

УДК 502:902.672

УРОВЕНЬ ТЕРАТОГЕНЕЗА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТА В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

© 2012 С.С. Тушицын¹, Н. Е. Рябогина², Л.С. Тушицына¹

¹Тюменский государственный университет

²Институт проблем освоения Севера СО РАН, г. Тюмень

Поступила в редакцию 29.09.2011

В статье рассматриваются результаты спорово-пыльцевого анализа, выполненного в Тюменской области в разных экологических зонах.

Ключевые слова: палинология, спорово-пыльцевой анализ, род *Pinus*, тератоморфизм, палинотератный комплекс, лесотундра, средняя тайга, лесостепь, Тюменская область.

Целью выполненного исследования была оценка уровня тератогенеза в разных экологических условиях. Выделяют пять основных категорий уродств: 1) клеточных органелл; 2) клеток и клеточных аппаратов; 3) тканей и тканевых систем; 4) органов и систем органов; 5) организма в целом в тот или иной срок его развития. У многих ныне живущих растений обнаружены уродства вегетативных органов и органов размножения, обладающие чертами строения, присущими предкам этих растений [1].

В нашем исследовании об уровне тератогенеза судили по доле аномальной пыльцы рода *Pinus* в таких природных зонах Тюменской области как лесотундра, средняя тайга и на границе подтайги и лесостепи. В каждой из этих зон сравнивали палинотератоморфный комплекс на участках с техногенным загрязнением и фоновых территориях.

Отбор проб для спорово-пыльцевого анализа проведен с 2007 по 2011 годы. В лесотундровой зоне поверхностная почвенная проба, условно названная «фон» была отобрана под г. Уренгоеем в районе месторождения Северо-Пурровское, которое эксплуатируется с 2003 года; 2 пробы, названная «опыт» - в районе Уренгойского газоконденсатного месторождения, эксплуатируемого с 1984 (сотрудниками ИПОС СО РАН). В тайжной зоне отобраны пробы, названные «фон» и «опыт» на территории полигона по переработке нефтяных отходов и бурого шлама, который находится в среднем Приобье, близ г. Ханты-Мансийска. В лесостепи отобрана «фоновая» проба в одном

Тушицын Сергей Сергеевич, аспирант кафедры зоологии и экологии животных. E-mail: lighro2009@yandex.ru
Рябогина Наталья Евгеньевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный секретарь.

E-mail: ryabogina@rambler.ru

Тушицына Людмила Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и генетики.

E-mail: tylase@yandex.ru

из южных административных районов Тюменской области. В момент активного пыления собрана пыльца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городе Тюмени («опыт», подтайга). Отобранные образцы были доставлены в лабораторию Института проблем освоения севера СО РАН, где были подвергнуты химической обработке по методике Поста – Гричука [2].

Исследование и микрофотографирование пыльцы производили с помощью светового микроскопа KRUSS при увеличении в 400 раз (10×40).

Считают, что в поверхностных пробах сохраняется пыльца и споры за 30-50 предшествующих сбору лет [3]. Поэтому отобранные образцы дают возможность выявить спорово-пыльцевой спектр в указанный промежуток времени. Для статистической обработки данных использовали стандартные методы [4].

В норме (рис. 1) пыльцевое зерно рода *Pinus* за исключением лиственницы, туся и псевдотусы имеет тело и 2 воздушных мешка, образующихся в результате расхождений слоев экзины, пространство между которыми у сформированного зерна заполнено воздухом. Мешки симметрично расположены и одинаковы по размеру [5]. Длина пыльцевого зерна составляет $76,9 \pm 5,8$ мкм. Тело зерна эллипсоидальной, реже округлой формы; его длина равна $52,6 \pm 3,45$ (47-56 мкм), высота – 38,1 2,78 (37-41) мкм, ширина – 44,3 3,49 (37-47) мкм [6].

Изучение пыльцевых зерен рода *Pinus* позволило выявить аномальные -тератоморфные формы. Все типы выявленных в работе палинотератных комплексов разделили на 4 группы (типа).

