

УДК 561.35/4:551.763.12(571.63)

Е.В.БУГДАЕВА, В.С.МАРКЕВИЧ

## Палеоценовые растения-углеобразователи Приамурья

*Изучены растения-углеобразователи раннепалеогеновых месторождений Зейско-Буреинского бассейна (Приамурье). Впервые из углей этого региона выделены дисперсные кутикулы таксодиевых. Установлено, что начиная с дания таксодиевые становятся эдификаторами, поставляя обильный растительный материал для формирования углей.*

*Ключевые слова: растения-углеобразователи, таксодиевые, палеоцен, Зейско-Буреинский бассейн, Приамурье.*

**The Paleocene coal-forming plants of the Amur River region.** E.V.BUGDAEVA, V.S.MARKEVICH (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok).

*The coal-forming plants from the Early Paleogene coal mines of Zeya-Bureya basin (the Amur River region) were studied. For the first time the dispersed cuticles of Taxodiaceae were obtained from coals of this region. It has been determined that Taxodiaceae become edifiers since the Danian providing abundant plant material for coal accumulation.*

*Key words: coal-forming plants, Taxodiaceae, Paleocene, Zeya-Bureya Basin, the Amur River region.*

На территории Зейско-Буреинского бассейна (Приамурье) широко распространены верхнемеловые и кайнозойские отложения. По нашим данным, формирование осадочного чехла этой структуры началось с сантонского века; последовательность отложений представлена свитами кундурской (на правом берегу р. Амур ей соответствуют формации Юнаньцунь и Тайпинлиньчан) сантон-кампанского возраста [17, 18] и цагаянской (формации Юйлянцзы, Фужао и Уюнь) маастрихт-датского возраста [3, 9, 10, 22].

На юго-востоке Зейско-Буреинского бассейна расположены три месторождения бурого угля (рис. 1), возраст которых определен нами как раннепалеоценовый, по всей види-



Рис. 1. Распространение буроугольных месторождений юго-восточной части Зейско-Буреинского бассейна: 1 – Архаро-Богучанское, 2 – Райчихинское (участок «Пионер»), 3 – Уюнь

\*БУГДАЕВА Евгения Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, МАРКЕВИЧ Валентина Саввична – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: bugdaeva@ibss.dvo.ru

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы» (проект 12-И-П28-01 «Эволюция растений и растительных сообществ востока Азии в условиях изменений климата и природной среды в мезозое и кайнозое») поддержана РФФИ (грант 12-04-01335) и Дальневосточным отделением РАН (гранты 12-III-A-06-070, 12-III-A-06-075).

мости позднедатский [14, 16]. В это время сложились благоприятные условия для существования на обширных пространствах впадины болотной растительности, мортмасса которой и дала начало приамурским углям.

В результате многолетних палиностратиграфических исследований в указанном бассейне нами выявлен таксономический состав меловых и раннепалеогеновых палинофлор, выделены разновозрастные комплексы с характерными таксонами, проведена их широкая межрегиональная корреляция с целью установления возраста [15, 16, 22].

### **Материал и методы**

Разрезы угольного месторождения Уюнь на правом берегу р. Амур, описанные А.Р.Ашрафом (Тюбингенский университет, Германия) и другими в рамках международного симпозиума (Чанчунь, 2002 г.), изучены нами в 2002 и 2008 гг., Архаро-Богучанского и Райчихинского (участок «Пионер») месторождений – в августе 2003 г. в ходе работ по международному проекту «Биота на мел-палеогеновой границе в Приамурье» (руководитель проф. Сунь Ге, Цзилиньский и Шэньянский университеты, КНР).

Растения-углеобразователи выявляли непосредственно из углей, образованных в результате биогенной седиментации почти при полном отсутствии сноса кластического материала. Поскольку растения, давшие начало углям, произрастали на месте формирования торфяной залежи, их захоронения носят автохтонный характер. Терригенные отложения представляют собой материал, транспортированный из областей денудации, соответственно, комплексы фитофоссилий из междупластий зачастую имеют смешанный характер и могут включать остатки склоновых и низинных растений.

Исследования проводили на следующем материале: Архаро-Богучанское месторождение – 29 проб (номер коллекции АВ1153), Райчихинское (участок «Пионер») – 9 (P1107), Уюнь – 4 (W1076). Из углей последнего выделены дисперсные кутикулы. Все коллекции хранятся в Биолого-почвенном институте ДВО РАН (Владивосток).

Пробы для спорово-пыльцевого анализа обрабатывали по стандартной мацерационной методике, предложенной для высокометаморфизованных пород и углей [21]. Для получения кутикул угли окисляли в концентрированной азотной кислоте, промывали дистиллированной водой, затем подвергали воздействию 10%-й щелочи и вновь промывали. Выделенные кутикулярные пленки заключали в консервирующую среду постоянных препаратов для изучения с помощью светового микроскопа или помещали на столики с последующим напылением золотом для изучения при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

### **Результаты и обсуждение**

**Архаро-Богучанское месторождение.** В его разрезе насчитывается четыре продуктивных пласта (снизу вверх): «Нижний» (мощность около 2 м), «Двойной» (около 8 м), «Промежуточный» (менее 1 м) и «Великан» (около 10 м). В исследованном нами карьере верхний угольный пласт отсутствует (рис. 2).

