пыльцы с редукцией воздушных мешков выявлено в образцах района Роста (15,2 %) и пробной площади у больницы «Севрыба» (11,7 %).

Часть пыльцы (0,64–3,8 %) не имеет воздушных мешков, что практически исключает возможность ее участия в опылении. Во всех образцах выявлена двухразномешковая пыльца (2,9–9,2 %), в пробах из окрестностей мусоросжигательного завода ее доля составляет 9,2 %, из района Роста – 6 %. Содержание одномешковых зерен значительно меньше (0,7–2 %). Особенностью палинотератного комплекса *P. sylvestris* г. Мурманска является гипертрофированная пыльца с тремя воздушными мешками (см. рис. 1.4), небольшие количества которой (0,33–1,2 %) выявлены в пробах четырех площадок (см. табл. 1). В целом следует отметить, что выше всего встречаемость пыльцы *P. sylvestris* с аномалиями развития воздушных мешков в образцах пробных площадок в окрестностях мусоросжигательного завода (21,4 %) и района Роста (24,7 %), на территории которого находятся 35-й судоремонтный завод АО ЦС «Звездочка» и база РТП «Атомфлот», где осуществляется переработка и временное хранение жидких и твердых радиоактивных отходов.

Во всех пробах обнаружены карликовые пыльцевые зерна (1,6–4,8 %). Самая высокая встречаемость такой пыльцы выявлена вблизи мусоросжигательного завода (4,8 %) и на ул. Шабалина (4,2 %). На наш взгляд, присутствие карликовой пыльцы обусловлено техногенными нагрузками [5], [20]. В то же время Г. М. Левковская [15] отмечает, что максимум ультракарликовых зерен отмечается в северной части тундровой зоны, где максимален и нанизм самих растений. В образцах г. Мурманска выявлена пыльца с разрывами экзины (0,9–5,4 %), наибольшее ее содержание в пробах из района Роста (5,4 %), с улицы Маклакова (4,4 %) и окрестностей мусоросжигательного завода (3,9 %). Разрывы и расслоение экзины наблюдаются при неблагоприятной динамике температур воздуха (потепление перед началом опыления и вслед за ним резкое похолодание) [16]. В пробах, взятых в районе Роста, обнаружен особый тип патоморфоза – карликовая пыльца с сим-

метричными наростами на экзине в области воздушных мешков (см. рис. 1.12), ее доля составляет 4,8 %. Схожие мутации описываются О. Ф. Дзюба [6] в образцах пыльцы *P. sylvestris* в г. Сосновый Бор и его окрестностях, где расположена Ленинградская атомная станция.

Сопоставление результатов палинологического анализа *P. sylvestris* г. Мурманска с данными проведенных ранее исследований в г. Мончегорске [2] показало, что в этих городах встречаются схожие тератоморфы пыльцы. Однако в г. Мурманске обнаружены и особые аномалии – гипертрофированная пыльца с тремя воздушными мешками, а также карликовая с наростами на экзине в области воздушных мешков (см. рис. 1). Содержание тератоморф в пробах г. Мурманска гораздо выше (54,2–70,6 %), чем в г. Мончегорске (24–55 %). Возможно, это связано не только с высоким уровнем техногенного загрязнения среды города, но и с тем, что в Мурманске *P. sylvestris* произрастает на северной границе своего ареала – в сохранившихся притундровых растительных сообществах. Г. Ф. Букреевой и Г. М. Левковской [1] в поверхностных пробах с северных пределов лесных формаций и северных границ ареалов отдельных древесных видов выявлено доминирование палинотератного комплекса с господством палиноморф с многообразными отклонениями от нормы. Г. М. Левковская [15] указывает, что максимум тератоморф с многообразием признаков, отклоняющихся от нормы, у каждого таксона встречается на северном пределе древесной растительности, где усиливаются процессы гибридизации.

