

Июнь, № 4

Биология

2014

УДК 582.475: 630\*182.8

**НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ВАСИЛЕВСКАЯ**  
доктор биологических наук, профессор кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский государственный гуманитарный университет (Мурманск, Российская Федерация)  
*n.v.vasilevskaia@gmail.com*

**НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ПЕТРОВА**  
студент магистратуры кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский государственный гуманитарный университет (Мурманск, Российская Федерация)  
*natashapetrova1988@yandex.ru*

## МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЫЛЬЦЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. МОНЧЕГОРСКА)

Представлены данные палинологического анализа пыльцы сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения г. Мончегорска. На территории города заложено 9 пробных площадей. Для анализа в июне 2013 года собраны мужские шишки сосны и зафиксированы в 50 % растворе этилового спирта, окрашивание для палинологического анализа проводили 1 % раствором ацетокармина. Под световым микроскопом подсчитывали число нормальных и тератоморфных пыльцевых зерен. При палинологическом анализе выявлено 10 типов тератоморфной пыльцы: без пыльцевых мешков, одномешковые, двухразномешковые, трехмешковые, четырехмешковые, без содержимого, с нарушениями экзины, полиады, гигантские и редуцированные пыльцевые зерна. В образцах контроля, Экопарка и проспекта Кирова доля нормальных пыльцевых зерен сосны варьирует от 86 до 90 %. В остальных пробах доля пыльцы неизмененной морфологии значительно ниже – от 45 до 76 %. Содержание тератоморфной пыльцы в этих образцах составляет от 24 до 55 %. Часто встречается мелкая пыльца без содержимого или с редуцированным телом. Для всех образцов характерно значительное количество пыльцы с аномалиями воздушных мешков пыльцевых зерен (одномешковые и двухразномешковые), реже встречаются трех- и четырехмешковые. Почти во всех пробах присутствует гигантская пыльца. Количество тератоморфной пыльцы сосны значительно различается по районам г. Мончегорска, что свидетельствует об экологическом неблагополучии ряда районов.

Ключевые слова: палиноиндикация, сосна обыкновенная, техногенное загрязнение, тератоморфизм

### ВВЕДЕНИЕ

Палиноиндикация широко используется в современных экологических исследованиях для оценки качества окружающей среды [1], [2], [3], [4], [5], [8], [9], [13]. Жизнеспособность пыльцы может служить косвенным показателем мутагенности и фитотоксичности загрязнителей [1]. Под воздействием промышленных эмиссий растения продуцируют большое количество тератоморфных (уродливых) и стерильных пыльцевых зерен. При этом чем хуже экологическая обстановка, тем выше процент содержания патологической пыльцы, и наоборот [5]. Отмечено, что количество тератоморфных пыльцевых зерен значительно увеличивается вблизи промышленных центров [3], [5], [8], [9], [11], [17].

Город Мончегорск расположен за Полярным кругом ( $67^{\circ}56'$  с. ш.,  $32^{\circ}52'$  в. д.), в зоне крайней северной тайги. Мончегорский промышленно-территориальный комплекс включает в себя ряд медно-никелевых месторождений, карьер, ме-

таллургический комбинат «Североникель» с отстойником и шламохранилищем. Выбросы Кольской ГМК и ОАО «Североникель» составили в 2010 году 39,1 тыс. т [7]. Основными загрязняющими веществами комбината при переработке медно-никелевого сырья являются диоксид серы и пыль, содержащая тяжелые цветные металлы (никель, медь, кобальт). Помимо медно-никелевого комбината в городе действуют: завод железобетонных изделий, щебеночный завод, ремонтно-механические предприятия, несколько предприятий легкой и пищевой промышленности [12]. Теплоснабжение города осуществляется от местной ТЭЦ, работающей на мазуте. Основными поставщиками токсичных элементов в окружающую среду являются: металлургический комбинат, местная ТЭЦ, предприятия строительной индустрии и городская инфраструктура. Загрязнение атмосферного воздуха и природной среды происходит за счет газово-дымящих эмиссий комбината «Североникель»,

проведения взрывных работ, транспортировки и механической переработки руд, полуфабрикатов, природного камня, производства строительных материалов, сжигания мазута. Имеет значение и наличие большого количества оголенных грунтов (промплощадки, откосы дорог и песчаных карьеров), которые являются источником естественной геогенной пыли [12].

