DOI: 10.30911/0207-4028-2026-45-3- - УДК 550.73:552.57+552.57:551.763.1](571.63+518.3)

РАСТЕНИЯ-УГЛЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАННЕМЕЛОВЫХ СМОЛЯНЫХ УГЛЕЙ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ (РОССИЯ) И ПРОВИНЦИИ ХЕЙЛУНЦЗЯН (КИТАЙ)

Е.В. Бугдаева[1], Н.В. Носова[2], Г. Сунь[3], Ф. Лянь[3], Л.Б. Головнева[2], Ю. Сун[4]

[1]Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия; e-mail: bugdaeva@biosoil.ru

[2]Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: natanosova@gmail.com, lina_golovneva@mail.ru

[3]Paleontological Institute of Shenyang Normal University, Shenyang, China; e-mail: sunge@synu.edu.cn

[4]Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geosciences, Ministry of Education, Wuhan, China; e-mail: songyu1009@126.com

Поступила в редакцию 16 июля 2025 г.

Установлено, что основными углеобразующими растениями липовецкой свиты Раздольненского бассейна Южного Приморья России, формации Дуннин бассейна Дуннин и формации Мулин бассейна Лаохейшань провинции Хейлунцзян Китая были разнообразные папоротники, беннеттиты *Nilssoniopteris rhitidorachis* и *Pterophyllum* sp., хвойные, среди которых доминируют мировиевые. Именно они формировали резиниты этого региона. Труднообъясним феномен доминирования мировиевых (растений, характерных для высокоширотных флор) и видового богатства беннеттитов (показателей термофильности). Палеообстановки бассейнов Раздольный, Дуннин и Лаохейшань в аптском веке были высокострессовые, о чем свидетельствуют доминирование мировиевых (для которых характерны адаптации к неблагоприятным условиям существования), находки Tarphyderma (Cheirolepidiaceae) и первых покрытосеменных. Обнаружение в разрезе формации Дуннин мегаспор водных папоротников *Balmeisporites* свидетельствует о формировании ее отложений в пресных или солоноватых водоемах, развивавшихся в теплых и влажных условиях. В углистом прослое формации Дуннин найдены мелкие обломки светло-желтой смолы, продуцентами которых являлись хвойные Pinaceae или Taxodiaceae. Возможно, что в аптском веке получили развитие хвойные леса, продуценты смолы, распространившиеся по всей территории современного Северо-Востока Китая и Забайкалья.

Проведено сравнение растений-углеобразователей юрских резинитов месторождения Ткварчели Грузии. Несмотря на разницу в возрасте, их соотношение такое же, как и у таковых дальневосточных: доминируют мировиевые (*Mirovia oskolica*) при значительном участии беннеттитов.

Ключевые слова: **растения-углеобразователи, ранний мел, резиниты, Раздольненский бассейн, бассейн Дуннин, бассейн Лаохейшань.**

ВВЕДЕНИЕ

В XIX веке на юге Приморья стали известны месторождения угля. С 1862 г. на территории Раздольненского бассейна частными лицами начал добываться уголь, используемый для нужд военной флотилии. С 1911 г. начало разрабатываться Липовецкое, а с 1914 г. – Алексее-Никольское месторождения. В 1912 г. генеральным директором «Акционерного Товарищества Липовецкие каменноугольные копи» был приглашен А.Н. Криштофович для исследования угля. Им было отмечено, что промышленный пласт слагает «... уголь, компактный, твердый, буровато-черный, матовый, тяжелый, переполненный или скорее в большей массе состоящий из тонких игл смоляного вещества, пронизывающих его во всех направлениях, в разрезе блестящих...» [11, с. 19].

Был выделен особый вид горючего, сложенный палочками смолистого вещества, под названием рабдописсит (от греческих слов ράβδος – палочка и πίσσα – смола). Сейчас этот термин считается синонимом резинитового угля. К рабдописситам А.Н. Криштофовичем также были отнесены юрские угли Грузии (месторождения Ткибули и Ткварчели) и кайнозой-

ские пироприсситы Германии. Если первые сложены смоляными палочками, то последние представляют собой угли с прослойками воскообразного вещества палевого или светло-желтого цвета. А.Н. Криштофович также высказал предположение, что эти смоляные образования «... не что иное, как выполнения смолой или камедь смоляных ходов деревьев, хвойных или скорее – сагообразных, т.е., вероятно, беннеттитов...» [11, с. 21]. Авторитет этого выдающегося ученого обусловил то, что в последующем все исследователи придерживались мнения об углематеринской роли беннеттитов в образовании смоляных углей.