В результате исследований пыльцы *L. sibirica* выявлено, что во всех пробах г. Мурманска содержатся как нормальные, так и тератоморфные пыльцевые зерна (табл. 2, рис. 2). На контрольной площадке г. Кола доля нормальной пыльцы лиственницы составляет 71,7 %, в пробах г. Мурманска она в несколько раз меньше и варьирует в диапазоне от 19,2 до 23,8 %. В образцах выделено 5 морфологических аномалий развития пыльцы *L. sibirica*: без содержимого (с признаками полной деградации ядра и цитоплазмы, неокрашенные), с редуцированным содержимым (неравномерно окрашенные, со «съежившимся» и отошедшим от стенок содержимым), с нарушениями экзины, гигантские, карликовые (нормальные или деформированные) (см. рис. 2).

В г. Мурманске доля тератоморф пыльцы *L. sibirica* выше контрольных значений в 2,5–3 раза и варьирует от 76 до 81 %. Исследование образцов из разных районов Санкт-Петербурга также показало, что уровень полиморфизма пыльцы

Таблица 2
Нормальные и тератоморфные пыльцевые зерна *Larix sibirica* Ledeb. на территории г. Мурманска (доля, %)

Типы пыльцевых зерен	Места взятия проб (площадки)					
	г. Кола контроль	Проспект Героев-северо- морцев	Драматиче- ский театр	Улица Кни- повича	Сквер у к/т «Родина»	МКК им. Пирогова
Нормальные	71,7	21,6	23,8	19,2	19,3	20,3
Тератоморфные пыльцевые зерна Из них:	28,3	78,4	76,2	80,8	80,7	79,7
Редуцированное содержимое	22,8	63,7	57,1	59,8	62,5	57,6
Без содержимого	3,5	11,4	13,4	14,5	13,6	18,2
Гигантские	0,8	0,9	1,3	1,5	0,9	0,9
Карликовые	0,5	1,5	2,3	2,1	1,1	1,5
С нарушениями экзины	0,5	0,9	2,0	3,0	2,6	1,5

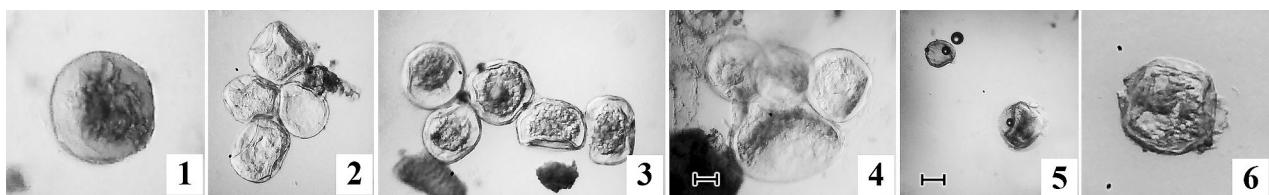


Рис. 2. Микрофотографии пыльцевых зерен лиственницы сибирской:
1 – нормальное, 2 – без содержимого, 3 – с редуцированным содержимым, 4 – гигантское, 5 – карликовое, 6 – с нарушениями экзины. Масштабная линия на микрофотографиях соответствует 20 мкм

L. sibirica превышает 87 % [7]. Максимальное содержание тератоморф в г. Мурманске выявлено в пробах с улицы Книповича и сквера около кинотеатра «Родина» (ул. Ленинградская) – 81 %, сквера Мурманской клинической больницы им. Пирогова (79,7 %), проспекта Героев-североморцев (78,4 %). Большая часть нетипичных зерен представлена пыльцой с редуцированным содержимым, ее доля очень высока в образцах всех пробных площадок г. Мурманска (57,6–63,7 %). Также выявлено значительное содержание пыльцы без содержимого, с признаками деградации ядра и цитоплазмы (11,4–18,2 %), наибольшие ее количества обнаружены в пробах сквера Мурманской клинической больницы им. Пирогова (18,2 %), улицы Книповича (14,6 %), кинотеатра «Родина» и Драматического театра (14 %).

