

УДК 502.6:[561:581.33]

Дзюба О.Ф., Кочубей О.В., Федосеева С.В.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, dof.palynolog@mail.ru, slavyanskok@yandex.ru, svetochkina@mail.ru

Марков В.Е.

Закрытое акционерное общество «ЛИМБ» (ЗАО «ЛИМБ»), Санкт-Петербург, Россия, markvladimir@yandex.ru

Гильдин С.М.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Обоснована возможность применения палинологических исследований в инженерно-экологических изысканиях (в том числе и на территориях объектов нефтегазового комплекса). Анализ таксономического состава субрецентных спорово-пыльцевых спектров и морфологических особенностей пыльцевых зерен высших растений позволили авторам качественно охарактеризовать состояние природной среды, провести ретроспективный анализ, оценить современное состояние биоценозов в природно-техногенной среде, а также осуществить проведение экологического мониторинга в пределах изученных территорий.

***Ключевые слова:** инженерно-экологические изыскания, палинология, спорово-пыльцевой анализ, биоиндикация, биотестирование, экологический мониторинг, палиноиндикация качества окружающей среды.*

Введение

Инженерно-экологические изыскания являются самостоятельным видом работ, входящих в перечень необходимых при проектировании объектов капитального строительства, в том числе и объектов нефтегазового комплекса. Актуальность подобных работ, как и требования к их проведению постоянно растут. Существующая в настоящее время нормативно-техническая документация, к сожалению, не всегда дает четкие указания к действиям специалистов при выполнении отдельных видов работ в рамках инженерно-экологических изысканий. Кроме того, использование традиционных методов зачастую не позволяет получать адекватную информацию о состоянии природной среды изучаемого объекта. В связи с этим представляется важным не только совершенствовать нормативно-техническую базу инженерной экологии, но и применять новые методические разработки при выполнении изысканий. Весьма перспективным, с нашей точки зрения, является привлечение результатов биологической индикации, позволяющих оценивать не только отдельные природные компоненты, но и общее состояние геосистем в границах объектов

исследования. Использование технологий биоиндикации возможно как в совокупности с традиционными методами, так и в качестве самостоятельного направления. Существующие на сегодняшний день апробированные методы биологической индикации помимо сложности исполнения и высокой стоимости имеют недостаточно широкую область применения. Одним из перспективных методов, способных помочь преодолению существующих ограничений, является палинологический, основанный на изучении таксономического состава спорово-пыльцевых спектров, в комплексе с учётом отклонений в морфологическом строении пыльцевых зерен и анализом специфики этих отклонений.

Традиционно результаты палинологических исследований используются при палеогеографических и палеогеоэкологических реконструкциях. Сравнительно недавно палиноморфологию начали привлекать для оценки качества окружающей среды современной и прошлых эпох, а также для прогнозирования ряда природных явлений и вероятностных изменений окружающей среды.

Применение палинологических исследований в инженерно-экологических изысканиях представляется возможным сразу в нескольких направлениях – в качестве одного из методов при проведении комплексной оценки качества окружающей среды; при проведении экологического мониторинга; при проведении ретроспективного анализа состояния экосистем.

Материал и методика

С целью подтверждения объективности и правомочности использования палиноморфологии для индикации качества окружающей среды, в том числе и при проведении экологического мониторинга, была исследована пыльца вида *Tilia cordata* Mill. (липа сердцевидная) [Дзюба, 1999; Дзюба, 2006], продуцированная деревьями, произрастающими в Санкт-Петербурге, его рекреационной зоне и в Ленинградской области с 1892 по 1997 гг.

Нативная¹ пыльца липы отбиралась непосредственно с деревьев в периоды массового цветения 1990-1997 гг. Часть материала собиралась в бумажные пакеты, другая – в стеклянные флаконы с фиксатором Карнуа. В качестве эталона сравнения/контроля параллельно изучалась пыльца л. сердцевидной из гербарного материала², собранного с деревьев, произраставших в Санкт-Петербурге и его рекреационной зоне с 1892 по 1956 гг.,

¹ Отобранная непосредственно из пыльников цветков живых растений.

² Использовались гербарные материалы Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН и кафедры Ботаники Санкт-Петербургского государственного университета (1892-1994 гг.).

поскольку вполне очевидно, что техногенная нагрузка в конце XIX – начале XX века была значительно ниже, чем в настоящее время.

С помощью светового микроскопа изучались предварительно ацетолизированные [ERDTMAN, 1952] пыльцевые зерна; с помощью сканирующего электронного микроскопа изучались как ацетолизированные, так и необработанные пыльцевые зерна (в естественном состоянии).

По разработанной нами методике палиноиндикации качества окружающей среды [Дзюба, 2006] во всех образцах исследовалось не менее 200 пыльцевых зерен, каждое из которых обследовалось по следующим параметрам:

- а) форма пыльцевого зерна;
- б) размеры пыльцевого зерна;
- в) количество апертур;
- г) характер расположения и тип апертур;
- д) толщина и количество слоев спородермы;
- е) характер и тип скульптуры спородермы;
- ж) нарушение симметрии пыльцевого зерна.

Таким образом, в каждом конкретном образце, фиксировалось наличие/отсутствие тератоморфных (патологически развитых) пыльцевых зерен, подсчитывалось их количество и анализировались морфологические особенности.

Особое внимание обращаем на следующее: с помощью светового микроскопа пыльцевые зерна исследовались исключительно во временных препаратах (в глицериновой среде) для того, чтобы каждое зерно можно было повернуть для детального изучения и фотографирования в разных положениях.

Для оценки современного состояния биоценозов в природно-техногенной среде и ретроспективного анализа был отобран палинологический материал из трех небольших почвенных колонок (мощностью 15 см), заложенных в непосредственной близости от мест проведения подземных ядерных взрывов на территории Архангельской области. Для палинологического исследования из каждой почвенной колонки последовательно (без интервалов) отбирался каждый сантиметр грунта по залеганию. Кроме того, на территории одного из подземных хранилищ газа Северо-западного региона России, с той же целью, были отобраны 33 поверхностные пробы почв. Таким образом, в целом, в нашем распоряжении оказалось 67 образцов.

Весь отобранный материал был технически обработан в лаборатории Палинологических исследований ФГУП «ВНИГРИ» по модифицированной методике Поста [Дзюба, 1984]. Исследование и микрофотографирование пыльцы производилось там же с помощью светового микроскопа марки «Leica DLMS» и системы анализа изображений «Видео-Тест-Структура-Мастер». Пыльцевые зерна, по возможности, определялись до ранга семейства, рода, в оптимальном случае - вида. Для уточнения диагностики пыльцевых зерен отдельных таксонов использовалась коллекция пыльцы современных растений («коллекция сравнения»³). Особое внимание уделялось выявлению тератоморфных (патологически развитых) пыльцевых зерен, поскольку наличие или отсутствие таких зерен в отложениях является свидетельством качества/состояния современной им окружающей среды.

Подсчет содержания пыльцы в спектрах производился общепринятым при изучении палинологических образцов четвертичного времени групповым методом [Подойница, 2011]. При этом особое внимание уделялось наличию/отсутствию в каждом конкретном образце (то есть, в определенных временных рамках) тератоморфных пыльцевых зерен: подсчитывалось их количество, анализировались морфологические особенности.

На базе лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» были выполнены санитарно-токсикологические исследования 32-х образцов⁴ почв и грунтов с 16 пробных площадок, заложенных на территории упомянутого выше подземного хранилища газа. Определялось количественное содержание тяжёлых металлов и мышьяка (методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии), нефтепродуктов (гравиметрическим методом) и бенз(а)пирена (методом жидкостной хроматографии). Параллельно с этим был произведён бактериологический, паразитологический и токсикологический анализы. Здесь же были проведены и радиологические исследования.