На рис. 2 представлена аномальная пыльца 1 типа. У этой пыльцы диспропорционально развито тело или воздушные мешки, наблюдается асимметрия пыльцевых мешков.

Ко второму палинотератному комплексу от-

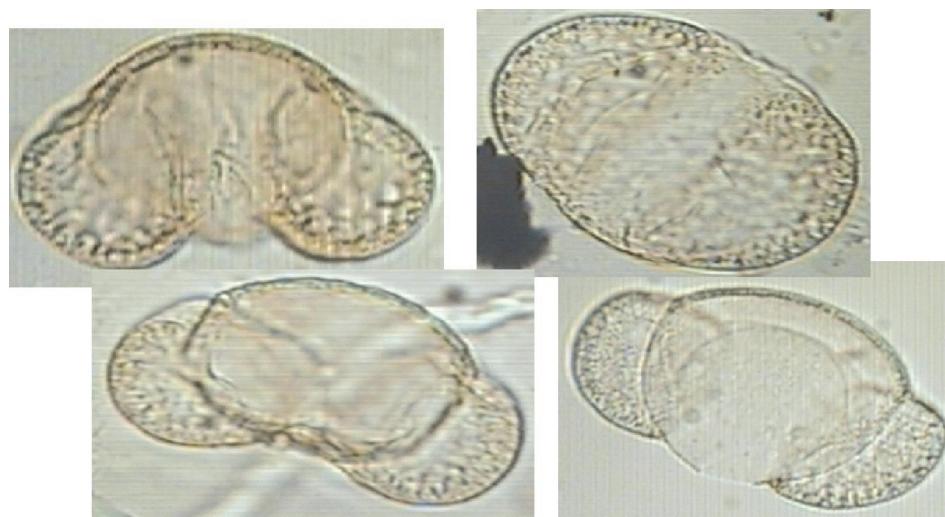


Рис. 1. Нормальная пыльца рода *Pinus*

несли пыльцу с аномальными размерами пыльцевого зерна (мелкие или очень крупные), условно названную «карлики» и «гиганты» (рис. 3). В настоящее время палинотератный комплекс с господством карликовых палиноформ выявлен для некоторых поверхностных проб, отобранных из современной тундровой зоны Западной Сибири – района низких температур и избыточного увлажнения [7].

У пыльцы с отклонениями 3 типа есть отклонения в нормальном развитии экзины – она утолщена или истончена (рис. 4).

4 тип включает в себя пыльцу с изменением

в морфотипе; а именно: - отсутствие 1-ого или 2-х воздушных мешков, недоразвитие воздушных мешков (замена их «бахромой»), аномальное количество воздушных мешков (один или более двух), опухолевоподобные новообразования на теле или воздушных мешках. Эти изменения представлены на рис. 5-7.

Палинотератный комплекс 4 типа (с многообразными отклонениями от палиноморфологической нормы) – индикатор межвидовой и межродовой гибридизации, мутационных процессов, стрессов, вызывающих опухолевоподобные разрастания экзины и т.д. В настоящее время име-



Рис. 2. Диспропорционально развитая пыльца

Примечание: а - аномально большие или маленькие размеры двух пыльцевых мешков;
б - разные размеры пыльцевых мешков одного пыльцевого мешка

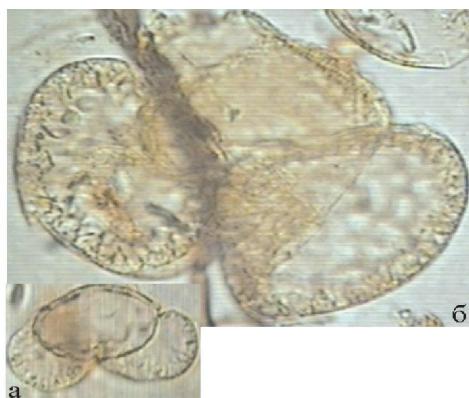


Рис. 3. Пыльца с изменёнными размерами
Примечание: а – «карлик», б – «гигант»

ются примеры связи этого палинотератного комплекса с различными экологическими факторами – опухолевоподобные разрастания экзины ели зафиксированы в поверхностных пробах из района Сосновоборской АЭС [8].