Характеристика палиноспектров:

маломощный (около 25 см) слой глиен примерно в средней части пласта «Нижний» (проба 1) – доминируют споры папоротников, главным образом *Syathidites Couper* и *Laevigatosporites Ibrahim*. Среди голосеменных многочисленна пыльца сосновых и таксодиевых. Покрытосеменные малочисленны, преобладает пыльца *Aquilapollenites Rouse*;

нижний угольный прослой (пробы 2, 3) – характерно уменьшение количества спор папоротников и пыльцы *Taxodiaceae*. Доминируют сосновые. Покрытосеменные по-прежнему немногочисленны, необратимо резко сокращается участие растений, продуцировавших пыльцу типа «*unica*»;



Рис. 2. Карьер Архаро-Богучанского бурогоугольного месторождения

глина нижнего флороносного слоя (пробы 4–7, 9–11, 13–15) – преобладает пыльца голосеменных, главным образом таксодиевых и сосновых. Среди спор многочисленны *Laevigatosporites*. Разнообразие покрытосеменных возросло за счет *Triatriopollenites Pflug.*; палеопочва (проба 17) – систематический состав очень беден. Многочисленна пыльца *Pinaseae* и таксодиевых. Покрытосеменные отсутствуют;

нижний угольный прослой пласта «Двойной» (пробы 19, 20) – резко увеличивается участие *Laevigatosporites* (до 57,8%), сокращается доля других основных групп;

алевролит (пробы 21, 22) – по систематическому составу аналогичен таковому из предыдущего слоя. Доминируют *Laevigatosporites* (69%), остальные группы растений составляют незначительную часть спектра;

верхний угольный прослой пласта «Двойной» (проба 25) – равное соотношение папоротников *Syathidites* и *Laevigatosporites* (по 18%) и сосновых (до 19%). Увеличивается участие цветковых, особенно продуцировавших поратную пыльцу (до 17%);

флороносная глина (пробы 26–29) – резко возрастает участие таксодиевых (до 33%), увеличивается число цветковых с поратной пыльцой (21%);

песчаник (проба 30) – доминируют таксодиевые и цветковые с поратной пыльцой (27%);

алевролит (пробы 31–33) – доминируют сосновые, уменьшается участие папоротников и таксодиевых. Участие цветковых на прежнем уровне;

тонкий угольный прослой (проба 34) – резко возрастает участие *Laevigatosporites* (до 47%), сокращается количество покрытосеменных. Значение таксодиевых невелико, практически отсутствуют сосновые;

флороносная глина (проба 36) – примерно в равных соотношениях папоротники ( $\approx 22\%$ ), таксодиевые и цветковые с поратной пыльцой (по  $\approx 28\%$ ).

Детальные палеоботанические исследования здесь проводились М.А.Ахметьевым, Т.М.Кодрул, С.Р.Манчестером, М.Г.Моисеевой, В.А.Красиловым. Самый богатый флористический комплекс характеризует глинистую пачку между пластами «Нижний» и «Двойной» [3, 11]. В основании флороносной пачки глин преобладают тафоценозы с *Taxodium* (L.) Richard (рис. 3), *Sequoia* (D. Don) Endl., *Mesocyparis rosanovii* Kodrul, *Tekleva* et Krassilov,



Рис. 3. Побег *Taxodium*, найденный во флоронном слое Архаро-Богучанского месторождения



Рис. 4. Лист *Trochodendroides*, найденный во флоронном слое Архаро-Богучанского месторождения

*Nyssa* L.; иногда доминирует *Dyrana flexuosa* (Newb.) Golovn. Выше по разрезу по-прежнему доминирует *Taxodium*, локально обильны *Onoclea* L. и *Averrhoites* Hickey, реже встречаются *Mesocyparis gosanovii* и платановые. В тафоценозах верхней части глин *Taxodium* приобретает подчиненное значение, основная роль принадлежит однодольным. Затем доминантами становятся *Trochodendroides* Berry (рис. 4), *Zizyphoides* Newberry, *Beringiaphyllum* Manchester, Crane et Golovneva и платановые. Последние представлены остатками листьев и репродуктивных структур [19, 20, 25]. Можно предположить, что эти растения произрастали недалеко от места захоронения и не претерпели длительной транспортировки. Комплекс из глин кровли пласта «Двойной» включает таксодиевые, *Trochodendroides*, *Zizyphoides* и платановые [3].

**Райчихинское месторождение (участок «Пионер»).** Изученный разрез, расположенный в юго-восточной части месторождения (рис. 1, 5), представлен чередованием алевролитов, песчаников и пяти угольных прослоев мощностью 0,5–2, 5 м. Всего опробовано пять слоев.