Методологической основой биотестирования в нашей работе стало получение информации о состоянии живых биологических объектов с известными реакциями на разные степени опасности/безопасности среды. При проведении подобных анализов определяющим показателем качества среды является выживаемость/смертность тест-объектов – живых организмов определенного таксона. В данном случае, в качестве объекта биотестирования, использовались водные беспозвоночные животные вида *Daphnia magna* Straus

³ Образцы с пыльцой конкретных таксонов растений и пыльца из гербарного материала, имеющиеся в распоряжении лаборатории Палинологических исследований ФГУП «ВНИГРИ».

⁴ Образцы отбирались послойно (с глубины 0-0,2 м и 0,2-1,0 м).

(ФР.1.39.2007.03222), которые помещались на определенное время в водные вытяжки из интересующих нас почв и грунтов.

В соответствии с методикой проведения биотестирования, критерием острой токсичности исследуемой среды/объекта служит гибель в водной вытяжке в течение 96 часов не менее 50% дафний (при условии, что в контрольном эксперименте их гибель не превышает 10%). При определении же класса опасности принимается во внимание ещё и уровень смертности дафний при стократном разбавлении тестируемой водной вытяжки.

Результаты исследования и обсуждение

В ранее опубликованных работах [Куриный, 1973; Бессонов, 1992; Мейер-Меликян, Кифишина, 1993; Дзюба, 1999; Дзюба и др., 1999; Дзюба, Борейша, Яковлева, 2001; Мейер-Меликян, 2001; Дзюба, 2006; Dzyuba, 2006] неоднократно говорилось о том, что под влиянием внешних факторов различной этиологии нарушаются процессы жизнедеятельности растений, в том числе, и связанные с развитием и формированием пыльцевых зерен. В результате продуцируется значительное количество пыльцевых зерен с измененными морфологическими структурами [Дзюба, 1999; Дзюба и др., 1999; Дзюба, 2006; Dzyuba, 2006]. При этом некоторые виды внешнего воздействия, в частности, такие как радиация, могут вызывать определенную специфику тератоморфоза пыльцевых зерен [Дзюба, 1999; Дзюба и др., 1999; Дзюба, 2006]. Об этом же свидетельствуют и результаты многолетнего экологического мониторинга, осуществлявшегося с помощью метода палиноиндикации качества окружающей среды (ПИКОС) [Дзюба, 2006], на территориях г. Санкт-Петербург и города-спутника Ленинградской Атомной Электрической Станции - Сосновый Бор.

Как уже говорилось выше, чтобы убедиться в правомочности использования палиноморфологии для индикации качества окружающей среды мы исследовали пыльцу липы сердцевидной [Дзюба, 1999, 2006], продуцированной деревьями, произраставшими и произрастающими в Санкт-Петербурге, его рекреациях и в Ленинградской области с 1892 по 1997 гг. Результаты сравнительного анализа показали: количество тератоморфной (уродливой) пыльцы, продуцированной л. сердцевидной на территории исследования за чуть более чем столетний период, резко возросло. В итоге, в образцах пыльцы вида *T. cordata* 1892 г. было обнаружено 6,5% патологически развитых пыльцевых зерен, а в образцах 1996 г. – уже 44,8 - 64,0%, то есть - с 1892 по 1997 гг. количество тератоморфных зерен возросло в 5-10 раз (в зависимости от места произрастания каждого конкретного дерева). За тот же период заметно возросло и число типов тератоморф пыльцевых зерен, максимальное содержание которых установлено в образцах, отобранных после 1956 г. Очевидно, что

постоянно усугубляющееся экологическое неблагополучие, в первую очередь, вследствие увеличения техногенной нагрузки, влечет за собой ухудшение состояния генеративной сферы растений. В частности, продуцируется большое количество тератоморфных пыльцевых зерен.

Несколько позднее, нами был проведен сравнительный анализ содержания в нативной пыльце вида *T. cordata*, собранной в Санкт-Петербурге (1993-1996 гг.), тератоморфных пыльцевых зерен с показателями выбросов в атмосферу города в те же годы⁵ основных загрязняющих веществ (диоксид серы, оксид углерода) [Окружающая среда... 2002]. Результаты проведенного анализа продемонстрировали высокую чувствительность процессов формирования и развития пыльцевых зерен к изменениям содержания в среде их обитания указанных выше загрязнителей. Это получило свое отражение в ходе соответствующих кривых на представленном ниже графике (рис. 1).

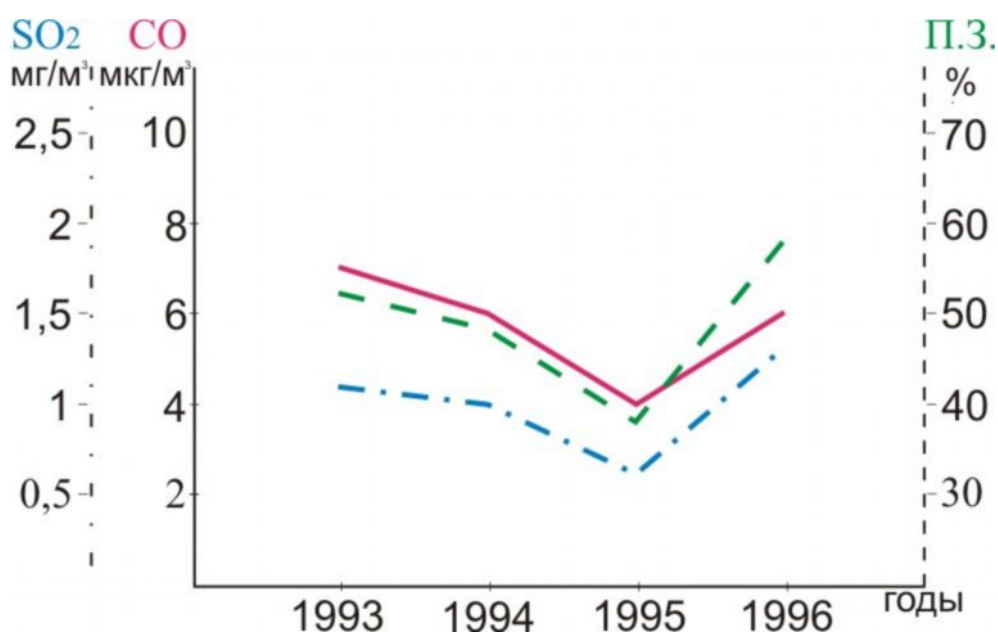


Рис. 1. Средняя концентрация загрязнителей и количество тератоморфных пыльцевых зерен в воздухе Санкт-Петербурга
П.З. - тератоморфные пыльцевые зерна *Tilia cordata* Mill.

Характер изменения содержания в нативной пыльце л. сердцевидной тератоморфных пыльцевых зёрен в разные годы практически идеально совпал с характером изменения концентраций диоксида серы и оксида углерода в воздухе Санкт-Петербурга 1993-1996 гг. Как видим, палиноиндикация качества окружающей среды – метод весьма чувствительный и заслуживает доверия при проведении различного рода экологических исследований, в том числе и мониторингового характера.

⁵ В тех же районах, где произрастали и произрастают растения-продуценты исследованной пыльцы.

Весьма значимой для инженерно-экологических изысканий представляется появившаяся возможность использовать палинологический материал для ретроспективного анализа и оценки современного состояния биоценозов в природно-техногенной среде. С этой целью мы провели детальное палинологическое исследование образцов из разных по литологическому составу кернов, отобранных в непосредственной близости от мест проведения подземных ядерных взрывов на территории Архангельской области: на Кумжинском газоконденсатном месторождении, в Вилегодском биологическом заказнике и на побережье Белого моря (Мезенский район, дер. Ручьи).