В работе О.Ф. Дзюба [9] выделено 7 морфотипов нетипичных (тератоморфных) пыльцевых зерен: 1- двуразмерномешковые, 2 – двумешковые с сильно сближенными воздушными мешками, 3 – двумешковые с недоразвитыми воздушными мешками, 4 – двумешковые типа «*Haploxyton*», 5 – одномешковые (мешок полу-сферический) типа «*Protopodocarpus*», 6 – одно-

мешковые типа «*Tsuga*», 7 – трехмешковые.

Т.А. Мельникова [10], на основании того, что атипичные пыльцевые зерна отличались от нормальных размерами, формой, количеством и способом соединения воздушных мешков между собой, сгруппировала их в 8 типов. По количеству воздушных мешков было выделено 2 типа: 1 тип – с тремя воздушными мешками, 2 тип – с четырьмя воздушными мешками. По способу соединения воздушных мешков было установлено 3 типа: 3 тип – с двумя воздушными мешками, слившимися между собой, 4 тип – с тремя воздушными мешками, 5 тип – с двумя воздушными мешками, смыкающимися между собой. По форме воздушных мешков выделено 2 формы: 6 тип – двумя воздушными мешками разных размеров (один мешок почти в раза больше другого), 7-й тип – с тремя воздушными мешками, один из которых значительно больше других. По размерам воздушных мешков определен один - 8 тип – с двумя воздушными мешками очень маленьких размеров.

Таким образом, выделенные нами морфотипы не являются уникальными для Тюменской области, так как встречаются и на других исследуемых российских территориях. Особый интерес среди всех тератоформ представляют асимметрично развитые пыльцевые зерна: с воздушными

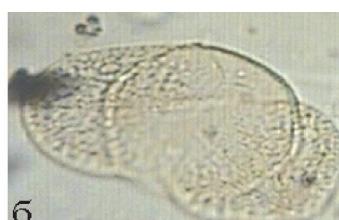


Рис. 4. Пыльца с отклонениями в нормальном развитии экзины
Примечание: а – утолщенная экзина, б - утонченная экзиной.

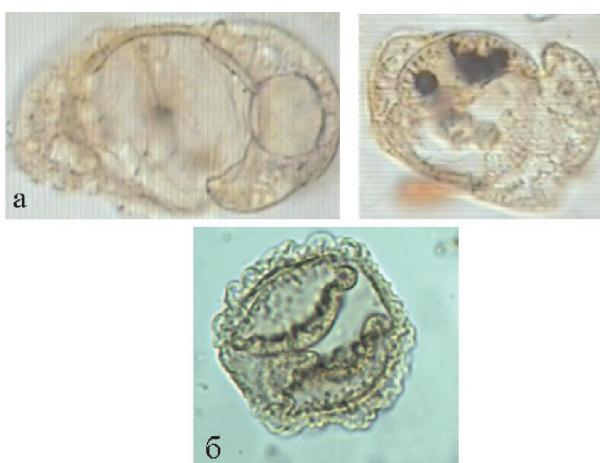


Рис. 5. Пыльца с отклонениями
в морфологическом строении
Примечание: а – опухолевоподобные «новообразования» на теле и мешках, б – «бахрома»
вместо воздушных мешков

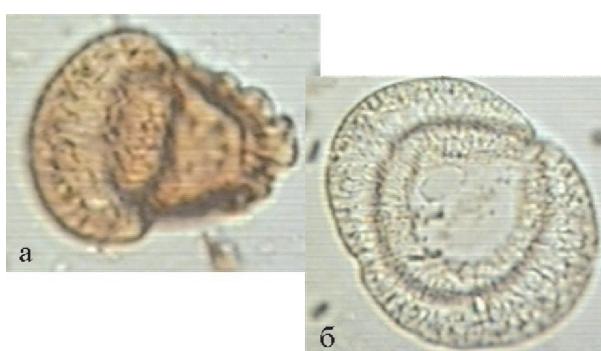


Рис. 6. Пыльца с отклонениями
в морфологическом строении
Примечание: а – один недоразвитый воздушный
мешок («бахрома» вместо мешка),
б – два мешка, сросшиеся в один