Образование пыльцевых зерен с редуцированным содержимым и признаками деградации, по данным ряда авторов [16], [20], происходит у представителей рода *Larix* при нарушении развития микроспороцитов зимой, когда во время оттепелей мейоз завершается и формируются пыльцевые зерна с тонкой оболочкой. Последующее понижение температуры приводит к массовой деградации молодых пыльцевых зерен. Такое же явление наблюдается и весной, когда в результате заморозков микроспоры оказываются неспособными формировать мужской гаметофит. Повышенная встречаемость пыльцы с редуцированным содержимым и без него отмечается

Н. А. Калашник [12], [13] в пробах *Larix sukaczewii* на территории г. Уфы и Челябинской области. При этом, как и в наших исследованиях, эти аномалии развития более распространены в условиях техногенного загрязнения по сравнению с относительно чистыми, контрольными условиями. Однако содержание такой пыльцы в пробах г. Уфы в несколько раз меньше [13], чем в пробах г. Мурманска.

Значительно реже в протестированных пробах встречаются гигантские, карликовые пыльцевые зерна и пыльца с нарушениями экзины. В целом величина исследованной пыльцы *L. sibirica* варьирует в диапазоне от 25 до 175 мкм, средние размеры нормальной пыльцы – $82,18 \pm 3,7$ мкм. Карликовые пыльцевые зерна составляют небольшую долю тератоморф *L. sibirica* г. Мурманска (1,1–2,3 %), их средние размеры $38,81 \pm 6,55$ мкм. В других регионах России получены данные о частоте встречаемости мелкой пыльцы лиственницы. Доля карликовых зерен *L. sibirica*, произрастающей на севере Архангельской области, – 1,7 % [16], у *L. sukaczewii* в г. Уфа, в районах с различным уровнем загрязнения, варьирует в диапазоне от 9,5 до 14 % [13]. Некоторые авторы считают, что образование мелких пыльцевых зерен у рода *Larix* в условиях высоких широт связано с адаптацией к низким температурам и избыточному увлажнению [21].

Средние размеры гигантской пыльцы *L. sibirica* в исследованных пробах – $120 \pm 50,6$ мкм.

Доля таких пыльцевых зерен в образцах составляет от 0,85 до 1,48 %, их формирование может объясняться воздействием как неблагоприятных климатических факторов, так и повышенным уровнем загрязняющих веществ. По данным М. В. Сурсо [18], у *L. sibirica* на севере Архангельской области доля гигантской пыльцы может составлять до 0,2 %, у *L. sukaczewii*, произрастающей в г. Уфа, варьирует от 3,0 до 6 % [13].

Содержание пыльцевых зерен *L. sibirica* с разрывами экзины составляет 0,54 % в контроле и от 0,9 до 3,0 % в пробах разных районов г. Мурманска. Разрывы экзины пыльцевого зерна обычно встречаются довольно редко – 0,02 % [16], однако в отдельные годы при неблагоприятной динамике температур воздуха (потепление перед началом пыления и вслед за ним резкое похолодание) количество пыльцевых зерен с разрывами экзины может быть довольно существенным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологический анализ *P. sylvestris* и *L. sibirica* г. Мурманска выявил высокий уровень полиморфизма пыльцы хвойных в условиях арк-