В результате были построены короткие спорово-пыльцевые диаграммы (рис. 2), которые изначально предназначались для выявления в палиноспектрах заключительного этапа субатлантического времени моментов наличия максимального/минимального содержания тератоморфных пыльцевых зерен. Высокая концентрация таких пыльцевых зерен в спектрах должна свидетельствовать, как минимум, об усилении агрессии окружающей среды по отношению к живым организмам на территории исследования и сопредельных с ней территориях и наоборот [Дзюба и др., 1999; Дзюба, Борейша, Яковлева, 2001; Дзюба, 2006]. В процессе исследования стало очевидным, что такие работы могут оказаться полезными и для ретроспективной оценки влияния на природную составляющую конкретных техногенных факторов (в данном случае – подземных ядерных взрывов).

Естественно, что спорово-пыльцевые спектры и комплексы каждого из опробованных участков имеют свои характерные особенности, обусловленные, в первую очередь, спецификой природных условий (микроклимат, ландшафт и т.д.). Так, спорово-пыльцевые спектры, выделенные из отложений почвенной колонки, отобранной в Вилегодском заказнике, характеризуются очень низким содержанием пыльцы травянистых растений на фоне доминирующей пыльцы древесно-кустарниковой группы (до 98%) и спор (до 71%), в составе которых преобладают мхи и плауны (рис. 2А).

В спектрах из отложений с побережья Белого моря (Мезенский район, дер. Ручьи) установлено высокое содержание пыльцы древесных пород (особенно березы) и кустарников (в сумме - до 80%). Заметно ниже содержание пыльцы травянистых растений и спор, их участие в спектрах общего состава примерно равноценно и колеблется от 20% до 49% (рис. 2Б).

Для спорово-пыльцевых спектров из отложений с территории Кумжинского газоконденсатного месторождения характерно преобладание пыльцы древесных растений (до 69%); доминанты - ель и сосна. Травянистые растения (до 35%) представлены

преимущественно пылью злаковых и осоковых. Содержание спор в спектрах не превышает 10% (рис. 2В).

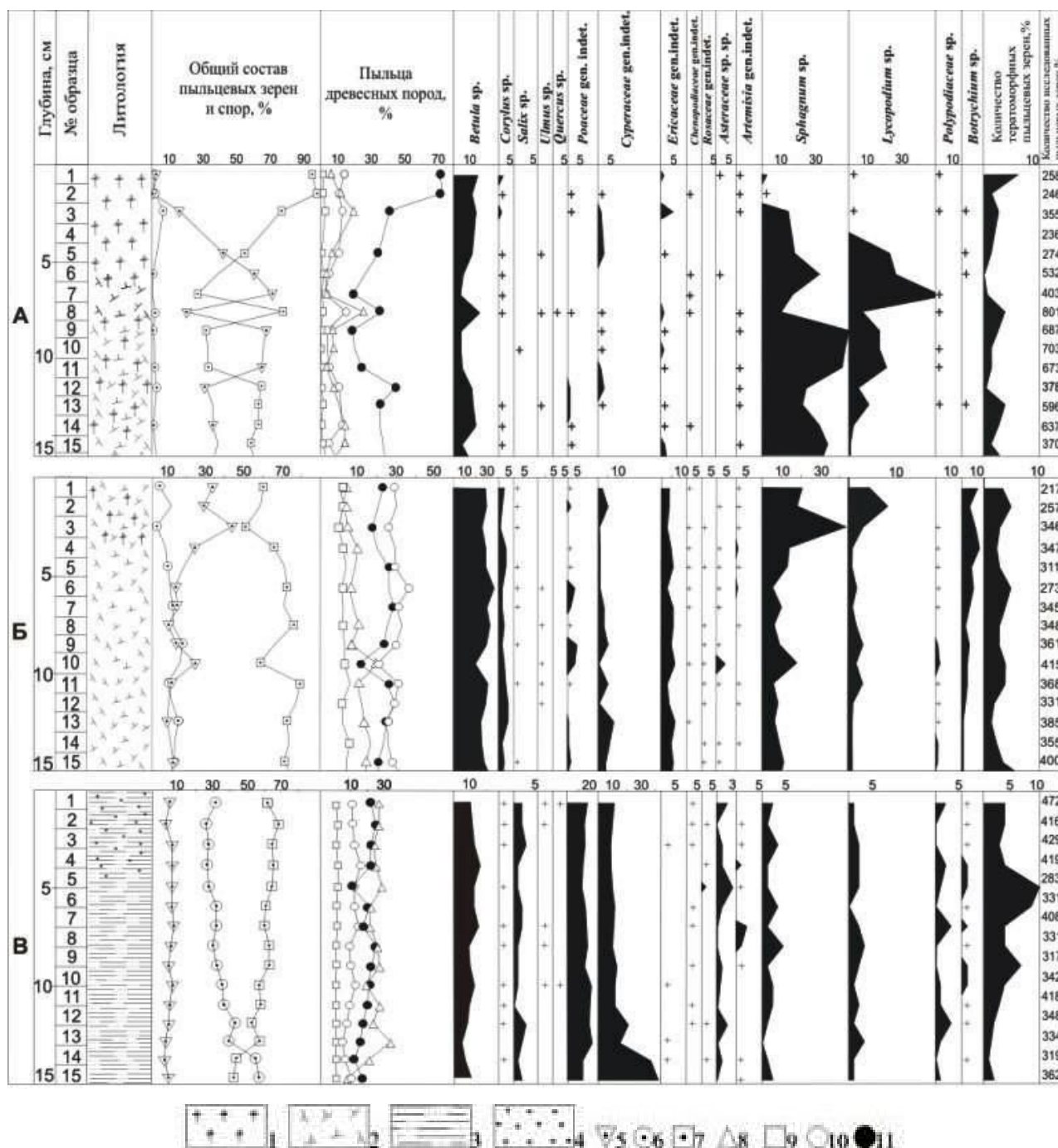


Рис. 2. Спорово-пыльцевые диаграммы разных по литологическому составу отложений, вскрытых на территории Архангельской области (в том числе НАО)

А - Вилегодский биологический заказник; *Б* – Побережье Белого моря (дер. Ручьи, Мезенского р-на), *В* - Кумжинское газоконденсатное месторождение.

1 - неперегнившие остатки растительности; 2 - торф; 3 - глинисто-песчаные отложения; 4 - дернина; 5 - споры; 6 - пыльца травянистых растений; 7 - пыльца древесных пород; 8 - ель; 9 - ольха; 10 - береза; 11 - сосна.

Наиболее очевидны различия между спорово-пыльцевыми спектрами обследованных территорий на треугольной диаграмме (рис. 3), позволившей отобразить соотношения основных компонентов выделенных палиноспектров в трехкомпонентных системах.

Воздействие антропогенного фактора тоже нашло свое отражение в количественных и качественных изменениях составов выделенных спектров, что довольно четко проявилось в разрезах Вилегодского заказника и Кумжинского газоконденсатного месторождения.