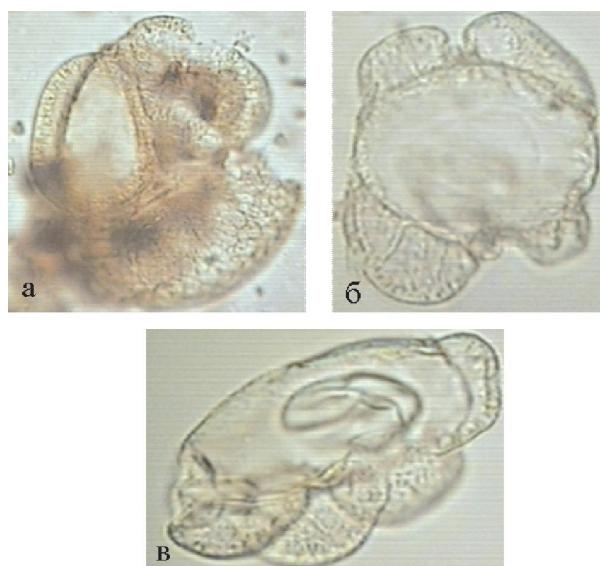


Рис. 7. Пыльца с отклонениями в морфологическом строении.

Примечание: а – пыльцевое зерно с 3-мя воздушными мешками, б – с 4-мя, в – с 5-ю

мешками разных размеров и, как крайние варианты асимметрии, с одним и тремя воздушными мешками, так как их частота отражает долю особей с нестабильным развитием. В последнее время появилось много работ, в которых авторы анализируют уровень стабильности организмов, оценка которого рекомендована в качестве информационного показателя для мониторинга популяций [10, 11, 12].

Данные, полученные в работе, представлены в табл. 1-3.

Из табл. 1 видно, что в опытных вариантах из всех природных зон частота аномальной пыльцы 1 типа выше, чем в фоновых вариантах. Аналогичную картину наблюдали и в отношении аномальной пыльцы 2, 3 и 4 типов. Частоты тератоморфных пыльцевых зерен в вариантах «опыт» в 1,2 – 1,6 раз превосходили аналогичные значения в контрольных вариантах, хотя не во всех случаях доказана статистическая значимость этих различий.

В табл. 2 приведена суммарная частота (всех 4-х типов) в вариантах «фон» и «опыт». Из этой таблицы видно, что в большинстве опытных вариантов, с более высокой техногенной нагрузкой, доля тератоморфной пыльцы выше, чем в контроле, в вариантах с меньшим антропогенным воздействием. Такая закономерность характерна как для зоны лесотундры, так и для северной тайги и лесостепи.

Правда различия показателей в указанных вариантах в зоне средней тайги оказались статистически недостоверными, что, по-видимому, связано с недостаточным объемом выборки, и, следовательно, высокими значениями ошибок выборочных средних. Объясняется близость значений признака в двух вариантах, фоновом и опытном, нельзя исключать и, по-видимому, широкое взаимопроникновение пыльцы с указанных территорий, т.к. известно, что пыльца рода *Pinus*