тического климата и техногенного загрязнения, что проявляется в образовании 11 морфологических аномалий развития пыльцы сосны и 5 аномалий развития пыльцевых зерен лиственницы. Тератоморфизм пыльцы на территории города очень высок и составляет у *P. sylvestris* 54,2–70,6 %, у *L. sibirica* 76–80,7 %. Лиственница сибирская является достаточно сложным объектом для палиноэкологии, поскольку для данного вида характерен повышенный уровень естественного полиморфизма пыльцы. Однако, по мнению ряда авторов [7], пыльцевые зерна лиственницы могут использоваться для получения дополнительной региональной и экологической информации. Результаты, полученные в ходе исследований полиморфизма пыльцы *L. sibirica* и *P. sylvestris* в г. Мурманске, сопоставимы, что, на наш взгляд, позволяет сделать вывод о высоком уровне загрязнения среды города. Согласно палинологической шкале экологического районирования территорий Н. А. Калашник [12] (по содержанию нормальной пыльцы), территории г. Мурманска можно отнести к критически загрязненной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Букреева Г. Ф., Левковская Г. М. Экологическая характеристика палинотератных комплексов – индикаторов стрессового состояния генеративной сферы древесных пород и кустарников на их северном пределе // Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции. СПб.: ВНИГРИ, 2001. С. 45–48.
- Василевская Н. В., Петрова Н. В. Морфологическая изменчивость пыльцы *Pinus sylvestris* L. в условиях промышленного города (на примере г. Мончегорска) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 4 (141). С. 7–12.
- Гонтарь О. Г., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н., Коробейникова Н. М., Шлапак Е. П., Носатенко О. Ю. Мониторинг состояния древесных насаждений на некоторых объектах озеленения в центральной части города Мурманска // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3 (2). С. 621–625.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2013 г. Н. Новгород, 2014. 152 с.
- Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 197 с.
- Дзюба О. Ф., Подойнича С. В. Качественный состав палинологических спектров Санкт-Петербурга во время пыления сосны обыкновенной на территории города-спутника ЛАЭС Сосновый Бор // Проблемы современной палинологии: Материалы XIII Российской палинологической конф. с междунар. участием. Т. 2. Палинология кайнозоя. Прикладная палинология. Сыктывкар, 2011. С. 253–257.
- Дзюба О. Ф., Кондакова О. В., Токарев П. И., Лено娃 В. М. Естественный полиморфизм пыльцевых зерен представителей рода *Larix* Hill и индикация качества окружающей среды // Палинология: стратиграфия и геоэкология. СПб.: ВНИГРИ, 2008. Т. 1. С. 237–246.
- Домахина А. Д., Василевская Н. В. Палиноиндикация загрязнения среды г. Мурманска с использованием пыльцы *Pinus sylvestris* L. // Экологические проблемы промышленных городов: Материалы 7-й Всероссийской научно-практ. конф. с междунар. участием. Саратов, 2015. С. 65–67.
- Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Опыт палинологических исследований воздушной среды городов таежной зоны // Труды КарНЦ РАН. Экология. Экспериментальная генетика и физиология. 2007. Вып. 11. С. 3–9.
- Ерохина И. С., Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Палиноиндикация природной среды г. Костомукши // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 6 (119). С. 20–23.
- Ибрагимова Э. Э. Индикация загрязнения окружающей среды в урбанизированных экосистемах с использованием пыльцы *Pinus sylvestris* L. // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология и химия». 2009. Т. 22 (61). № 4. С. 54–65.
- Калашник Н. А., Ясовича С. М., Пресухина Л. П. Аномалии пыльцы хвойных видов деревьев при промышленном загрязнении на Южном Урале // Лесоведение. 2008. № 2. С. 33–40.
- Калашник Н. А. Аномалии пыльцы лиственницы Сукачева в различных экологических условиях // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1 (4). С. 835–838.
- Крутских Н. В., Лаврова Н. Б. Загрязнение почв г. Петрозаводска тяжелыми металлами и некоторые аспекты палиноиндикации // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2010. Вып. 13. С. 153–157.