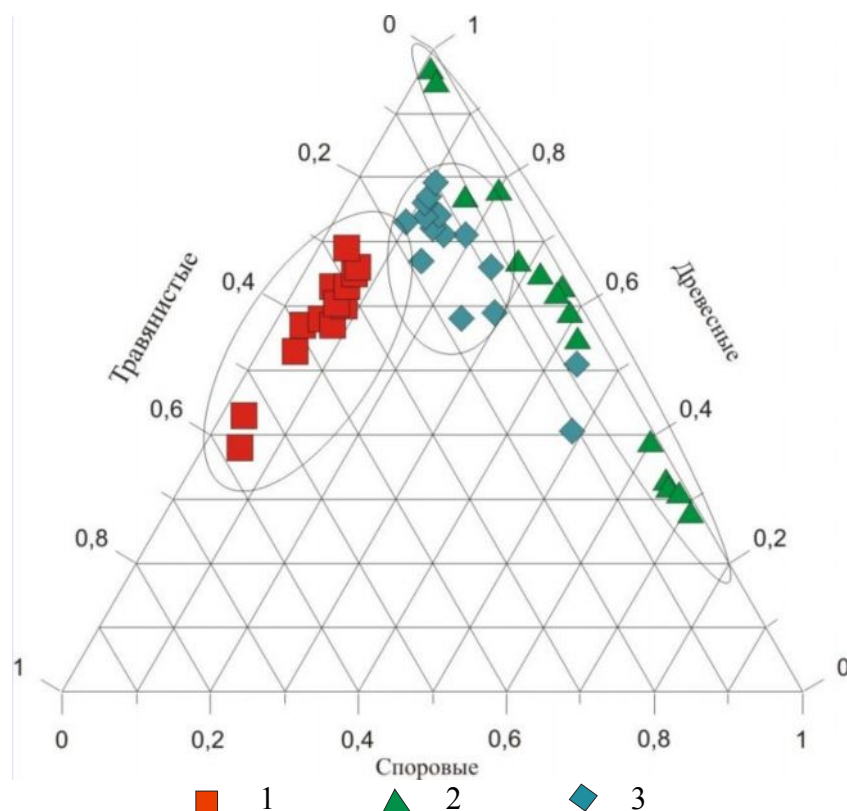


Рис. 3. Диаграмма соотношения основных групп компонентов в образцах, выделенных из кернов

1-3 – керн: 1 - Кумжинского газоконденсатного месторождения; 2 - Вилегодского биологического заказника; 3 - побережья Белого моря (Мезенский р-н, дер. Ручьи).

В спорово-пыльцевых диаграммах территории Вилегодского заказника колебания кривых содержания пыльцы и спор (как общего состава, так и отдельных таксонов), вероятнее всего, отражают трансформации биоценозов конца прошлого столетия, связанных с вырубками и мелиоративными работами, осуществлявшимися при подготовке и проведении подземных ядерных взрывов⁶. Последовавшая за этими событиями рекультивация территории, стабилизировала естественное состояние местных биоценозов. Организация заказника в 1986 г., в свою очередь, предотвратила здесь интенсивные вырубки,

⁶ Глобус-2», «Рубин-1» в 1971 и 1988 гг. - соответственно.

что наряду с благоприятными климатическими и гидрологическими условиями, поспособствовало восстановлению хвойных лесов.

Разрез с побережья Белого моря, спорово-пыльцевые спектры которого совмещают в себе характерные особенности тундровых и лесных биоценозов (рис. 2Б), оказался наименее информативным, с точки зрения выявления последствий техногенного воздействия на окружающую среду. Высокий для северных широт ассимиляционный потенциал природной среды исследуемой территории, на фоне бедной растительности, затруднил интерпретацию полученной спорово-пыльцевой диаграммы. Тем не менее, в спектрах исследованных образцов зарегистрирован довольно высокий процент тератоморфных пыльцевых зерен некоторых таксонов, что хорошо видно на диаграмме (рис. 2Б).

В составе спорово-пыльцевых спектров с территории Кумжинского месторождения (рис. 2В) обращает на себя внимание присутствие большого количества пыльцы древесных пород, чуждых тундровым ландшафтам. Это, так называемая «дальнезаносная» пыльца древесных растений (особенно таких, как сосна и береза) с сопредельных облесённых территорий. Такая пыльца переносится на значительно более далекие расстояния, чем пыльца травянистых и кустарничковых растений (за редким исключением). Поэтому качество пыльцы древесных пород, выделенной из поверхностных проб (или из более древних отложений), характеризует состояние окружающей среды (современной этой пыльце) не столько непосредственно на территориях отбора проб⁷, сколько на значительно удаленных от этих мест территориях. Пыльца представителей травянистых и кустарничковых растений (особенно таких, как вересковые и осоковые), как правило, не распространяется на большие расстояния. Она, преимущественно, оседает локально, практически там же, где продуцируется. Таким образом, качество субрецентных пыльцевых зерен представителей травяно-кустарничковой группы отражает состояние окружающей среды, современной ей именно на той территории, с которой была отобрана проба, содержащая эту пыльцу. Поэтому, для выявления присутствия техногенного и/или антропогенного факторов следует, в первую очередь, концентрировать внимание на содержащихся в спектрах пыльцевых зернах травянистых и кустарничковых растений и на особенностях их морфологического строения.

В палиноспектрах из отложений Кумжинского месторождения, на глубине 0,13 м, удалось зарегистрировать резкое падение кривых содержания пыльцы осоковых трав и представителей гидрофильной группы растений и одновременное с этим увеличение роли

⁷Если речь идет о безлесных тундровых, как в данном случае, ландшафтах.

пыльцы разнотравья в спектрах. Так частичное осушение территории, связанное с разработкой и эксплуатацией Кумжинского месторождения, запечатлелось в спорово-пыльцевых спектрах из отложений с данной территории.

Особое внимание обращает на себя следующее: на глубине 0,10 и 0,04 м выявлено максимальное по разрезу количество тератоморфных пыльцевых зерен (до 11%) с характерными нарушениями морфологического строения (табл. 1), типичными для территорий с высоким уровнем радиоактивного загрязнения [Дзюба и др., 1999; Дзюба, Борейша, Яковлева, 2001; Дзюба, 2005, 2006].

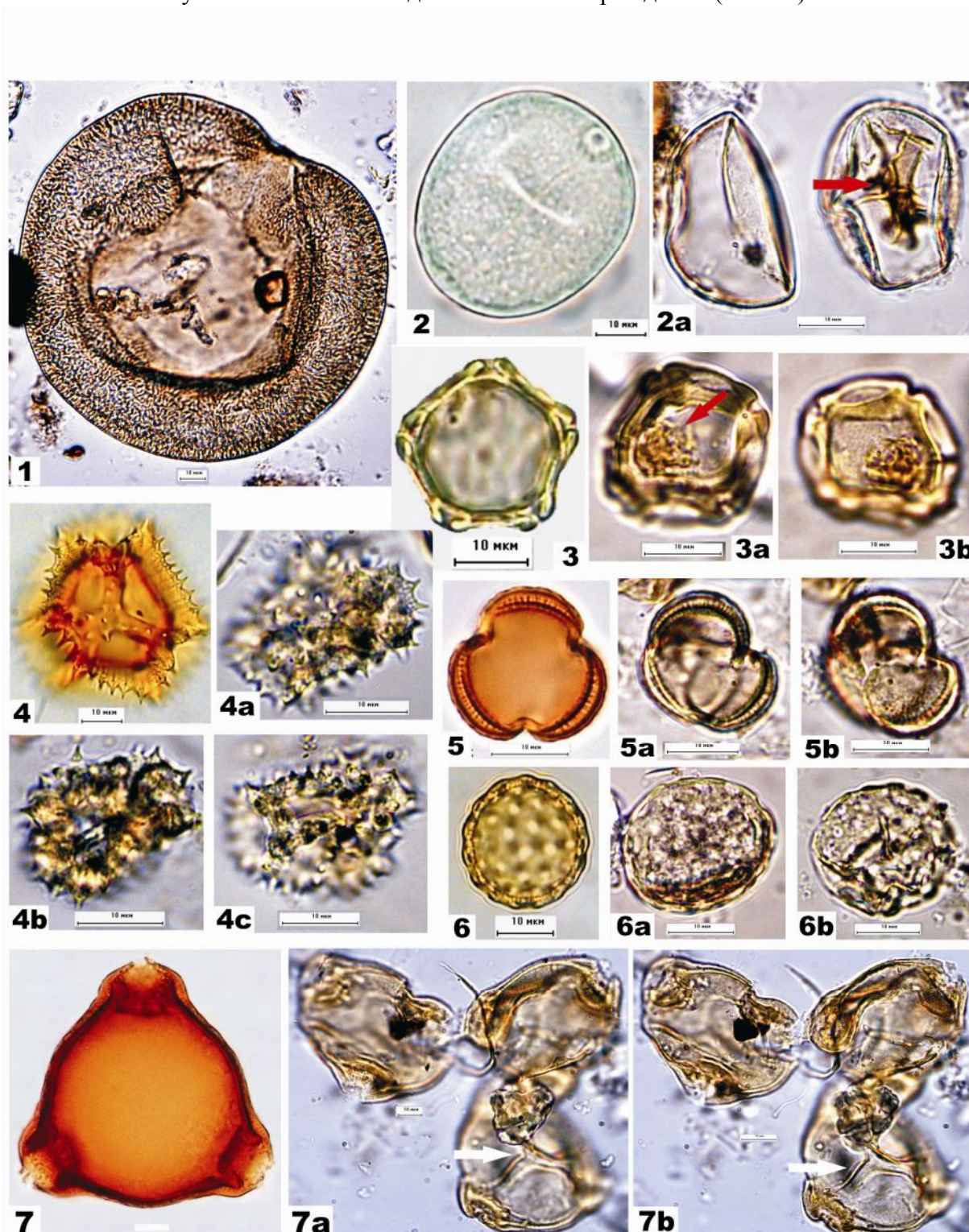
Проявление такого рода тератоморфоза пыльцы растений на исследованной территории, с нашей точки зрения, может быть связано только с последствиями ликвидации аварии на одной из скважин месторождения («Кумжа-9»), осуществленных посредством подземного ядерного взрыва («Пирит») в 1981 г. Последствия самой аварии и способов ее ликвидации до настоящего времени продолжают напоминать о себе. Растения (выжившие современники аварии и значительно более молодые) и в наши дни продолжают продуцировать значительное количество тератоморфных пыльцевых зерен. Даже, несмотря на высокую скорость омоложения почв (0,3-1,5 см в год), обусловленную эрозионно-аккумулятивными процессами в пойме р. Печоры [Денева, 1999] и быстрые темпы восстановления растительности, состояние мужской генеративной сферы растений по-прежнему вызывает опасение: число продуцируемых растениями тератоморфных пыльцевых зерен продолжает расти.