Таблица 1. Частота аномальной пыльцы 4-х типов в разных вариантах

Вариант, увеличение (в раз)	Число просмотренных пыльцевых зерен	Аномальная пыльца (n, %)			
		1 типа	2 типа	3 типа	4 типа
лесотундра					
«фон»	222	16 $7,2 \pm 1,74^*$	3 $1,4 \pm 0,79$	1 $0,5 \pm 0,47^*$	5 $2,3 \pm 1,01^*$
«опыт»	291	53 $18,2 \pm 2,26^*$	9 $3,10 \pm 1,02$	11 $3,8 \pm 1,12^*$	20 $6,9 \pm 1,49^*$
Увеличение		2,5	2,2	7,6	3,0
средняя тайга					
«фон»	265	10 $3,8 \pm 1,18$	2 $0,8 \pm 0,55$	3 $1,1 \pm 0,64$	4 $1,5 \pm 0,75$
«опыт»	623	20 $3,2 \pm 0,71$	16 $2,6 \pm 0,64$	8 $1,3 \pm 0,45$	14 $2,3 \pm 0,60$
Увеличение			3,3	1,2	1,5
подтайга/лесостепь					
«фон»	389	11 $2,8 \pm 0,84^*$	1 $0,3 \pm 0,28$	1 $0,3 \pm 0,28^*$	6 $1,5 \pm 0,62$
«опыт»	1175	60 $5,1 \pm 0,64^*$	11 $0,9 \pm 0,28$	14 $1,2 \pm 0,10^*$	27 $2,3 \pm 0,47$
Увеличение		1,8	3,0	4,0	1,5

Примечание: * - различие с контролем статистически достоверно

Таблица 2. Частота аномальной пыльцы в «фоновых» и «опытных» образцах из разных природных зон Тюменской области

Вариант	Число пыльцевых зерен	Число аномальных пыльцевых зерен	Частота аномальных пыльцевых зерен, %
«фон» средняя тайга и лесостепь	654	36	$5,5 \pm 0,9^{*\#}$
«опыт» средняя тайга и лесостепь	1798	153	$8,5 \pm 0,7^{*!}$
«фон» лесотундра	222	24	$10,8 \pm 2,1^{\wedge\circ}$
«опыт» лесотундра	291	79	$27,2 \pm 2,6^{#\!\circ}$

Примечание: *, ^, #, °, ! - статистически достоверно различающиеся величины в вариантах «фон» и «опыт»

Таблица 3. Частота аномальной пыльцы из разных природных зон Тюменской области

Вариант	Число пыльцевых зерен	Число аномальных пыльцевых зерен	Частота аномальных пыльцевых зерен, %
лесотундра	513	103	$20,1 \pm 1,77^{*\Delta}$
средняя тайга	888	69	$7,8 \pm 0,90^{*}$
лесостепь	1564	120	$7,6 \pm 0,67^{*\Delta}$
Тюменская область	2965	292	$9,9 \pm 0,55$

Примечание: *, Δ - статистически достоверно различающиеся величины.

может распространяться на далекие расстояния.

В работе сравнили также частоту тератоморфной пыльцы в пробах из разных природных зон Тюменской области (табл. 3).

Из таблицы 3 видно, что самая высокая частота аномальной пыльцы зарегистрирована в лесотундре; она почти в 3 раза превышает соответствующие значения в средней тайге и лесостепи, где доля тератоморфной пыльцы в исследованных образцах оказалась равной.

Можно предположить, что в условиях лесотундры «уклоняющиеся» формы мужских гаплоидных гаметофитов являются менее жизнеспособными, чем нормальные – средние варианты. Как полагают многие авторы [13], средние по значению признаков организмы относятся к так называемой «адаптивной норме», т.е. имеют неспецифический комплекс генов, определяющий их более высокие гомеостатические возможности. Организмы же отклоняющиеся от нормы имеют пониженную устойчивость и чаще элиминируются.

Также можно сделать предположение, что более высокий уровень аномалий в лесотундре определяется не только особенностями генетической структуры популяции на данной территории, но и условиями окружающей среды.