В то же время Мончегорск является одним из примеров продуманного проектирования промышленного центра. Город построен на достаточно удаленном от комбината «Североникель» с учетом розы ветров, при этом сохранены участки естественного леса. Большинство зеленых насаждений сформировано на основе лесных сообществ, в которых доминирует *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная).

Сосну обыкновенную часто используют в качестве тест-объекта состояния окружающей среды из-за высокой чувствительности данного вида к загрязнению [3], [9], [10], [11], [22]. В условиях техногенной нагрузки отмечаются изменения морфометрических и морфологических показателей генеративных органов сосны, увеличение гибели семенных зачатков и эмбрионов, уменьшение количества и качества семян, снижение жизнеспособности пыльцы в результате увеличения продукции аномальных пыльцевых зерен [10]. Естественный полиморфизм пыльцы сосны обыкновенной представлен достаточно большим количеством морфотипов. Однако содержание тератоморфных пыльцевых зерен в таких пробах не превышает 3–7 % от общего числа исследованных [6]. В условиях загрязнения число морфотипов аномальной пыльцы и ее количество значительно возрастают [2], [3], [9], [10]. При этом формируется пыльца низкого качества [22], [24], [25], что оказывает значительное влияние на формирование женских шишечек: семена прородуцируются в основном стерильные [22].

Цель исследования – изучение морфологической изменчивости пыльцы *Pinus sylvestris* L. и палиноиндикация окружающей среды г. Мончегорска.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в полевой сезон 2013 года. В парках и скверах г. Мончегорска заложено 9 пробных площадок. В качестве контрольной выбрана площадь у Свято-Вознесенского кафедрального собора, находящегося на наибольшем удалении от комбината «Североникель». Сбор проб осуществлялся в период массового пыления сосны – во второй половине июня 2013 года. Высоту деревьев измеряли при помощи лазерного дальномера Bosch DLE 50. Для сбора проб использовали деревья высотой около 12–13 м. На каждой пробной площади с 5 деревьев *P. sylvestris* была взята общая проба микростробил с созревшей пыльцой [9].

Мужские шишки подсушивали и фиксировали в 50 % растворе спирта. Для палиноморфологического анализа использовали микроспорофиллы из средней части микростробил, материал окрашивали в 1 % растворе ацетокармина [4], [18]. Палиноморфологические исследования проводили с помощью световой микроскопии. При первичном анализе микропрепараторов, на основе аномалий развития пыльцы *P. sylvestris*, описанных в литературе [4], [5], [9], выделены морфотипы тератоморфных зерен. В каждом поле зрения микроскопа фиксировалось наличие нормальной, тератоморфной пыльцы разных морфотипов, подсчитывалось их количество и анализировались морфологические особенности [4]. С каждой пробной площади изучено не менее 400 пыльцевых зерен.

Палиноиндикацию городской среды Мончегорска проводили на основе содержания нормально развитой пыльцы сосны в образцах по классификации Н. А. Калашика [9], [11]. 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 ОБСУЖДЕНИЕ

В результате палиноморфологических исследований выявлено, что наибольшее количество нормально развитой пыльцы содержится в образцах контроля (90 %), проспекта Кирова (87 %) и Экопарка (86 %) (см. таблицу). Среди остальных проб диапазон вариации типичной, морфологически не измененной пыльцы очень широкий. В образцах с площадей Революции и Пяти углов, улицы Ферсмана ее доля составляет от 71 до 76 %, низкое количество у сосен, произрастающих в Городском парке (от 60 до 64 %), на проспекте Металлургов (45 %).

Аномальные (нетипичные) пыльцевые зерна сосны отличаются от нормальных размерами, формой и количеством воздушных мешков. При палиноморфологическом анализе выделено 10 морфотипов тератоморфной пыльцы: без пыльцевых мешков, одномешковые, двухразномешковые, трехмешковые, четырехмешковые, без содержимого, с нарушениями экзины, полиады, гигантские и редуцированные пыльцевые зерна (см. таблицу). В протестированных пробах содержание тератоморфной пыльцы от 10 до 55 %.