Таким образом, стало очевидным, что применение традиционного спорово-пыльцевого анализа в комплексе с методом палиноиндикации качества окружающей среды дает возможность не только реконструировать ландшафты прошлых эпох и восстанавливать историю их развития, но и оценивать качество окружающей среды настоящего и прошлого и, даже, прогнозировать некоторые процессы развития экосистем (в том числе и нарушенных) в будущем.

Непосредственно при проведении инженерно-экологических изысканий метод палиноиндикации качества окружающей среды впервые был опробован в ноябре 2010 г., на одном из подземных хранилищ газа Северо-Западного региона России.

Таблица 1.

Микрофотографии типичных (коллекция сравнения) и тератоморфных пыльцевых зерен, выделенных из отложений территории Кумжинского газоконденсатного месторождения (2010 г.).



Подписи к табл. 1

Рис. 1. Тератоморфное одномешковое пыльцевое зерно *Picea* sp. Экваториальное положение (обр. 4КМ, гл. 4 см).

Рис. 2. Типичное п. з. *Poaceae* gen. sp. indet.

Рис. 2а. Два смятых п. з. *Poaceae* gen. sp. indet. в поле зрения СМ. Стрелкой указан тетрадный рубец (обр. 4КМ, гл. 4 см).

Рис. 3. Типичное п. з. *Alnus* sp.

Рис. 3а, 3б. Тератоморфное четырехпертурное п. з. *Alnus* sp., снятое на разных глубинах резкости СМ. Стрелкой указано неразрушенное в процессе обработки внутреннее содержимое п. з. (обр. 5КМ, гл. 5 см).

Рис. 4. Типичное п. з. сем. *Asteraceae* (*Taraxacum officinale* Wigg.).

Рис. 4а-4с. Тератоморфное п. з. *Asteraceae* gen. sp. indet. (cf. *Taraxacum officinale*), снятое в разных положениях и на разных глубинах резкости СМ (обр. 1КМ, гл. 1 см).

Рис. 5. Типичное п. з. *Artemisia vulgaris* L. Вид с полюса.

Рис. 5а-5б. Тератоморфное п. з. *Artemisia* sp. Разные глубины резкости СМ (обр. 8КМ, гл. 8 см).

Рис. 6. Типичное п. з. сем. *Chenopodiaceae* (*Chenopodium album* L.).

Рис. 6а, 6б. Смятые п. з. *Chenopodiaceae* gen. sp. indet. с нетипично тонкой экзиной (обр. 7КМ, гл. 7 см).

Рис. 7. Типичное п. з. сем. *Onagraceae* (*Chamaenerion angustifolium* L.).

Рис. 7а, 7б. Три смятых тератоморфных п. з. представителей сем. *Onagraceae* gen. sp. indet. Разные глубины резкости СМ. Стрелками указан предположительно тетрадный/полиадный рубец (обр. 9КМ, гл. 9 см).

Расширение территории исследуемого подземного хранилища газа (площадь которого уже превысила 100 км²) актуализирует использование палиноиндикации качества окружающей среды, как метода, способного даже по ограниченному количеству пунктов наблюдения (благодаря постоянному повсеместному присутствию на земной поверхности пыльцы и спор, ежегодно продуцируемых растениями) охарактеризовать состояние природной среды практически на любой территории. Поэтому, помимо традиционных методов, включающих санитарно-токсикологические исследования почв и грунтов, радиологические, геоботанические, почвоведческие и другие работы, мы акцентировали внимание на морфологических особенностях пыльцевых зерен, выделенных из палиносpectров поверхностных проб.

Во всех палинологических спектрах изученных проб/образцов с территории подземного хранилища газа, преобладает пыльца древесно-кустарниковой группы растений (от 55 до 98%). Преимущественно это пыльца представителей семейств *Pinaceae* Lindl. (сосна и ель) и *Betulaceae* S.F.Gray (береза и ольха). Заметно беднее представлены

широколиственные породы (*Ulmus* sp. - вяз, *Fraxinus* sp. - ясень, *Tilia* sp. - липа и *Quercus* sp. - дуб) и ив – (*Salix* sp.)⁸ [Мейер-Меликян, 2001].

В подавляющем большинстве образцов среди древесных пород доминируют пыльцевые зерна сосны. При этом практически во всех изученных образцах пыльцевые зерна данного таксона имеют серьезные отклонения в своем строении. В 11 из исследованных образцов количество таких зерен превышает 50% от общего числа выявленной пыльцы сосны. Наиболее типичные проявления тератоморфоза пыльцевых зерен сосны - редукция тела, изменения толщины экзины в области щита, изменение формы воздушных мешков и их редукция. Кроме того, выявлены единичные нераспавшиеся диады и тетрады, состоящие из тератоморфных пыльцевых зерен (табл. 2).

Наиболее типичными отклонениями в строении пыльцевых зерен ели, оказались - диссимметрия, изменения толщины экзины, редукция тела и воздушных мешков, нетипичное сближение воздушных мешков. В 8 из исследованных образцов содержание тератоморфных пыльцевых зерен ели превысил 40%.⁹

Среди покрытосеменных древесных растений в палиноспектрах преобладают пыльцевые зерна березы и ольхи. Их участие в спектрах разных образцов достигает 20-40%. Доля тератоморфных пыльцевых зерен в пределах каждого из этих двух таксонов колеблется от 0 до 20 %. Для березы и ольхи наиболее характерны следующие проявления тератоморфоза: искривление мезокольпиумов, изменение толщины (утолщение, истончение) экзины, нарушения в строении апертур, диссимметрия пыльцевых зерен. Кроме того, выявлены нераспавшиеся тератоморфные диады, триады и, даже, единичные полиады пыльцевых зерен с различными нарушениями морфологического строения.