В исследуемых природных зонах Тюменской области обнаружено высокое почвенное, гидросферное, атмосферное загрязнение. Так, для почв газоконденсатных месторождений Уренгойской тундры характерно присутствие нефтяных углеводородов, концентрация которых изменяется от 3 до 2005 мг/кг воздушно-сухого вещества. В почвах Самбургского месторождения средняя концентрация нефтяных углеводородов достигает 538,4 мг/кг, максимальная – 2005 мг/кг. Ис-

точником загрязнения являются разливы нефти и буровых растворов на почву, а также эксплуатация транспортных средств (в колеях вездеходов отмечаются маслянистые пятна и нефтяные пленки). При нарастании антропогенной нагрузки в поверхностном горизонте почв зафиксировано увеличение многих тяжелых металлов: Zn, Mn, Cu, Sr, Ni, Pb. Содержание последнего может превышать фоновые в 10 раз (до 145 мг/кг). В районе Уренгойских месторождений отмечается высокая зольность растений. Анализ пространственного распределения концентраций тяжелых металлов в растениях свидетельствует о четкой приуроченности аномальных значений к источникам загрязнений [14].

Высокий уровень аномальной пыльцы в зоне лесотундры, выявленный в нашей работе, детерминирован, по-видимому, не только значительным почвенным загрязнением, существенным и в северной тайге, но и более сильным атмосферным загрязнением. Так, в Пуровском административном районе (территория отбора проб в лесотундре), зафиксированы более высокие концентрации бенз(а)пирена, свинца и хрома, чем в Ханты-Мансийском районе, где были отобраны пробы в зоне северной тайги [15].

Следует указать также на повышенный фон радиации в лесотундровой зоне, который, по-видимому, определяет повышенную частоту таких хромосомных нарушений как кольца и дикентрики (0,4 %) у жителей Пуровского района (в России в среднем, 0,1 %). В этом административном районе выявлено повышенное содержание цезия – 137 в почвах (в среднем 143,9 Бк/кг), ягеле (149,6 Бк/кг), оленем мясе (от 48 до 262 Бк/кг) [16]. Но следует указать, что в ХМАО, хотя содержание цезия - 137 в естественных тра-

вах не превышает ПДК (100 Бк/кг), в ягеле и продукции оленеводства в годы исследования (1986 - 2000) его аккумуляция превышала в ряде проб в отдельные годы допустимую концентрацию [17].

Наконец, увеличение количества палинотератов в пробах из лесотундры может быть связано с сировостью климатических характеристик, например, дефицитом температур в названном районе исследования, который к тому же, является пограничным в ареале для рода *Pinus*.

Город Тюмень является одним из самых загрязненных городов Тюменской области. В наибольшей степени атмосферу в городе загрязняют предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ 1 и ТЭЦ 2), а также аккумуляторный завод, завод строительных машин, фанерокомбинат и др. Значительную часть выбросов этих предприятий составляют загрязнители с 1-й категорией вышесть фоновые в 10 раз (до 145 мг/кг). В районе Уренгойских месторождений отмечается высокая зольность растений. Анализ пространственного распределения концентраций тяжелых металлов в растениях свидетельствует о четкой приуроченности аномальных значений к источникам загрязнений [14].

Город Тюмень является одним из самых загрязненных городов Тюменской области. Практически на всех городских территориях отмечено превышение ПДК по фенолу, формальдегиду, диоксиду азота, оксиду углерода и пыли [15, 18].

Показано, что техногенное загрязнение территории оказывает существенное влияние на состояние древесных растений. В наибольшей степени негативному влиянию городской среды подвержены хвойные насаждения. Загрязнение приводит к заметным изменениям общего габитуса и отдельных морфологических структур деревьев, ухудшению их физиологического состояния, снижается прирост древостоя по высоте и диаметру, ухудшается его состояние, а при больших концентрациях вредных примесей наблюдается засыхание насаждений [19].