Больше всего палиноморф с аномалиями развития в пробах проспекта Металлургов (55 %) и Городского парка (36–41 %). Палиноморфизм у сосен на этих площадках достигает максимума, наблюдается увеличение количества и разнообразия типов тератоморф, выделено 9 морфотипов аномальной пыльцы. Палинотератный комплекс в образце с площади Революции на-

**Морфотипы пыльцевых зерен *Pinus sylvestris* L.  
на территории г. Мончегорска (среднее число, %)**

Морфотипы пыльцевых зерен	Места взятия проб (площадки)									
	Городской парк (центр)	Зеленая зона на проспекте Металлургов	Сквер на проспекте Кирова	Экопарк в районе Ленинградской набережной	Территория Свято-Вознесенского кафедрального собора	Городской парк (юг)	Городской парк (север)	Лесопарковая зона на улице Ферсмана	Площадь Революции	Площадь Пяти углов
Нормальные	60,25	45,25	86,75	85,75	90,25	59,5	64,25	76	71,25	72,75
Тератоморфные пыльцевые зерна Из них:	39,75	54,75	13,25	14,25	9,75	40,5	35,75	24	28,75	27,25
Без пыльцевых мешков	5,75	6,5	0,5	1,5	0	8,5	3,5	1	4,25	1,5
Одномешковые пыльцевые зерна	4,75	5,5	1,5	0,5	0,5	2	4,5	2	3,25	4,5
Двухразномешковые пыльцевые зерна	3	6,5	2,5	2,5	0	2,75	2,5	2,25	3,25	2,75
Трехмешковые пыльцевые зерна	0,5	0,5	0	0	0	0,25	0,75	0	1	1
Четырехмешковые пыльцевые зерна	0	0	0,5	0	0	0	0	1	0,75	0
Без содержимого	10,25	14,75	4,5	2,5	2,5	5,25	5,50	4,25	2,75	3
Нарушения экзины	0	4,5	0	0	0	0,75	1,5	0,25	0,25	0
Полиады	2,5	2,5	0	0	0	1	2	1,5	1	1
Гигантское тело	5,5	4,5	0	5,5	1,25	5,25	4,5	3,25	3,25	3,25
Редуцированное тело	7,5	9,5	3,75	1,75	5,5	14,75	11	8,5	9	10,25

считывает 10 типов нарушений развития (29 %), площади Пяти углов – 8 (27 %), проспекта Кирова и Экопарка – 6 (13–14 %). В контроле также содержится аномальная пыльца (10 %), но уровень ее морфологической изменчивости значительно ниже: выделено 4 морфотипа тератоморфной пыльцы.

Наиболее часто у сосен на территории г. Мончегорска встречаются такие аномалии развития, как пыльца с редуцированным телом, без содержимого, гигантская, без пыльцевых мешков, одномешковая и двухразномешковая. Во всех образцах (кроме контроля) выявлены пыльцевые зерна, значительно отличающиеся от общепринятой нормы по своим морфологическим характеристикам, с аномалиями воздушных мешков (безмешковые, одномешковые и двухразномешковые). Самое большое содержание таких нетипичных зерен (18,5 %) у сосен на проспекте Металлургов и двух площадках Городского парка (юг, центр – 13,5 %). Значительно реже в пробах встречается трех- и четырехмешковая пыльца (см. таблицу). Трехмешковая пыльца выявлена в незначительных количествах (от 0,25 до 1 %) в образцах шести площадок, четырехмешковые

пыльцевые зерна обнаружены в пробах трех площадок (от 0,5 до 1 %). Во всех протестированных образцах выявлены мелкие пыльцевые зерна с редуцированным телом. Самая высокая встречаемость такой пыльцы в пробах Городского парка (юг) (15 %) и площади Пяти углов (10 %). Развитие нанопыльцы в загрязненных районах также отмечают многие исследователи [4], [22]. Почти во всех образцах присутствует гигантская гипертрофированная пыльца (1–5,5 %). Полиады и аномальные зерна с нарушениями экзины составляют небольшую долю в палинотератном комплексе (см. таблицу).

В ходе палиноморфологических исследований *P. sylvestris* в г. Мончегорске выявлен высокий уровень полиморфности пыльцы. Количество тератоморфных пыльцевых зерен значительно различается по районам города – от 10 % (контроль) до 55 %. На территории г. Костомукши, находящегося в зоне действия комбината по производству железорудного сырья «Карельский окатыш», содержание аномальной пыльцы в среднем составляет 43 % [3], [9].