15. Левковская Г. М. Что такое природные и техногенные геоботанические катастрофы с точки зрения палинотератной статистики? // Палинология: теория и практика: Материалы XI Всерос. палинологической конф. М.: ПИН РАН, 2005. С. 129–132.
16. Носкова Н. Е., Романова Л. И., Третьякова И. Н. Особенности генеративных процессов у сибирских видов хвойных в связи с климатическими изменениями // Вестник ТГУ. 2004. № 10. С. 78–81.
17. Романова Л. И., Третьякова И. Н. Особенности микроспорогенеза у лиственницы сибирской, растущей в условиях техногенного стресса // Онтогенез. 2005. № 2. С. 128–133.
18. Сурсо М. В., Барабин А. И., Болотов И. Н., Филиппов Б. Ю. Весеннее развитие пыльцы у лиственницы сибирской в северной подзоне тайги // Лесной журнал. 2012. № 6. С. 7–15.
19. Токарев П. И. Палинология древесных растений, произрастающих на территории России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2004. 55 с.
20. Третьякова И. Н., Носкова Н. Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. № 1. С. 26–34.
21. Тупицын С. С., Рябогина Н. С., Тупицына Л. С. Уровень тератогенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1 (3). С. 822–828.
22. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
23. Хлебова Л. П., Ерешенко О. В. Изменчивость признаков пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Барнаула // Известия Алтайского государственного университета. Сер.: Биол. науки. Науки о Земле. Химия. 2013. № 3/1. С. 103–107.
24. Черепанова О. Е., Михина Ю. Д. Влияние факторов среды (температуры и влажности воздуха) на качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7 (99). С. 72–73.

Vasilevskaya N. V., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)
 Domakhina A. D., The main secondary school № 26 (Murmansk, Russian Federation)

POLYMORPHISM OF POLLEN OF *PINUS SYLVESTRIS* L. AND *LARIX SIBIRICA* LEDEB. IN MURMANSK CITY

The article presents data of palynological research of *Pinus sylvestris* and *Larix sibirica* in Murmansk city. Pollen was studied by acetocarmine method. During palynological analysis of *P. sylvestris* 11 morphological anomalies of pollen grains development were determined: reduced, without contents, without pollen sacs, with reduced pollen sacs, with one pollen sac, with two various sacs, giant with three sacs, dwarf with outgrowths on exine, with damage of exine, giant and dwarf pollen grains. The part of teratomorph pollen is 15,6 % in the control samples; it varied from 54,2 up 70,6 % on the test areas in the city. Pollens without content held the highest percentage (10,8–28 %) and these with reduced content (9–18,6 %). Five morphological anomalies of development were identified in tested samples of pollen of *L. sibirica*: with reduced content, without content, with damage of exine, giant and dwarf. In Murmansk the part of teratomorph pollen grains varied from 76 to 80,7 %, that is 2,5–3 times above the control values. The most part of anomalous grains was represented by pollen with reduced content (57,6–63,7 %) and without content (11,4–18,2 %). Giant, dwarf and pollen grains with damage of exine occurred rarely. According to palynological scale of ecological zoning proposed by N.A. Kalashnik [12], the territory of Murmansk city is critically polluted.

Key words: palynomorphology, teratomorfizm, *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, Murmansk