Характеристика палиноспектров:

нижний угольный прослой (проба IV) – доминируют голосеменные, среди которых многочисленна двумешковая пыльца сосновых (34%). Пыльца представителей семейств *Taxodiaceae* составляет 15,2%. Значительно участие споровых (24%). Роль покрытосеменных невелика; они представлены в основном поровой пылью растений, сближаемых с ореховыми;

алевролит (проба VIII), перекрывающий нижний угольный прослой, – доминирует двумешковая пыльца (до 46%). Ей сопутствует пыльца таксодиевых (до 26%). Резко сокращается участие споровых (до 11%) и покрытосеменных (менее 10%);

второй угольный прослой (пробы IX–XII) – по-прежнему преобладает двумешковая пыльца (до 40,2%). Возрастает значение таксодиевых (38%). Участие споровых



Рис. 5. Карьер участка «Пионер» Райчихинского бурогоугольного месторождения

и покрытосеменных – 11% и 8,7%, соответственно. Отметим, что разнообразие спор, несмотря на сокращение их количества, возрастает за счет появления таковых *Gleicheniaceae*, *Osmundaceae* и *Schizaeaceae*, а также плауновых и мохообразных (печеночные мхи); вышележащий алевролит (пробы XIV, XV) – почти в равной степени доминирует пыльца *Pinaceae* (27%) и *Taxodiaceae* (28%). Возрастает участие споровых и покрытосеменных (14% и 16%, соответственно). Мохообразные почти исчезают (0,3%);

третий угольный прослой (проба XVI) – абсолютными доминантами становятся сосновые (до 60%). Таксодиевые утрачивают доминирующую роль (7,5%). Позиции споровых и покрытосеменных остаются неизменными.

Макростатки растений собраны в подугольных и надугольных (основная часть коллекции) слоях разреза [3]. Найдено большое количество остатков хвойных, прежде всего представителей *Taxodiaceae* (*Metasequoia disticha* (Heer) Miki, *Taxodium dubium* (Sternb.) Heer, *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer), а также *Cupressaceae* и *Pinaceae*. Значительно число отпечатков платановых, «*Acer*» *arcticum* Heer и *Trochodendroides arctica* (Heer) Berry. Найдены *Alasia Golovn.* – мужские соцветия, предположительно принадлежащие растениям с листьями *Trochodendroides* [6].

Следует заметить, что растения рода *Trochodendroides* указывались в качестве углеобразователей, причем как одни из наиболее значимых после таксодиевых, кипарисовых и араукариевых [9], в то время как по нашим данным пыльца *Hamamelidaceae* в палиноспектрах из углей изученных нами месторождений практически отсутствует (ее количество здесь составляет менее 1%).

Считается, что в кивдинское время произошло значительное обновление флоры [3]. Несмотря на то что доминантами растительных сообществ по-прежнему являются таксодиевые и *Trochodendroides*, существенную роль начинают играть березовые, мириковые и ильмовые (появляется характерный для раннепалеогеновых флор Дальнего Востока *Ulmus furcinervis* (Bors.) Ablav, описанный из богопольской и тахобинской свит Восточного Сихотэ-Алиня и формации Уюнь северо-востока Китая [1, 23]). В спорово-пыльцевых спектрах эти изменения отражаются в увеличении роли поратной пыльцы *Betulaceae*, *Muricaceae*, *Juglandaceae* и *Ulmaceae* при сохранении доминирующих позиций таксодиевых и сосновых.

**Месторождение Уюнь.** Карьер, расположенный на правом берегу р. Амур (рис. 1, б), начинается мощным угольным прослоем (палинологически опробована его верхняя