Данные по полиморфизму пыльцевых зерен сосны в условиях промышленного загрязнения

г. Мончегорска представляют особый интерес. Многообразие морфотипов пыльцы свидетельствует о высокой лабильности ее структуры. Как известно, для пыльцы семейства сосновых (за исключением лиственницы, туи и псевдотуи) характерны билатерально-симметричные двухмешковые пыльцевые зерна. Воздушные мешки у них образуются в результате расхождений слоев экзины, пространство между которыми у сформированного пыльцевого зерна заполнено воздухом. Как показали исследования [21], развитый воздушный мешок выполняет не столько функцию летательного аппарата, сколько гармонегата, то есть при помощи него регулируется объем пыльцевого зерна в зависимости от содержания в нем влаги. В качестве летательного аппарата они, по-видимому, были использованы вторично. В изученных нами образцах пыльцы сосны г. Мончегорска встречаются такие тератоморфы, как безмешковые, одномешковые, двухразномешковые, трех- и четырехмешковые пыльцевые зерна. Асимметричное расположение воздушных мешков приводит к нарушению летных свойств пыльцы, отсутствие или наличие только одного воздушного мешка также снижает ее парусность. Такие морфотипы наиболее часто встречаются в изученных образцах пыльцы сосны и не могут выполнять адаптивную функцию. Асимметричность пыльцевых зерен с двумя пыльцевыми мешками разного размера и расположения, с их редукцией и с одним пыльцевым мешком можно рассматривать как признак нестабильности развития [23]. Появление же многомешковой пыльцы у хвойных в условиях техногенного загрязнения может быть связано с необходимостью увеличения летучести пыльцевых зерен [15], [16]. Такая пыльца развивается у представителей родов *Pinus* и *Piceae* только в экстремальных условиях среды [21].

Среди аномалий пыльцы сосны на территории г. Мончегорска выявлена большая доля зерен с редуцированным телом. Возможно, это реакция на пониженную влажность воздуха, характерную для техногенной среды, когда в ходе микроспорогенеза образуется большое количество пыльцевых зерен, у которых уменьшается объем тела. На образование мелких пыльцевых зерен вследствие сухости воздуха в условиях загрязнения указывают многие авторы [4], [15], [22]. В результате потери воды объем живого пыльцевого зерна сокращается, воздушные мешки смыкаются над вминающейся внутрь тела бороздой и закрывают собой наиболее тон-

кий участок экзины. Эти процессы приводят к снижению испарения и предохраняют пыльцевые зерна от полного высыхания [17], [18]. В то же время другие авторы [14], [23] считают, что палинотератный комплекс с господством карликовых палиноформ в условиях высоких широт связан с адаптацией к низким температурам и избыточному увлажнению. Такие формы выявлены в некоторых поверхностных пробах, отобранных из тундровой зоны Западной Сибири [14].

Считается, что реакция растений разных видов на экологический стресс генетически детерминирована и отражает конкурентоспособность, адаптивные возможности и устойчивость к неблагоприятным воздействиям [17]. Однако современные исследования показывают, что даже видовые признаки пыльцы достаточно изменчивы [19]. Пыльца, как носитель генетической информации, должна обладать устойчивыми видовыми признаками, но полученные результаты свидетельствуют об обратном [16].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палиноморфологический анализ *P. sylvestris* г. Мончегорска выявил высокую морфологическую изменчивость пыльцы, что проявляется в образовании большого числа тератоморф. Многочисленные нарушения развития пыльцевых зерен свидетельствуют о том, что пыльники микростробил сосны обыкновенной, произрастающей на территории г. Мончегорска, подверглись воздействию промышленных эмиссий, о нарушениях в процессах микроспорогенеза и микрогаметогенеза.