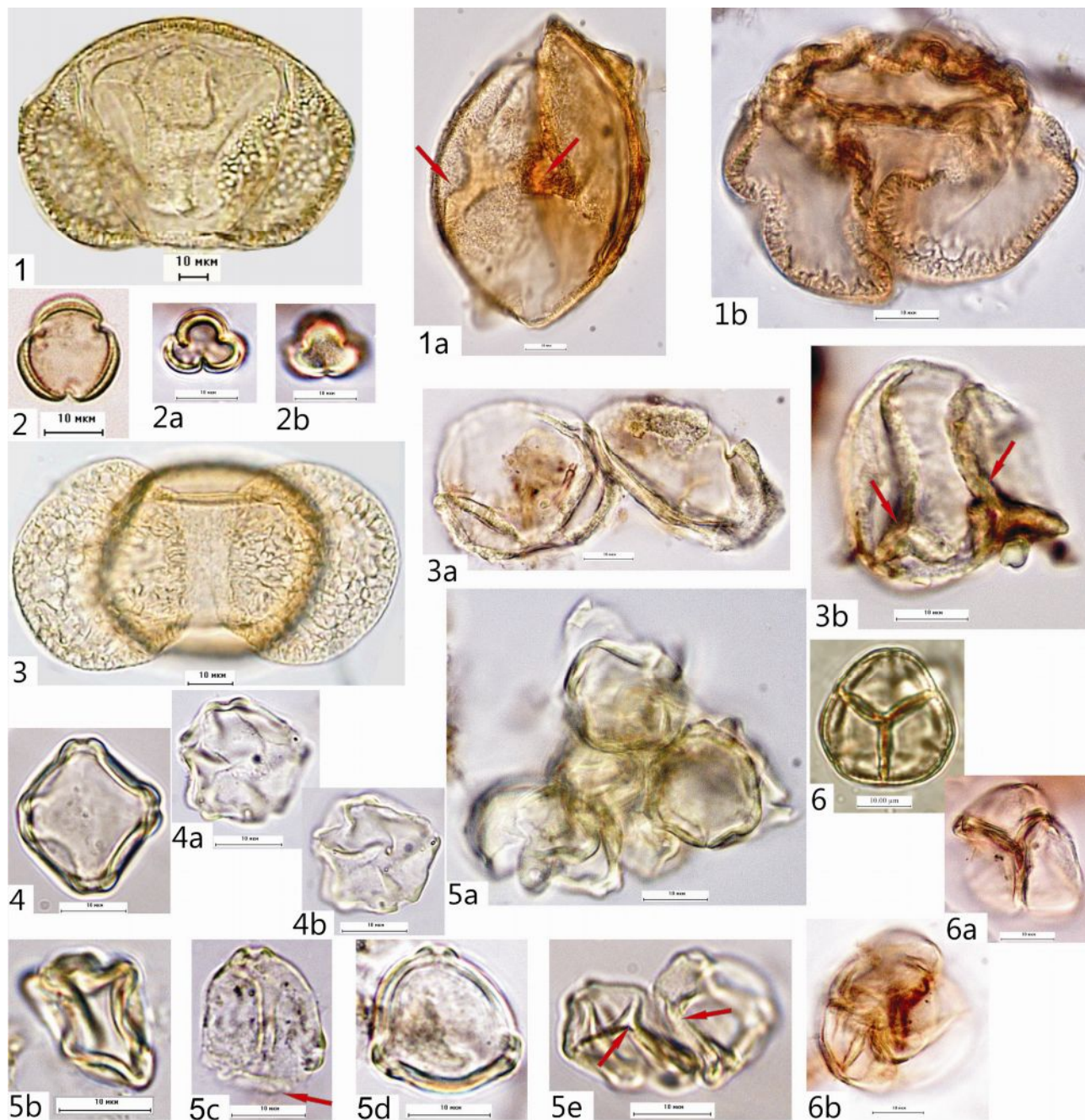
Группа травянистых растений малочисленна, и представлена преимущественно пыльцой злаковых (*Poaceae*), маревых (*Chenopodiaceae*), гвоздичных (*Caryophyllaceae*), астровых (*Asteraceae*), вересковых (*Ericaceae*) и др. В пыльце этой группы растений тоже имеются тератоморфные пыльцевые зерна. Наиболее типичные для них патологические изменения - нарушения симметрии, изменения толщины экзины, искривления мезокольпиумов. Как видим, состояние мужской генеративной сферы растений, произрастающих на территории исследуемого подземного хранилища газа, свидетельствует о наличии там экологического неблагополучия.

⁸ Это вполне соответствует представлениям о составе палиноспектров, выделяемых из поверхностных проб Северо-запада России.

⁹ От общего числа выявленной пыльцы ели.

Таблица 2.

Микрофотографии нормально развитых пыльцевых зерен (коллекция сравнения) и тератоморфных пыльцевых зерен, выделенных из поверхностных проб территории подземного хранилища газа (2010 г.).



Подписи к табл. 2.

Рис. 1. Типичное п.з. *Picea* sp. Экваториальное положение.

Рис. 1а. П.з. *Picea* sp. с редуцированными воздушными мешками, зерно в положении, близком к полярному, видны тетрадные рубцы (стрелки) (обр. № 1sp-15).

Рис. 1б. П.з. *Picea* sp. с утолщенной волнообразно изогнутой экзиной и нетипично сближенными воздушными мешками, экваториальное положение (обр. № 1sp-26).

Рис. 2. Типичное п.з. *Artemisia* sp.

Рис. 2а-б. Тератоморфное п.з. *Artemisia* sp. с измененной экзиной (обр. № 1sp-3).

Рис. 3. Типичное п.з. *Pinus* sp., полярное положение.

Рис. 3а. Нераспавшаяся диада п.з. *Pinus* sp. Зерна соединены в области щита и воздушных мешков (обр. № 3sp-1).

Рис. 3б. П.з. *Pinus* sp. с редуцированными воздушными мешками, видны тетрадные рубцы (стрелки), полярное положение (обр. № 1sp-24).

Рис. 4. Нормально развитое четырехпертурное п.з. *Alnus* sp.

Рис. 4а-б. П.з. *Alnus* sp. с однослойной экзиной и искривленными мезокольпиумами. (обр. № 1sp-14).

Рис. 5а. Массула из 8 п.з. *Betula* sp. (обр. № 5sp-1).

Рис. 5б. П.з. *Betula* sp. с искривленными мезокольпиумами (обр. № 1sp-13).

Рис. 5с. П.з. *Betula* sp. с однослойной экзиной, видна 4 апертура (стрелка) (обр. № 1sp-3).

Рис. 5д. Диссимметричное п.з. *Betula* sp. с утолщенной экзиной (обр. № 1sp-22).

Рис. 5е. Нераспавшаяся диада п.з. *Betula* sp. На каждом из зерен различимы нетипичные тетрадные рубцы (стрелки) (обр. № 1sp-13).

Рис. 6. Типичная тетрада п.з. сем. *Ericaceae* gen. sp. indet.

Рис. 6а. Тератоморфная тетрада п.з. сем. *Ericaceae* (обр. № 1sp-5).

Рис. 6б. Тератоморфная тетрада сем. *Ericaceae* (обр. № 1sp-5).

По результатам радиологического и геохимического исследований проб почв и грунтов с территории подземного хранилища газа не было выявлено случаев превышения ни естественного фона, ни ПДК по всем изученным компонентам.