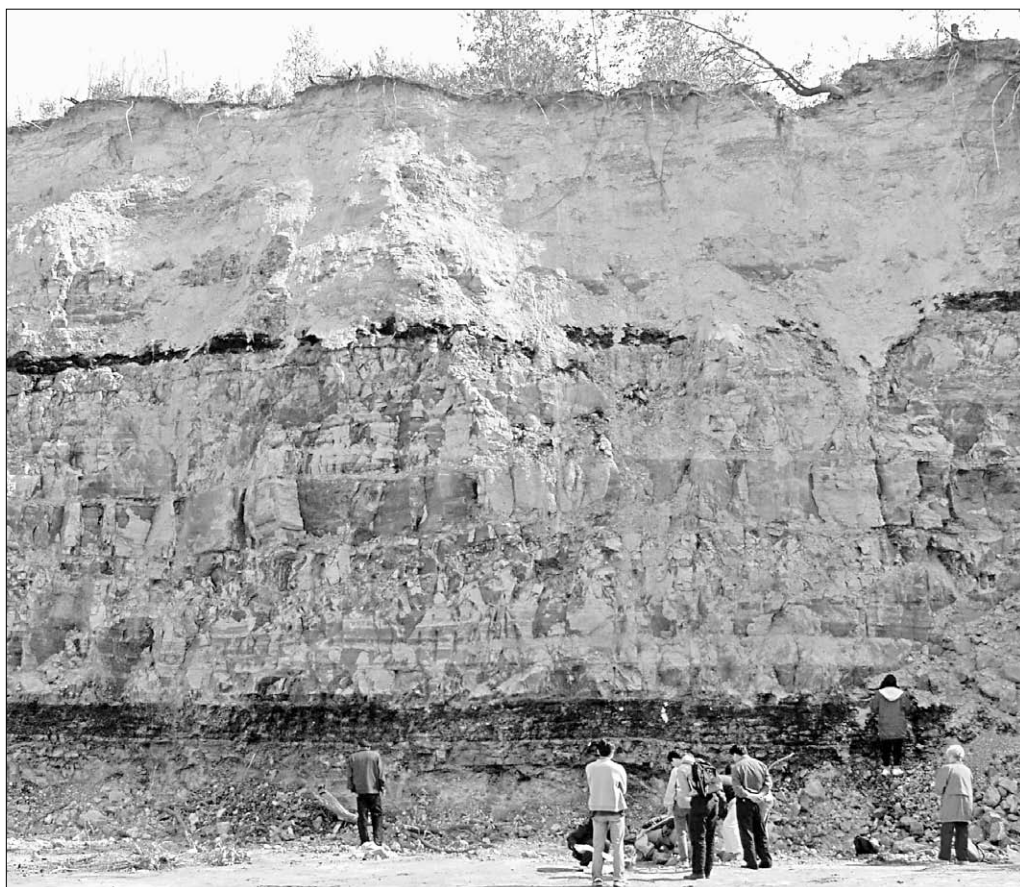


Рис. 6. Карьер бурогоугольного месторождения Уюнь

часть), перекрытым 1,5-метровым слоем алевропелитов. Выше залегает пласт угля мощностью около 0,5 м. Завершают разрез переслаивающиеся песчано-глинистые отложения. Пробы отбирали из каждой литологической разности (не нумеровали).

Характеристика палиноспектра:

нижний угольный прослой – безусловными доминантами являются представители семейства *Taxodiaceae* (до 65%). Следующие по значимости – монолетные споры *Laevigatosporites*. Участие палиноморф всех остальных групп растений ничтожно мало. При мацерации угля выделены многочисленные ксилемные элементы древесины таксодиевых, а также дисперсная кутикула листьев, в основном представителей таксодиевых (рис. 7, 8);

аргиллит, перекрывающий нижний угольный прослой, – снижается роль таксодиевых (до 28%), содержание двумешковой пыльцы *Pinaceae* возрастает до 39%. В небольшом количестве встречаются пыльца *Ginkgocycadophytus Samoilovich*, *Ericaceae*, *Schizoporites parvus Cook. et Dettm.* и споры папоротникообразных *Osmundacidites wellmanii Coup.*, *Concavissimisporites asper Pock.*, а также плауновых *Retitriletes subrotundus (K.-M.) Sem.*;

верхний угольный прослой – пыльца таксодиевых вновь доминирует (55%), при этом закономерно снижается (до 17%) значение двумешковой пыльцы. По всему разрезу наблюдается постепенное увеличение количества трипоратной пыльцы (до 10%). Макроостатки в мацерате из этого угля представлены дисперсной кутикулой и, в меньшей степени, древесиной таксодиевых;

аргиллит, перекрывающий второй угольный прослой, – пыльца *Pinaceae* и *Taxodiaceae* доминирует в равной степени (по 35%). На втором месте – монолетные споры

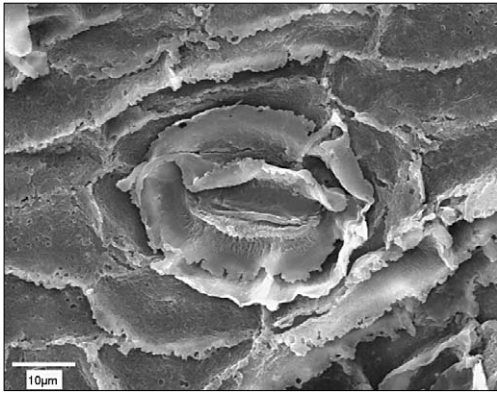


Рис. 7. Устьице листа таксодиевых.  
Вид изнутри (СЭМ)

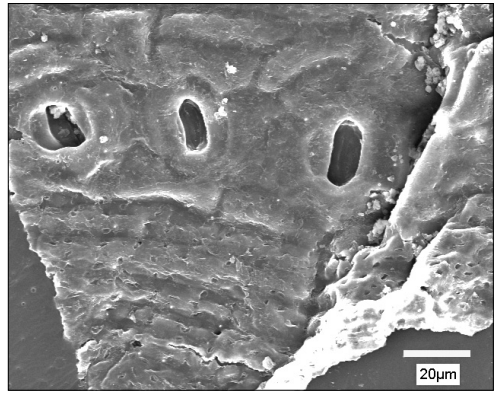


Рис. 8. Полоса устьиц листа таксодиевых.  
Вид снаружи (СЭМ)

и трипоратная пыльца (по 10%). Другие палиноморфы присутствуют в ничтожно малом количестве (менее 10%).

Растительные макроостатки многочисленны. Найдены папоротники, гинкговые, таксодиевые (*Metasequoia disticha* (Heer) Miki, *Sequoia chinensis* Endo emend. Wang et Li, *Glyptostrobus* sp., *Taxodium* sp.), кипарисовые (*Thuja cretacea* (Heer) Newb.) и в большом количестве покрытосеменные [5, 23, 24].