Содержание в образцах типичной и аномально развитой пыльцы значительно различается по районам г. Мончегорска. При этом можно выделить несколько достаточно экологически благополучных районов города, где отмечено низкое содержание тератов: территория Свято-Вознесенского собора, Экопарк, проспект Кирова. Более высокое содержание тератоморфной пыльцы отмечено у сосен, произрастающих в лесопарке на ул. Ферсмана, на площадях Революции и Пяти углов. Согласно палинологической шкале [11] экологического районирования территорий (по содержанию нормальной пыльцы), эти районы г. Мончегорска можно отнести к сильно загрязненным. Городской парк и проспект Металлургов, где выявлено наименьшее содержание нормальной пыльцы и наиболее высокое содержание тератоморф, являются зонами с критическим уровнем загрязнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бессонова В. П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. 1993. № 3. С. 45–50.
- Василевская Н. В., Петрова Н. В. Палиноиндикация окружающей среды промышленного города (на примере г. Мончегорска) // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы: Материалы 2-й Всероссийской научно-практич. конф. Самара, 2013. С. 209–213.

3. Гайдыш И. С. Биоиндикация природной среды малого северо-таежного промышленного города: на примере г. Костомукша: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2012. 12 с.
4. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 197 с.
5. Дзюба О. Ф. Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. № 2. С. 1–22.
6. Дзюба О. Ф., Кулакова Н. К., Токарев П. И. О естественном полиморфизме пыльцы *Pinus sylvestris* L. в связи с некоторыми проблемами палеопалинологии // Палинология: теория и практика: Материалы конф. Москва (27 сент.–1 окт., 2005 г.). М., 2005. С. 65–68.
7. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. Мурманск, 2011. 152 с.
8. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Опыт палинологических исследований воздушной среды городов таежной зоны // Экология. Экспериментальная генетика и физиология. Труды КарНЦ РАН. 2007. Вып. 11. С. 3–9.
9. Ерохина И. С., Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Палиноиндикация природной среды г. Костомукши // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2011. № 6 (119). С. 20–23.
10. 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.
11. Калашник Н. А., Ясевича С. М., Пресухина Л. П. Аномалии пыльцы хвойных видов деревьев при промышленном загрязнении на Южном Урале // Лесоведение. 2008. № 2. С. 33–40.
12. Кашулина Г. М., Салтан Н. В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». Апатиты, 2008. 235 с.
13. Крутских Н. В., Ларова Н. Б. Загрязнение почв г. Петрозаводска тяжелыми металлами и некоторые аспекты палиноиндикации // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2010. Вып. 13. С. 153–157.
14. Лековская Г. М. Закономерности распределения пыльцы и спор в современных и голоценовых отложениях севера Западной Сибири // Методические вопросы палинологии. М.: Наука, 1971. С. 97–102.
15. Медведева Л. М. Аномальная и многомешковая пыльца голосеменных из татарских отложений бассейна р. Северная Двина // Палинология и полезные ископаемые. Минск, 1989. С. 192–193.
16. Мельникова Т. А. Аномальная пыльца рода *Pinus* L. как индикатор палеоклиматических флюктуаций в позднем голоцене // Вестник ДВО РАН. 2004. № 3. С. 178–182.
17. Носкова Н. Е., Третьякова И. Н., Носков Е. А. Особенности формирования мужской генеративной сферы сосны обыкновенной в условиях техногенеза // Хвойные boreально-зональные зоны. 2006. Т. XXII. № 2. С. 211–214.
18. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 272 с.
19. Рудая Н. А. Палинологический анализ. Новосибирск, 2010. 48 с.
20. Севрюхина О. А. Репродуктивные особенности *Taraxacum officinale* S. L. в условиях химического загрязнения среды: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2004. 12 с.
21. Токарев П. И. Палинология древесных растений, произрастающих на территории России: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М., 2004. 55 с.
22. Третьякова И. Н., Носкова Н. Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. № 1. С. 26–34.
23. 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.
24. Федорков А. Л. Изменение в мужской генеративной сфере сосны при аэротехногенном загрязнении // Экологогеографические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера. Архангельск, 1991. С. 296.
25. Федорков А. Л. Адаптация хвойных к стрессовым условиям Крайнего Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 97 с.