REFERENCES

1. Bukreeva G. F., Levkovskaya G. M. Environmental characteristics of palinotera complexes as indicators of stress conditions of wood species and shrubs reproductive sphere on their northern range [Ekologicheskaya kharakteristika palinoternykh kompleksov – indikatorov stressovogo sostoyaniya generativnoy sfery drevesnykh porod i kustarnikov na ikh severnom predele]. *Trudy Mezhdunarodnogo seminara "Pyl'tsa kak indikator sostoyaniya okruzhayushchey sredy i paleoekologicheskie rekonstruktsii"*. St. Petersburg, 2001. P. 45–48.
2. Vasilevskaya N. V., Petrova N. V. Morphological variability of pollen of *Pinus sylvestris* L. in conditions of industrial city (Russia, Monchegorsk) [Morfologicheskaya izmenchivost' pyl'tsy *Pinus sylvestris* L. v usloviyah promyshlennogo goroda (na primere Monchegorska)]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2014. № 4 (141). P. 7–12.
3. Gontar' O. G., Svatkovskaya E. A., Trostenuk N. N., Korobeynikova N. M., Shlapak E. P., Nosatenko O. Yu. Monitoring of tree plantations conditions on some objects of urban greening in the central part of Murmansk city [Monitoring sostoyania drevesnykh nasazdeniy na nekotorykh ob'ektakh ozeleneniya v tsentral'noy chasti goroda Murmansk]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2013. Vol. 15. № 3 (2). P. 621–625.
4. Doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Murmanskoy oblasti v 2013 godu [Report on condition and protection of the environment of Murmansk region in 2013]. Nizhniy Novgorod, 2014. 152 p.
5. Dzyuba O. F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Palynoindication of the environment quality]. St. Petersburg, 2006. 197 p.
6. Dzyuba O. F., Podonyitsyna S. V. Qualitative composition of palynological spectra of St. Petersburg during pollen dispersion of Scotch pine on the territory of satellite city LAES Sosnovyy bor [Kachestvennyy sostav palinologicheskikh spektrov Sankt-Peterburga vo vremya pyleniya sosny obyknovennoy na territorii goroda-sputnika LAES Sosnovyy bor]. Ma-