Таким образом, состав растений-углеобразователей из разных пластов Архаро-Богучанского месторождения в основном сходен: они представлены папоротниками и сосновыми. Однако палиноспектр из верхнего угольного прослоя пласта «Двойной» (проба 25) отличается от таковых из двух нижележащих углей (пробы 2, 3 и 19, 20) более высоким участием (свыше 30%) покрытосеменных. Этот уголь в разрезе перекрывает маломощный слой риолитового туфа (рис. 2). Можно предположить, что болото, на котором произрастали растения, впоследствии сформировавшие уголь, было засыпано вулканическим пеплом. В таких нарушенных местообитаниях преимущество получают покрытосеменные в силу своей эксплерентной природы. Очевидно, цветковые, внедрившись в растительные сообщества заболоченных низин, заняли в них устойчивые позиции, что и отражает состав палиноспектра верхнего угольного прослоя.

По литологическим признакам можно выделить две обстановки для времени формирования этого угольного месторождения: сначала существовали болота и заболоченные низменности; впоследствии они были редуцированы. По фаціальным особенностям восстановлены обстановки болотистого озера, окруженного лесом, или речной долины со многими руслами рек, между которыми произрастали деревья. Палеопочвы указывают на поверхностные условия. Далее происходит смена обстановок – тонкозернистый песчаник с косыми сериями свидетельствует о формировании осадочной толщи в речных условиях.

С переменной палеосред тесно связано изменение состава растительности: по палинологическим данным влажные хвойные долинские леса с папоротниковым подлеском сменяются широколиственными лесами со значительным участием таксодиевых и кипарисовых. По составу растительных макроостатков реконструируются хвойно-широколиственные леса с таксодиевыми, кипарисовыми, платановыми и кизилловыми, которые сменяются хвойно-широколиственными с преобладанием таксодиевых, *Trochodendroides*, платановых, березовых [3, 5, 11, 19, 20].

В состав растений-углеобразователей Райчихинского месторождения (участок «Пионер») входят преимущественно растения, продуцировавшие двумешковую пыльцу. В нижнем угольном прослое велика роль спор папоротникообразных, однако в вышележащих углях она снижается. Пыльца таксодиевых в количественном отношении находится

на втором месте. Болотную растительность слагали хвойные (сосновые, таксодиевые, кипарисовые) и папоротники с некоторым участием покрытосеменных.

Необходимо отметить такую закономерность, как увеличение количества пыльцы таксодиевых в кластических междупластиях и уменьшение в углях. По всей вероятности, территория нынешнего месторождения была занята проточным болотом, которое время от времени заливалось водой рек, выходявших из берегов во время наводнений.

В составе растений-углеобразователей месторождения Уюнь основную роль играют таксодиевые; доказательства этого получены как по палинологическим, так и по палеоботаническим и палеоксилнологическим данным. Пыльца может сноситься со всего водосборного бассейна и захораниваться в низинах, но находки листьев и древесины в углях свидетельствуют о довольно близком их переносе.

В кластических междупластиях Уюня закономерно уменьшается роль пыльцы таксодиевых и увеличивается – двумешковой. Конгломераты в разрезе не обнаружены. Между пластами углей залегают косослоистые песчаники и глины. Завершают разрез пески с косою слоистостью. Эти текстуры свидетельствуют о формировании проточного болота в условиях рек.

Возникает вопрос, почему в одновозрастных Архаро-Богучанском и Райчихинском (участок «Пионер») месторождениях основные углеобразователи – сосновые и папоротники, а в Уюне – таксодиевые. Для углей палеоценовой формации Форт Юнион в Северной Америке выявлена почти такая же ситуация: в палиноспектрах мощных угольных прослоев доминирует пыльца таксодиевых (до 75%), в то время как в тонких прослоях ее значение резко падает (до 6–8%); это различие объясняется разницей в обстановках осадконакопления [25]. В исследованных нами месторождениях на левобережье р. Амур угольные пласты маломощные (рис. 2, 5), а на месторождении Уюнь нижний пласт превышает 5 м. Значительная мощность угольных пластов указывает на то, что они формировались в обстановке облесенного болота, современные аналоги которого можно найти в заболоченных лесах с *Taxodium* и *Nyssa* в юго-восточной части США. В палиноспектрах из кластических междупластий Уюня резко возрастает роль двумешковой пыльцы, что явно говорит о ее привносе со склонов. Это же подтверждается и по фаціальным признакам: песчаники, несомненно, формировались в речных условиях.

Относительно маломощные угольные прослои Архаро-Богучанского и Райчихинского (участок «Пионер») месторождений явно формировались в других условиях. Возможно, это были преимущественно безлесные болота; берега ручьев и рек, впадавших в них, занимали таксодиевые. По-видимому, двумешковая пыльца сосновых, занимавших окружающие склоны, беспрепятственно переносилась и захоранивалась в низинах, где шли процессы торфонакопления. Отметим, что содержание пыльцы древесных растений в палиноспектрах из углей невелико, оно возрастает в кластических междупластиях. Также в этих слоях обычно встречаются остатки листьев, побегов и репродуктивных органов растений, принесенные с мест их произрастания.