Vasilevskaya N. V., Murmansk State Humanities University (Murmansk, Russian Federation)  
Petrova N. V., Murmansk State Humanities University (Murmansk, Russian Federation)

### MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF POLLEN OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN CONDITIONS OF INDUSTRIAL TOWN (RUSSIA, MONCHEGORSK)

Data of palynology analysis of *Pinus sylvestris* pollen in heavily polluted industrial barrens of Monchegorsk (Russia, Murmansk region) are presented. Nine experimental plots were founded on the territory of the town. Male strobiles of pine were gathered in June 2013, immersed in 50 % ethanol solution. Coloration for palynology analysis was carried out by 1 % solution of acetocarmine. Normal and teratomorphen pollen grains were calculated under the lighting microscope. During palynology analysis 10 types of teratomorphen pollen such as without pollen sacs, with one pollen sac, with two various sacs, with three sacs, with four sacs, without content, with damage of exine, polyads, gigantic, and reduced pollen grains were determined. The part of normal pine pollen grains collected in Ecopark and Kirov Street varied from 86 up to 90 % in control samples. In other samples, a part of pollen with unchanged morphology was greatly reduced – from 45 up to 76 %. The content of teratomorphen pollen in these samples varied from 24 up to 55 %. Small pollens without content or with reduced body were encountered rather frequently. All samples are characterized by great quantity of pollen with anomalies of pollen sacs (with one or two various sacs). Pollen with three and four pollen sacs were rare. Gigantic pollen was attended in almost samples. The quantity of pine teratomorphen pollen greatly varied in Monchegorsk districts, which speaks of existing ecological problems intrinsic to some districts.

Key words: палиноиндикация, *Pinus sylvestris* L., техногенное опыление, тератоморфизм, Мурманский регион

### REFERENCES

1. Bessonova V. P. Pollen condition as an indicator of the environment pollution by heavy metals [Sostoyanie pyl'tsy kak pokazatel' zagryazneniya sredy tyazhelyimi metallami]. *Ecologiya* [Ecology]. 1993. № 3. P. 45–50.