Почвы были отнесены к категории «Допустимая» (СанПиН 2.1.7.1287-03). Паразитологический и бактериологический анализы также не выявили аномалий, почвы по изученным показателям были отнесены к категории «Чистая» (СанПиН 2.1.7.1287-03).

Совершенно иными оказались результаты биотестирования почв и грунтов. В данном случае, в качестве объекта биотестирования, использовались водные беспозвоночные животные вида *Daphnia magna* Straus (ФР.1.39.2007.03222), которые помещались на определенное время в водные вытяжки из интересующих нас почв и грунтов. В итоге проведенного тестирования стало очевидным следующее:

- 50% тест-объектов погибли абсолютно во всех пробах через 72 часа после начала тестирования;
- 100% смертность дафний наступила по истечении 96 часов эксперимента;
- в одновременно проведенном контрольном эксперименте гибели организмов зарегистрировано не было;

- при 100-кратном разбавлении водной вытяжки из исследованных почв гибели дафний также не установлено даже по истечении 96 часов.

В итоге результаты проведённого биотестирования позволили отнести исследованные грунты к IV классу опасности¹⁰ [Приказ МПР, 2001].

Заключение

Сравнительный анализ всех полученных нами результатов вполне доказательно продемонстрировал, что современное состояние окружающей среды изученных территории, наиболее объективно и весьма иллюстративно выявляют методы биологической индикации и биологического тестирования. Именно с помощью этих методов удалось установить на территории исследуемого подземного хранилища газа экологическую дестабилизацию, вероятнее всего, обусловленную присутствием токсикантов, негативно действующих на живые организмы (в частности, на растения и на беспозвоночных животных). С нашей точки зрения, такими токсикантами могут быть лёгкие углеводороды, периодически эманулирующие из газонасыщенных пластов по зонам разуплотнения в пределах подземного хранилища газа. Об этом косвенно свидетельствует наличие в палиноспектрах специфических морфотипов патологически развитых пыльцевых зёрен (от 0 до 71%), аналогичных тератоморфам, выявленным нами ранее, на территориях газоконденсатных месторождений европейского севера России [Дзюба, 2005, 2006; Dzyuba, 2006; Кочубей, 2011; Подойницына, 2011]. С помощью стандартных инструментальных методов исследования эти токсиканты выявить не удалось.

Фактическое отсутствие¹¹ геохимического загрязнения почв и грунтов, наряду с выявленной методом биологического тестирования токсичностью их водной вытяжки, вероятно, свидетельствует о недостаточности привлечения стандартных методов при инженерно-экологических изысканиях на объектах подобного типа. Об этом же свидетельствуют и результаты палиноиндикации качества окружающей среды.

Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, что изучение пыльцы высших растений может оказаться полезным не только для палеогеографов, палеоэкологов, стратиграфов но и для специалистов, занимающихся инженерно-экологическими изысканиями (в том числе и на территориях объектов нефтегазового комплекса).

Широкое использование палинологии в практике инженерно-экологических изысканий на сегодняшний день несколько затруднено вследствие отсутствия системы оценки и

¹⁰ «малоопасные».

¹¹ По результатам стандартных инструментальных методов исследования.

нормирования показателей состояния, как окружающей среды, так и её отдельных компонентов. Дальнейшие разработки в этой сфере должны быть направлены не только на создание адекватной системы количественных показателей современного состояния окружающей среды, но и на совершенствование методов ретроспективного анализа формирования природно-техногенных систем и прогнозирования их развития.

Литература

Бессонова В.Н. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. - Екатеринбург. - 1992. - Вып. №3. - С. 45-50.

Денева С.В. Нефтезагрязненные почвы условий р. Печора // Всерос. студенческая конф. «Почва, экология, общество». - СПб. - 1999. - С. 106.

Дзюба О.Ф. Результаты палинологического исследования разреза торфяных отложений Никольско-Лютинского болота (Новгородская – Псковская обл.) // Тр. ВНИИ торфяной промышленности. - Л. – 1984. Вып.53. - С. 10-16.

Дзюба О.Ф. Палиноморфология как звено в цепи экологического мониторинга // Экология. Нормативно-методические и правовые основы создания постоянно действующей службы нефтегазового экологического мониторинга и принципы ее финансового обеспечения. - СПб: изд-во ВНИГРИ. - 1999. - С. 57-79.

Дзюба О.Ф., Яковлева Т.Л., Кудрина А.Н., Тарасевич В.Ф. Пыльца как модель для контроля качества мужской генеративной сферы растений, животных и человека в условиях промышленных центров и крупных городов // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия. IX Всероссийская палинологическая конференция. - М.: изд-во ИГиРГИ. - 1999. - С. 61-79.

Дзюба О.Ф., Борейша И.К., Яковлева Т.Л. Качество пыльцы высших растений и некоторых клеточных структур животных организмов в условиях промышленной площадки ЛАЭС и города Сосновый Бор // Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции. - СПб.: изд-во ВНИГРИ. - 2001. - С. 69-78.

Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: изд-во «Недра». - 2006. - 198 с.

Дзюба О.Ф., Яшенкова Л.К., Шиманский В.К., Мовсеян А.З. Изучение пыльцы из поверхностных проб в связи с оценкой устойчивости природного комплекса северо-запада тимано-печорской нефтегазоносной провинции // Мат. 4-й Междун. конф. «Геология в Школе и ВУЗе: Геология и Цивилизация». - СПб: изд-во «Эпиграф». - 2005. - С. 323-326.

Кобзарь В.Н., Харитонова Э.П. Изменчивость оболочки у пыльцы семейства *Poaceae* // Палинология в биостратиграфии, палеоэкологии и палеогеографии. - Тез. VIII палинол. конф. - М. - 1996. - С. 35-36.

Кочубей О.В. Качество пыльцы, выделенной из субфоссильных спорово-пыльцевых спектров на территории Кумжинского месторождения // Ресурсно-геологические и методические аспекты освоения нефтегазоносных бассейнов. - Сб. материалов II Международной конференции молодых ученых и специалистов. - СПб.: ВНИГРИ. - 2011. - С. 299-308.

Куриный Л.И. Индикация загрязнения окружающей среды пестицидами-мутагенами по их гаметоцидному действию на растения // Цитология и генетика. - М. - 1973. - Т.17. - Вып. №4. - С. 32-35.

Мейер-Меликян Н.Р., Кифишина Т.А. Структура оболочки пыльцевых зерен *Dactylis glomerata* L. – надежный объект мониторинга на степень загрязнения окружающей среды// Палинология и проблемы детальной стратиграфии. Тез. VII Палинологической конф. – Саратов. - 1993. - С. 57.

Мейер-Меликян Н.Р., Полевова С.В., Северова Е.Э., Теклева М.В. Развитие спородермы в норме и в неблагоприятных условиях (на примере пыльцевых зерен *Cichorium intibus* L. и *Tanacetum vulgare* L.) // Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции. - СПб. - 2001. - С. 125-128.

Подойницына С.В. Первые результаты палиноэкологического обследования территории Невской станции подземного хранения газа (НСПХГ). // Ресурсно-геологические и методические аспекты освоения нефтегазоносных бассейнов. - Сб. матер. II Междунар. конф. молодых ученых и специалистов. - СПб.: изд-во ВНИГРИ. - 2011. – С. 308-314.

Пыльцевой анализ / Под ред. Покровской И.М. - М.: Госгеолитиздат. - 1950. – 553 с.

Dzyuba O.F. Pollen from surface samples as an environmental indicator // Paleontological journal, 2006, v. 40, suppl. 5, p. 584-589.

Erdtman G. Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. Almquist and Wiksell, Stockholm, 1952, 539 p.

Окружающая среда региона Санкт-Петербурга. СПбГТУ. 2002. URL: <http://www.eisspb.narod.ru/pollute/air/>

Приказ МПР РФ от 15 июня 2001 г. № 511. URL: <http://www.mnr.gov.ru/>.