Недопонимание таких тафономических особенностей приводит к ошибочным выводам о составе древних болотных сообществ. Например, есть мнение, что одними из основных углеобразователей Архаро-Богучанского и Райчихинского месторождений были платановые [9, 10]. Известно, что последние являются представителями рипарийных, но не болотных растительных сообществ. Современные платаны обитают на аллювиальных почвах, по берегам рек и озер, днищам ущелий [7]. Добавим, что трикольпатной пыльцы, которую, возможно, продуцировали платановые, в углях вышеназванных месторождений содержится 0–4%.

Современные таксодиевые являются остатками некогда процветавшего семейства. В настоящее время существуют их изолированные ареалы в Северной Америке и Восточной Азии, в то время как в палеогене и неогене эти растения были важными компонентами лесов, широко распространенных по всему Северному полушарию.

В сантоне таксодиевые входили в состав растительных сообществ Зейско-Буреинского бассейна, но их значение было невелико (рис. 9). Сантонская флора этого региона включает *Sequoia* sp. и *Metasequoia* sp. [17, 18]. В кампанский век разнообразие этой группы возросло за счет появления *Glyptostrobus* sp. и *Taxodium* sp., однако по палинологическим данным количество ее пыльцы снижается. В ранне- и среднемаастрихтских палиноспектрах участие таксодиевых повышается, в позднемаастрихтской флоре они доминируют как по палинологическим, так и по палеоботаническим данным. Нами в отложениях этого возраста найдены остатки *Taxodium* sp.

Цагайская флора датского возраста включает *Taxodium olrikii* (Heer) Brown, *Metasequoia disticha* и *Sequoia reichenbachii* (Geinitz) Heer [12, 13], остатки которых обильны в тафоценозах. В более молодой кивдинской флоре таксодиевые сохраняют свои позиции, являясь одними из основных эдификаторов [3]. В эоцене происходит резкое обновление флоры. В ней доминируют покрытосеменные, среди которых велика роль теплолюбивых форм [2, 4, 8]. Участие же таксодиевых значительно сокращается.

### Заключение

Растения-углеобразователи Архаро-Богучанского месторождения представлены папоротниками и сосновыми. Однако палиноспектр из верхнего угольного прослоя, перекрывающего маломощный слой риолитового туфа, отличается от таковых из двух нижележащих углей более высоким (свыше 30%) участием покрытосеменных. Возможно, болото было засыпано вулканическим пеплом. Эту вулканическую пустыню освоили покрытосеменные. Очевидно, цветковые, внедрившись в растительные сообщества заболоченных низин, заняли в них устойчивые позиции.

Выделяются две обстановки для времени формирования этого угольного месторождения: сначала существовали болота и заболоченные низменности, их сменили речные долины. С переменной палеосред тесно связано изменение состава растительности: на смену влажным хвойным долинным лесам с папоротниковым подлеском пришли широколиственные леса со значительным участием таксодиевых.

В состав растений-углеобразователей Райчихинского месторождения (участок «Пионер») входят преимущественно те, что продуцировали двумешковую пыльцу. Пыльца таксодиевых на втором по значимости месте. Болотную растительность слагали хвойные и папоротники с некоторым участием покрытосеменных. Территорию месторождения занимало проточное болото, которое время от времени заливалось реками, выходящими из берегов во время наводнений.

В составе растений-углеобразователей месторождения Уюнь основную роль как по палинологическим, так и по палеоботаническим и палеосилологическим данным играют таксодиевые. Мощные угольные пласты этого месторождения формировались в обстановке облесенного болота, подобного современным заболоченным лесам с *Taxodium* и *Nyssa* на Атлантическом побережье США. Относительно маломощные угольные прослои Архаро-Богучанского и Райчихинского (участок «Пионер») месторождений явно

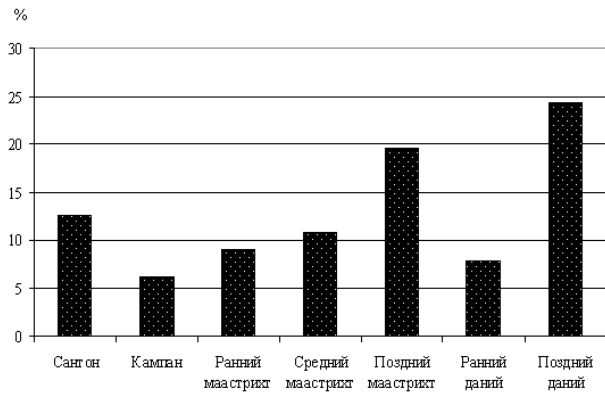


Рис. 9. Изменение участия таксодиевых в сантон-палеоценовых палинофлорах Зейско-Буреинского бассейна (по палинологическим данным)

формировались в других условиях. Возможно, это были преимущественно безлесные болота, в местах впадения в них ручьев и рек произрастали таксодиевые. По-видимому, двумешковая пыльца сосновых, занимавших окружающие склоны, беспрепятственно переносилась и захоранивалась в низинах, где шли процессы торфонакопления.