2. Vasilevskaya N. V., Petrova N. V. Palynoindication of environment of industrial town (Monchegorsk, Russia) [Palinoindikatsiya okruzhayushchey sredy promyshlennogo goroda (na primere Monchegorska)]. *Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii c mezhdunarodnym uchastiem "Bioecologicheskoe kraevedenie: mirovye, rossiyskie i regional'nye problemy"* [Proc. II All-Russian science-practical conf. "Bioecological study of local lore: world, russian and regions problems"]. Samara, 2013. P. 209–213.
3. Gaydosh I. S. *Bioindikatsiya prirodnoy sredy malogo severo-tayezhnogo promyshlennogo goroda: na primere goroda Kostomuksha*. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Environment bioindication of the small north-taiga industrial town: on an example of Kostomuksha]. kand. biol. sci. diss.]. Petrozavodsk, 2012. 12 p.
4. Dzyuba O. F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Palynoindication of the environmental quality]. St. Petersburg, 2006. 197 p.
5. Dzyuba O. F. Teratomorphny pollen grains in modern and paleopalynology spectras and some problems of palynostratigraphy [Teratomorfnye pyl'tsevy zerna v sovremennykh i paleopalinologicheskikh spektrakh i nekotorye problemy palynostratigrafi]. *Neftegazovaya geologiya, teoriya i praktika* [Oil and gas geology, theory and practice]. 2007. № 2. P. 1–22.
6. Dzyuba O. F., Kulikova N. K., Tokarev P. I. About natural polymorphism of *Pinus sylvestris* L. pollen in connection with some problems of paleopalynology [O estestvennom polimorfizme pyl'tsy *Pinus sylvestris* L. v svyazy s nekotoryimi problemami paleopalinologii]. *Trudy Konferentsii "Palinologiya: teoriya i praktika"* [Proc. conf. "Pollinology: theory and practice"]. Moscow, 2005. P. 65–68.
7. *Doklad o sostoyani i okhrane okruzhayushchey sredy Murmanskoy oblasti v 2010 godu* [Report on condition and protection of environment of Murmansk region in 2010]. Murmansk, 2011. 152 p.
8. El'kina N. A., Markovskaya E. F. Experience of palynology research of air in taiga cities [Opyt palinologicheskikh issledovaniy vozduшnoy sredy gorodov tayezhnoy zony]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Labours of Karelian Scientific Center]. 2007. Vol. 11. P. 3–9.
9. Erkina I. S., El'kina N. A., Markovskaya E. F. Palynoindication of environment of Kostomuksha town [Palinoindikatsiya prirodnoy sredy goroda Kostomuksha]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2011. № 6 (119). P. 20–23.
10. Ibragimova E. E. Indication of pollution of environment in urban ecosystems with the use of *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. V. 22 (61). № 4. P. 54–65.
11. Kalashnik N. A., Yasoieva S. M., Presnukhina L. P. Anomalies of pollen in coniferous trees caused by industrial pollution in the South Urals [Anomaliy pyl'tsy khvoynykh vidov derev'ev pri promyshlennom zagryaznenii na Yuzhnom Urale]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2008. № 2. P. 33–40.
12. Kashulina G. M., Saltan N. V. *Khimicheskiy sostav rasteniy v extremal'nykh usloviyakh lokal'noy zony kombinata "Severonikel"* [Chemical composition of plants in extreme conditions of local zone of "Severonikel" factor]. Apatity, 2008. 235 p.
13. Krutskikh N. V., Lavorova N. B. Pollution of soils in Petrozavodsk by heavy metals and some aspects of palynoindication [Zagryaznenie pochv Petrozavodskaya tyazhelymi metallami i nekotorye aspekty palinoindikatsii]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and minerals of Karelia]. 2010. Vol. 13. P. 153–157.
14. Levkovskaya G. M. Patterns of pollen and spores' distribution in modern and Holocene depositions of Siberia [Zakonomernosti raspredeleniya pyl'tsy i spor v sovremennykh i golotsenovykh otlozheniyakh Sibiri]. *Metodicheskie voprosy palinologii* [Metodological questions of palinology]. Moscow, 1971. P. 97–102.
15. Medvedeva L. A. Anomalous and polysac pollen of gymnosperms from Tatar depositions of Severnaya Dvina river-basin [Anomalaia i mnogomeshkovaya pyl'tsa golosemennykh is tatarskikh otlozheniy basseyna reki Severnaya Dvina]. *Palinologiya i poleznye iskopaemye* [Palinology and minerals]. Minsk, 1989. P. 192–193.
16. Mel'nikova T. A. Anomalous pollen of genus *Pinus* L. as indicator of paleoklimatic fluctuations in late Holocene [Anomalaia pyl'tsa roda *Pinus* L. kak indikator paleoklimaticeskikh flyuktuatsiy v pozdnem golotsene]. *Vestnik DVO RAN* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]. 2004. № 3. P. 178–182.
17. Noskova N. E., Tretyakova I. N., Noskov E. A. Characteristic features of Scotch pine male generative sphere development in technogeness conditions [Osobennosti formirovaniya muzhskoy sfery sosny obyknovennoy v usloviyakh tekhnogeneza]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous of boreal zone]. 2006. Vol. 23. № 2. P. 211–214.
18. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Practical work on cytology of plants]. Moscow, 1988. 272 p.
19. Rudaya N. A. *Palinologicheskiy analiz* [Palynology analysis]. Novosibirsk, 2010. 48 p.
20. Severyukhina O. A. *Reproduktivnye osobennosti Taraxacum officinale S. L. v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya sredy*. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Reproductive features of *Taraxacum officinale* S. L. in conditions of chemical pollution of environment. PhD. biol. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2004. 12 p.
21. Tokarev P. I. *Palinologiya drevesnykh rasteniy, proizrastayushchikh na territorii Rossii*. Avtoref. diss. ... doct. biol. nauk. [Palinology of trees growing on the territory of Russia. Doct. biol. sci. diss.]. Moscow, 2004. 55 p.
22. Tretyakova I. N., Noskova N. E. Scotch pine pollen in condition of ecological stress [Pyl'tsa sosny obyknovennoy v usloviyakh ekologicheskogo stressa]. *Ekologiya* [Ecology]. 2004. № 1. P. 26–34.
23. Tupitsyn S. S., Ryabogina N. S., Tupitsyna L. S. Level of teratogenesis as index of state of biological object in various ecological terms [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.
24. Fedorkov A. L. Changes in male generative sphere of pine in aerotechnogenic pollution [Izmeneniya v muzhskoy generativnoy sfere sosny pri aerotekhnogennom zagryaznenii]. *Ekologo-geograficheskie problemy sokhraneniya i vosstanovleniya lesov Severa* [Ecological and geographical problems of maintenance and renewal of North forests]. Arkhangelsk, 1991. P. 296.
25. Fedorkov A. L. *Adaptatsiya khvoynykh k stressovym usloviyam Kraynego Severa* [Adaptations of coniferous trees to stress conditions of the Far North]. Ekaterinburg, 1999. 97 p.