Таким образом, можно сделать вывод о менее комфортных условиях существования растительных организмов семейства сосновых в лесотундре и зонах с высоким уровнем техногенного загрязнения. В указанных условиях угнетается мужская репродуктивная система, что выражается в повышении уровня тератогенеза, который может характеризовать степень экологического неблагополучия на данной территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепян Э.И. Полезные и вредные уродства растений // Наука и человечество. Международный ежегодник. М.: Знание, 1980. С. 147-161.
2. Чернова Г.М. Споро-пыльцевой анализ отложений плейстоцена-голоцен: Учеб. Пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. - 128 с.
3. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды . СПб: Недра, 2006. 198 с.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
5. Пыльцевой анализ [под ред. А. Н. Криштофовича]. Л.: Гостехиздат, 1950. 571 с.
6. Естественный полиморфизм пыльцы *Pinus sylvestris* L. в связи с некоторыми проблемами палеопалинологии / О. Ф. Дзюба, Н.К. Куликова, П.И. Токарева // Современные проблемы палеофлористики, палеофитогеографии и фитостратиграфии. Тр. междунар. палеоботанич. конф. (17-18.05.2005). М.: ГЕОС, 2005. С. 84-88.
7. Левковская Г.М. Закономерности распределения пыльцы и спор в современных и голоценовых отложениях севера Западной Сибири // Методические вопросы палинологии. М.: Наука, 1971. С. 97-102.
8. Пыльца как модель для контроля мужской генеративной сферы растений, животных и человека / О.Ф. Дзюба, Т.Л. Яковleva, А.Н. Кудрина // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия. М.: ИГиРГИ, 1999. С. 61-80.
9. Дзюба О.Ф. Изучение пыльцы из поверхностных проб для оценки качества окружающей среды // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006, № 1. С. 1-18.
10. Мельникова Т. А. Аномальная пыльца рода *Pinus* как индикатор палеоклиматических флюктуаций в голоцене // Вестник ДВО РАН. 2004, № 3. С. 178-182.
11. Анализ стабильности развития бересы повислой (*Betula pendula*) в условиях химического загрязнения / Н.Г. Кряжева, Е.К. Чистяков, В.М. Захаров // Экология. 1996, № 6. С. 441-444.
12. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов др. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
13. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях: Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИКЦ «Академ-книга», 2003. 431 с.
14. Арестова И. Ю. Оценка устойчивости тундровых экосистем с использованием геохимических и фитоиндикационных показателей: Автореф. дис.....канд. геогр. наук. СПб., 2003. 24 с.
15. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Тюменской области. Тюмень :департамент недропользования и экологии Тюменской области, 2006. 200 с.
16. Хромосомные нарушения у жителей самбургской тундры в условиях экологического неблагополучия / А.В. Пономарева, В.Г. Матвеева, А.П. Осипова, О.Л. Посьух // Сибирский экологический журнал. 2000. Т VII. № 1. С. 67-71.
17. Накопление радионуклидов в объектах природной среды Ханты-Мансийского автономного округа / Л.Н. Скипин, Е.В. Захарова, А.А. Ваймер, И.К. Судакова // Вестник Тюменского государственного университета. 2006. № 5. С. 47-55.

18. Гусейнов, А. Н. Экология города Тюмени: состояние, проблемы. Тюмень: Слово, 2001. 176 с.
19. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение [под ред. В. А. Алексеева]. Л.: Наука, 1990. 198 с.

LEVEL OF TERATOGENESIS AS INDEX OF THE STATE OF BIOOBJECT IS IN DIFFERENT ECOLOGICAL TERMS

© 2012 S.S. Tupitsyn¹, N.E. Ryabogin², L.S. Tupitsyna¹

¹Tyumen State University

²Institute of Problems of Mastering of North from Siberian Separation of the RAS, Tyumen

The results of the spore-pollen analysis executed in the Tyumen area in different ecological zones are examined in the article.

Keywords: palynology, spore-pollen analysis, sort of *Pinus*, teratomorfizm, palinoteratny complex, forest-tundra, middle taiga, forest-steppe, Tyumen area.

Sergey Tupitsin, Graduate Student at the Zoology and Zooecology Department. E-mail: lighro2009@yandex.ru
Natalia Ryabogina, Candidate of Geology and Mineralogy Sciences, Scientific Secretary. E-mail: ryabogina@rambler.ru
Liudmila Tupitsina, Candidate of Biology, Associate Professor at the Ecology and Genetics Department.