В сантоне Зейско-Буреинского бассейна таксодиевые (*Sequoia* sp. и *Metasequoia* sp.) входили в состав растительных сообществ, но их значение было невелико. В кампанском веке разнообразие этой группы возросло за счет появления *Glyptostrobus* sp. и *Taxodium* sp., однако по палинологическим данным количество ее пыльцы снижается. В маастрихтских палиноспектрах участие таксодиевых повышается, в позднемаастрихтской флоре они доминируют как по палинологическим, так и по палеоботаническим данным. Расцвет эта группа растений испытывает в начале кайнозоя, начиная играть эдификаторную роль. В эоцене и в последующие эпохи роль таксодиевых резко снижается.

Авторы благодарны Сунь Ге (Цзилинский и Шэньянский университеты, КНР), А.Р.Ашрафу (Тюбингенский университет, Германия), Т.М.Кодрул (ГИН РАН), А.П.Сорокину, Ю.Л.Болотскому (ИГиП ДВО РАН), К.Джонсону и Д.Николсу (Денверский Музей природы и науки, США), Н.П.Домре, Н.Н.Нарышкиной (БПИ ДВО РАН), Л.Ф.Симаненко (ДВГИ ДВО РАН).

Фотографии к статье выполнены Н.Н.Нарышкиной и Х.Нишидой, палеоботаником Университета Чуо (Япония).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аблаев А.Г. Позднемеловая флора Восточного Сихотэ-Алиня и ее значение для стратиграфии. Новосибирск: Наука, 1974. 180 с.
2. Ахметьев М.А. Палеоценовые и эоценовые флоры юга Дальнего Востока, их стратиграфическое значение и климатическая характеристика // Сов. геология. 1973. № 7. С. 14–29.
3. Ахметьев М.А., Кезина Т.В., Кодрул Т.М., Манчестер С.Р. Стратиграфия и флора пограничных слоев мела и палеогена юго-восточной части Зейско-Буреинского бассейна // Сборник памяти члена-корреспондента АН СССР, проф. В.А. Вахрамеева (к 90-летию со дня рождения). М.: ГЕОС, 2002. С. 275–315.
4. Братцева Г.М. Палинологические исследования верхнего мела и палеогена Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. 56 с. (Тр. ГИН АН СССР; вып. 207).
5. Герман А.Б., Ахметьев М.А., Кодрул Т.М. и др. Развитие флор Северо-Восточной Азии и Северной Аляски в переходное время между меловым и палеогеновым периодами // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17, № 1. С. 88–108.
6. Головнева Л.Б. *Alasia* gen. nov. – мужские соцветия, связанные с листьями *Trochodendroides* (Cercidiphyllaceae) // Ботан. журн. 2006. Т. 91, № 12. С. 1898–1906.
7. Жизнь растений. Т. 5 (1). Цветковые растения. М.: Просвещение, 1980. 430 с.
8. Камаева А.М. Стратиграфия и флора пограничных отложений мела и палеогена Зейско-Буреинской впадины. Хабаровск: АмурКНИИ, 1990. 66 с.
9. Кезина Т.В. Палиностратиграфия угленосных отложений позднего мела и кайнозоя Верхнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2005. 206 с.
10. Кезина Т.В. Стратиграфия Райчихинского буроугольного месторождения по биостратиграфическим данным (Зейско-Буреинский осадочный бассейн) // Совр. пробл. палеофлористики, палеофитогеографии и фитостратиграфии: тр. Междунар. палеоботан. конф. (17, 18 мая 2005 г., Москва) / ред. М.А.Ахметьев, А.Б.Герман. М.: ГЕОС, 2005. С. 141–153.
11. Кодрул Т.М., Теклева М.В., Красилов В.А. Новый вид хвойных *Mesocyparis rosanovii* sp. nov. (Cupressaceae, Coniferales) и проблема трансберингийских флористических связей // Палеонтол. журн. 2006. № 3. С. 93–102.
12. Красилов В.А. Цагаянская флора Амурской области. М.: Наука, 1976. 92 с.
13. Криштофович А.Н., Байковская Т.Н. Верхнемеловая флора Цагаяна в Амурской области // А.Н.Криштофович. Избр. труды. М.; Л.: Наука, 1966. Т. 3. С. 184–320.
14. Маркевич В.С., Бугдаева Е.В., Ашраф А.Р. Палинофлора из угленосных отложений Архаро-Богучанского месторождения (Приамурье) // Эволюция жизни на Земле: материалы III Междунар. симпоз. (1–3 ноября 2005 г., Томск). Томск: ТГУ, 2005. С. 258–261.
15. Маркевич В.С., Бугдаева Е.В., Болотский Ю.Л., Сорокин А.П. Проблемы меловой биостратиграфии Приамурья // Бюл. МОИП. Сер. геол. 2004. Т. 79, № 4. С. 18–29.
16. Маркевич В.С., Бугдаева Е.В. Сантон-датская палинофлора Зейско-Буреинского бассейна // Палинология: стратиграфия и геоэкология: сб. науч. тр. XII Всерос. палинол. конф. (29 сентября–4 октября 2008 г., Санкт-Петербург) / ред. О.М.Прищепа, Д.А.Субетто, О.Ф.Дзюба. СПб.: ВНИГРИ, 2008. Т. 3. С. 157–164.
17. Маркевич В.С., Головнева Л.Б., Бугдаева Е.В. Стратиграфия и флора кундурской свиты (верхний мел, Приамурье) // Сб. статей Второго всерос. совещ. «Меловая система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» (12–15 апреля 2004 г., Санкт-Петербург) / ред. В.В.Аркадьев, В.А.Прозоровский. СПб.: НИИЗК СПбГУ, 2005. С. 160–176.
18. Маркевич В.С., Головнева Е.Б., Бугдаева Е.В. Флористическая характеристика сантон-кампанских отложений Зейско-Буреинского бассейна (Приамурье) // Совр. пробл. палеофлористики, палеофитогеографии