Dzyuba O.F., Kochubey O.V., Fedoseeva S.V.

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg, Russia, dof.palynolog@mail.ru, slavyanskok@yandex.ru, svetochkina@mail.ru

Markov V.E.

Closed joint-stock company «LIMB», Saint Petersburg, Russia, mark-vladimir@yandex.ru

Gildin S.M.

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg, Russia, ins@vnigri.ru

PALYNOLOGICAL INVESTIGATIONS APPLIED TO ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SURVEY

The possibilities of using palynological methods in engineering and environmental survey (including the oil and gas bearing areas) are considered in this article. Analysis of taxonomic composition of subfossil spore-pollen spectra and morphological features of pollen grains of higher plants have allowed the authors to characterize environmental conditions, to carry out the retrospective analysis, to estimate the current state of biocenoses in the natural and technogenic environment, and to carry out environmental monitoring within the studied territories.

Key words: *engineering and environmental surveys, palynology, spore-pollen analysis, bioindication, biotesting, ecological monitoring, palynoindication of the environmental quality.*

References

Bessonova V.N. *Sostoyanie pyl'tsy kak pokazatel' zagryazneniya sredy tyazhelymi metallami* [State of pollen as an indicator of pollution by heavy metals]. *Ekologiya*. Ekaterinburg, 1992, vol. 3, p. 45-50.

Deneva S.V. *Neftezagryaznennyye pochvy usloviy r. Pechora* [Oil-contaminated soil of Pechora River]. All-Russia conference «Pochva, ekologiya, obshchestvo». Saint Petersburg, 1999, p. 106.

Dzyuba O.F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Palyno-indication of Environmental Quality]. Saint Petersburg: Nedra, 2006, 198 p.

Dzyuba O.F. *Palinomorfologiya kak zveno v tsepi ekologicheskogo monitoringa* [Palynomorphology as a link in the chain of environmental monitoring]. *Ekologiya*. Normativno-metodicheskie i pravovye osnovy sozdaniya postoyanno deystvuyushchey sluzhby neftegazovogo ekologicheskogo monitoringa i printsipy ee finansovogo obespecheniya. Saint Petersburg: VNIGRI, 1999, p. 57-79.

Dzyuba O.F. Pollen from surface samples as an environmental indicator // *Paleontological journal*, 2006, v. 40, suppl. 5, p. 584-589.

Dzyuba O.F. *Rezultaty palinologicheskogo issledovaniya razreza torfyanykh otlozheniy Nikol'sko-Lyutinskogo bolota (Novgorodskaya – Pskovskaya obl.)* [The results of palynological studies of the section of peat deposits of Nikolsko-Lyutinsky marshe (Novgorod - Pskov region)]. Tr. VNII torfyanoy promyshlennosti. Leningrad, 1984, vol. 53, p. 10-16.

Dzyuba O.F., Boreysha I.K., Yakovleva T.L. *Kachestvo pyl'tsy vysshikh rasteniy i nekotorykh kletochnykh struktur zhivotnykh organizmov v usloviyakh promyshlennoy ploshchadki LAES i goroda Sosnovyy Bor* [The quality of the pollen of higher plants and some cellular structures of living organisms in industrial area of the city of Leningrad and Sosnoviy Bor town NPP]. *Pyl'tsa kak indikator sostoyaniya okruzhayushchey sredy i paleoekologicheskie rekonstruktsii*. Saint Petersburg: VNIGRI, 2001, p. 69-78.

Dzyuba O.F., Yakovleva T.L., Kudrina A.N., Tarasevich V.F. *Pyl'tsa kak model' dlya kontrolya kachestva muzhskoy generativnoy sfery rasteniy, zhivotnykh i cheloveka v usloviyakh promyshlennykh tsentrov i krupnykh gorodov* [Pollen as a model for quality control of male

generative sphere of plants, animals and human in industrial centers and major cities]. Aktual'nye problemy palinologii na rubezhe tret'ego tysyacheletiya. IX All-Russia palynological conference. Moscow: IGIIRGI, 1999, p. 61-79.

Dzyuba O.F., Yashenkova L.K., Shimanskiy V.K., Movsesyan A.Z. *Izuchenie pyl'tsy iz poverkhnostnykh prob v svyazi s otsenkoy ustoychivosti prirodnogo kompleksa severo-zapada timano-pechorskoy neftegazonosnoy provintsii* [The study of pollen from surface samples in connection with the assessment of the stability of the natural complex of northwest of Timan-Pechora oil and gas province]. Proceedings of 4-th international conference «Geologiya v Shkole i VUZe: Geologiya i Tsvilizatsiya». Saint Petersburg: Epigraf, 2005, p. 323-326.

Erdtman G. Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. Almquist and Wiksell, Stockholm, 1952, 539 p.

Kobzar' V.N., Kharitonova E.P. *Izmenchivost' obolochki u pyl'tsy semeystva Poaceae* [The variability in the shell of the Poaceae pollen]. Palinologiya v biostratigrafii, paleoekologii i paleogeografii. Proceedings of VIII palynological conference. Moscow, 1996, p. 35-36.

Kochubey O.V. *Kachestvo pyl'tsy, vydelennoy iz subfossil'nykh sporovo-pyl'tsevykh spektrov na territorii Kumzhinskogo mestorozhdeniya* [The quality of pollen derived from subfossil spore-pollen spectra in the Kumzhinskoe field]. Resursno-geologicheskie i metodicheskie aspekty osvoeniya neftegazonosnykh basseynov. Proceedings of II International conference. Saint Petersburg: VNIGRI, 2011, p. 299-308.

Kuriny L.I. *Indikatsiya zagryazneniya okruzhayushchey sredy pestitsidami-mutagenami po ikh gametotsidnomu deystviyu na rasteniya* [Indication of pollution by pesticides-mutagens on the basis of their effect on plants]. Tsitologiya i genetika. Moscow, 1973, vol. 17, vol. 4, p. 32-35.

Meyer-Melikyan N.R., Kifishina T.A. *Struktura obolochki pyl'tsevykh zeren Dactylis glomerata L. – nadezhnyy ob'ekt monitoringa na stepen' zagryazneniya okruzhayushchey sredy* [The structure of pollen grains Dactylis glomerata L. - a reliable object of monitoring the degree of pollution]. Palinologiya i problemy detal'noy stratigrafii. Proceedings of VII palynological conference. Saratov, 1993, p. 57.

Meyer-Melikyan N.R., Polevova S.V., Severova E.E., Tekleva M.V. *Razvitie sporodermy v norme i v neblagopriyatnykh usloviyakh (na primere pyl'tsevykh zeren Cichorium intibus L. i Tanacetum vulgare L.)* [Sporoderm development under normal and adverse conditions (by example of pollen grains Cichorium intibus L. and Tanacetum vulgare L.)]. Pyl'tsa kak indikator sostoyaniya okruzhayushchey sredy i paleoekologicheskie rekonstruktsii. Saint Petersburg, 2001, p. 125-128.

Okruzhayushchaya sreda regiona Sankt-Peterburga [The environment of St. Petersburg]. SPbGTU, 2002, available at: <http://www.eisspb.narod.ru/pollute/air/>

Podoyntsyna S.V. *Pervye rezul'taty palinoekologicheskogo obsledovaniya territorii Nevskoy stantsii podzemnogo khraneniya gaza (NSPKhG)* [The first results of palyno-ecological survey of Neva station area of underground gas storage]. Resursno-geologicheskie i metodicheskie aspekty osvoeniya neftegazonosnykh basseynov. - Proceedings of II International conference. Saint Petersburg: VNIGRI, 2011, p. 308-314.

Pyl'tsevoy analiz [Pollen analysis]. Editor I.M. Pokrovskaya. Moscow: Gosgeolizdat, 1950, 553 p.