- terialy XIII Rossiyskoy palinologicheskoy konferentsii s mezdunarodnym uchastiem. "Problemy sovremennoy palinologii". T. 2. Palinologiya khvoynykh. Prikladnaya palinologiya.* Syktyvkar, 2011. P. 253–257.
7. Dzyuba O. F., Kondakova O. V., Tokarev P. I., Leunova V. M. Natural polymorphism of pollen grains of race Larix Hill representatives and indication of the environment quality [Estestvennyy polimorfizm pyl'tsevykh zeren predstaviteley roda Larix Hill i indikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy]. *Palinologiya: stratigrafiya i geoekologiya.* St. Petersburg, 2008. Vol. 1. P. 237–246.
 8. Domakhina A. D., Vasilevskaya N. V. Palynoindication of environmental pollution of Murmansk city by using *Pinus sylvestris* L. pollen [Palinoindikatsiya zagryazneniya sredy goroda Murmansk s ispol'zovaniem pyl'tsy *Pinus sylvestris* L.]. *Ecologicheskie problemy promyshlennyykh gorodov: Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezdunarodnym uchastiem.* Saratov, 2015. P. 65–67.
 9. El'kina N. A., Markovskaya E. F. Experience of palynology research of air in taiga cities [Opyt palinologicheskikh issledovaniy vozduшnoy sredy gorodov taezhnoy zony]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Labours of Karelian Scientific Center]. 2007. Issue 11. P. 3–9.
 10. Erokhina I. S., El'kina N. A., Markovskaya E. F. Environmental palynoindication of Kostomuksha [Palinoindikatsiya prirodnoy sredy goroda Kostomuksha]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2011. № 6 (119). P. 20–23.
 11. Ibragimova E. E. Indication of environment pollution in urban ecosystems by using *Pinus sylvestris* L. pollen [Indikatsiya zagryazneniya sredy v urbanizirovannykh ekosistemakh s ispol'zovaniem pyl'tsy *Pinus sylvestris* L.]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta. im. V. I. Vernadskogo. Ser. Biologiya i chimiya* [Proceedings of Tavrichesky National University. Ser. Biology and chemistry]. 2009. Vol. 22 (61). № 4. P. 54–65.
 12. Kalashnik N. A., Yasoieva S. M., Presnukhina L. P. Anomalies of coniferous species pollen caused by industrial pollution in the South Urals [Anomalii pyl'tsy khvoynykh vidov derev'ev pri promyshlennom zagryaznenii na Yuzhnym Urale]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2008. № 2. P. 33–40.
 13. Kalashnik N. A. Anomalies of larch Sukacheva pollen in various environmental conditions [Anomalii pyl'tsy listvennitsy Sukacheva v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011. Vol. 13. № 1 (4). P. 835–838.
 14. Krutskikh N. V., Lavrova N. B. Pollution of soils in Petrozavodsk by heavy metals and some aspects of palynoindication [Zagryaznenie pochv goroda Petrozavodskaya tyazhelymi metallami i nekotorye aspekty palinoindikatsii]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii.* 2010. Vol. 13. P. 153–157.
 15. Levkovskaya G. M. What are natural and technogenic geobotanical catastrophes from the point of view of palinoterate statistics? [Chto takoe prirodnye i tekhnogennye geobotanicheskie katastrofy s tochki zreniya palinoteratnoy statistiki?]. *Palinologiya: teoriya i praktika: Materialy XI Vserossiyskoy konferentsii.* Moscow, 2005. P. 129–132.
 16. Noskova N. E., Romanova L. I., Tret'yakova I. N. Features of reproductive processes of Siberian coniferous species due to the climate changes [Osobennosti generativnykh protsessov u sibirskikh vidov khvoynykh v svyazi s klimaticheskimi izmeneniyami]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria "Biologiya i ekologiya"* [Proceedings of Tverskoy State University. Ser. Biology and ecology]. 2004. № 10. P. 78–81.
 17. Romanova L. I., Tret'yakova I. N. Features of microsporogenesis of Siberian larch, growing in conditions of technogenic stress [Osobennosti mikrosporogeneza u listvennitsy sibirskoy, rastushchey v usloviyakh tekhnogennogo stressa]. *Ontogenet* [Russian Journal of Developmental Biology]. 2005. № 2. P. 128–133.
 18. Surso M. V., Barabin A. I., Bolotov I. N., Filipov B. Yu. Spring development of the Siberian larch pollen in the north subzone of taiga [Vesennye razvitiye pyl'tsy u listvennitsy sibirskoy v severnoy podzone taygi]. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal]. 2012. № 6. P. 7–15.
 19. Tokarev P. I. *Palinologiya drevesnykh rasteniy, proizrastayushchikh na territorii Rossii: Dis. ... doct. biol. nauk* [Palynology of trees, vegetated on the territory of Russia. Doct. biol. sci. diss.]. Moscow, 2004. 55 p.
 20. Tret'yakova I. N., Noskova N. E. Scotch pine pollen in conditions of ecological stress [Pyl'tsa sosny obyknovennoy v usloviyakh ekologicheskogo stressa]. *Ekologiya* [Ecology]. 2004. № 1. P. 26–34.
 21. Tupitsyn S. S., Ryabogina N. S., Tupitsyna L. S. Level of teratogenesis as index of state of biological object in various environmental conditions [Uroven' teratogeneza kak pokazatel' sostoyaniya bioob'ekta v raznykh ekologicheskikh usloviyakh]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012. Vol. 14. № 1 (3). P. 822–828.
 22. Ufimtseva M. D., Tereshkina N. V. *Fitoindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga* [Phytoindication of ecological state of St. Petersburg urbogeosystem]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2005. 339 p.
 23. Khlebova L. P., Ereshchenko O. V. Variability of features of Scotch pine pollen (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of Barnaul [Izmenchivost' priznakov pyl'tsy sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh Barnaula]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologicheskie nauki, Nauki o zemle. Khimiya* [Proceedings of Altayskiy State University. Ser. Biological science. Earth science. Chemistry]. 2013. № 3/1. C. 103–107.
 24. Cherepanova O. E., Mishchikina Yu. D. Influence of environmental factors (temperature and humidity) on the quality of Scotch pine pollen (*Pinus sylvestris* L.) [Vliyanie faktorov sredy (temperatury i vlazhnosti vozdukha) na kachestvo pyl'tsy sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.)]. *Agrarnyy vestnik Urala.* 2012. № 7 (99). P. 72–73.

Поступила в редакцию 05.02.2016