и фитогеографии: тр. Междунар. палеоботан. конф. (17, 18 мая 2005 г., Москва) / ред. М.А.Ахметьев, А.Б.Герман. М.: ГЕОС, 2005. С. 198–206.

19. Маслова Н.П., Кодрул Т.М. *Archaranthus* gen. nov. – новый род платановых из маастрихт-палеоценовых отложений Амурской области // Палеонтол. журн. 2003. № 1. С. 92–100.

20. Маслова Н.П., Кодрул Т.М., Теклева М.В. Новое тычиночное соцветие *Vogutchanthus* gen. nov. (Hamamelidales) из палеоценовых отложений Амурской области, Россия // Палеонтол. журн. 2007. № 5. С. 89–103.

21. Палеопалинология. Т. 1. Методика палеопалинологических исследований и морфология некоторых ископаемых спор, пыльцы и других растительных микрофоссилий Л.: Недра, 1966. 351 с. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер.; вып. 141).

22. Флора и динозавры пограничных меловых и палеогеновых слоев Зейско-Буреинского бассейна / под ред. Е.В.Бугдаевой. Владивосток: Дальнаука, 2001. 160 с.

23. Feng G.-P., Ablaev A.G., Wang Yu-F., Li Ch.-S. Paleocene Wuyun Flora in Northeast China: *Ulmus furcinervis* of Ulmaceae // Acta Bot. Sin. 2003. Vol. 45, N 2. P. 146–151.

24. Fossil floras of China through the geological ages / ed. Li Xingxue. Guangzhou: Guangdong Sci. and Technol. Press, 1995. 695 p.

25. Nichols D.J. The role of palynology in paleoecological analyses of Tertiary coal // Int. J. Coal Geology. 1995. Vol. 28. P. 139–159.

### ***В лабораториях институтов***

#### **Моделирование движения адатомов металлов на поверхности кремния (ИАПУ ДВО РАН)**

Развитие микро- и наноэлектроники продолжает двигаться по пути уменьшения размеров элементной базы (современные процессоры построены по технологии 32 нм). С уменьшением размера элемента все большую роль играют диффузионные процессы на поверхности кремния, которые можно описать только из первых принципов (прямое решение уравнений квантовой механики). Данная работа демонстрирует, как квантово-механический подход позволяет объяснить известные экспериментальные данные движения (диффузии) адатомов металла (Me) на соответствующей поверхности  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Me}$  и предсказать новое поведение адатомов металлов на поверхности кремния. Поскольку существует несколько возможных механизмов диффузии, то только расчеты из первых принципов могут показать, какой из этих механизмов отвечает за конкретные экспериментальные результаты.

Проведены расчеты оптимального пути адатома Me на поверхности  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Me}$  для ряда наиболее популярных металлов  $\text{Me} = \text{Al}, \text{Ga}, \text{In}, \text{Pb}$ , формирующих структуры  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  на поверхности  $\text{Si}(111)$ . Полученное значение энергии активации диффузии адатома Pb на поверхности  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Pb}$  0,44 эВ находится в хорошем согласии с экспериментальным значением  $0,45 \pm 0,01$  эВ. Показано, что значения энергии активации определяются природой диффундирующего адатома: 0,44 эВ для Pb, 0,22 эВ для In, 0,13 эВ для Ga и 0,08 эВ для Al. На данном этапе работы, в связи с отсутствием экспериментальных данных для других металлов, прямое сравнение с экспериментом не представляется возможным. Однако хорошее согласие полученной энергии активации диффузии адатома Pb на поверхности  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Pb}$  позволяет ожидать хорошего согласия и для адатомов других металлов.

Расчеты проведены с использованием комплекса программ VASP на вычислительных кластерах ЦКП ДВВР.

*Gruznev D.V., Olyanich D.A., Chubenko D.N., Gvozhd I.V., Chukurov E.N., Luniakov Yu.V., Kuyanov I.A., Zotov A.V., Saranin A.A.* Diffusion and clustering of adatoms on discommensurate surface template: Ge atoms on  $\text{Si}(111)\sqrt{5}\times\sqrt{5}\text{-Cu}$  reconstruction // Surf. Sci. 2010. Vol. 604. P. 666–673; *Luniakov Yu. V.* First principle simulations of the surface diffusion of Si and Me adatoms on the  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Me}$  surface;  $\text{Me} = \text{Al}, \text{Ga}, \text{In}, \text{Pb}$  // Surf. Sci. 2011. Vol. 605. P. 1866–1871.