В дальнейшем уникальным углям Липовецкого месторождения, представляющим собой ценное сырье для химической промышленности, были посвящены специальные исследования [2, 4, 13, 16, 17]. В результате установлено, что по вещественно-петрографическому составу продуктивная составляющая Липовецкого месторождения сложена в основном чередующимися прослоями рабдописситов и гумусовых углей. По внешнему виду рабдописсит матовый, твердый, тяжелый, вязкий, с раковистым изломом и тонкими иглами смолы. Они коричневато-красного цвета, длиной от 2 до 5 мм и толщиной 0.5–1 мм. Иногда смоляные тельца разного размера составляют от 62 до 91 % общей массы угля. Выявлено, что материнским веществом смоляных телец рабдописсита могли быть смолы танналовой или резиноловой природы, отличающиеся по составу от смол сосновых [4]. Следовательно, эта группа растений (Pinaceae) не могла быть продуцентом липтобиолитов Липовецкого месторождения.

По палинологическим данным высказано предположение, что основными углеобразователями были либо компоненты болотной растительности, либо растения, произраставшие в непосредственной близости от болот. В эту группу входили представители сфагновых мхов, папоротников и некоторых хвойных – кипарисовых, таксодиевых [2]. По мнению Б.М. Штемпеля, «... исходным материалом суйфунских (по прежнему названию Раздольненского бассейна. – *Прим. авт.*) углей послужили листья, стеблевые остатки и побеги хвойных, папоротников, хвощей, плауновых, цикадовых, гинкговых, саговых, беннеттитов и мхов...» [11, с. 111, 112]. Относительно углематеринских растений рабдописсита палеоботаники придерживались точки зрения А.Н. Криштофовича.

Первая же химическая мацерация резинитовых углей Липовецкого месторождения показала, что они сложены листьями Miroviaceae, загадочных хвойных, существовавших в течение мезозоя [21]. Значительный вклад в формирование мортмассы вносили папоротникообразные, доля других растений несравнимо мала. Последующее планомерное изучение растений-углеобразователей смоляных углей других месторождений Раздольненского бассейна подтвердило такое соотношение углематеринских растений.

В 2015 г. совместными работами авторов на местонахождениях формации Дуннин (бассейн Дуннин, являющийся продолжением Раздольненского бассейна), были описаны разрезы, отобраны пробы, уточнен возраст как аптский [30]. Появилась возможность выявления болотных растительных сообществ на территории всего бассейна.

Недавно выяснилось, что смоляные угли формировались не только в трансграничном Раздольненском бассейне, но и в небольшом бассейне Лаохейшань, расположенном от него к юго-западу примерно в 30 км (рис. 1).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

На северо-востоке Китая с территории Маньчжурии, от слияния рек Сяосуйфунхэ и Дасуйфунхэ, берет начало река Суйфун (длина ее 245 км), которая течет на восток и в юго-западной части Приморского края пересекает границу с Россией (рис. 1). По территории Приморья она протекает на протяжении 191 км и впадает в Амурский залив. В 1972 году река была переименована в р. Раздольная.

Раздольненский трансграничный бассейн

Расположен как на территории Приморья, так и Китая (где он называется бассейн Дуннин). Бассейн приурочен к Ханкайскому срединному массиву и Приморской области палеозойской складчатости. Северная и северо-западная части бассейна формировались на краю Ханкайского массива в Константиновско-Липовецком, а центральная и южная части – в Раздольненском наложенных прогибах. Прогибы разделены Корфовским поднятием, сложенным палеозойскими гранитами.

Нижнемеловые слои бассейна залегают на ордовикских и позднепермских гранитоидах, перекрываются неогеновыми и четвертичными отложениями [5].

Меловые отложения Раздольненского (Суйфунского) бассейна литологически довольно четко отличаются друг от друга [16, 17]. Нижняя часть разреза сложена терригенными образованиями с пластами и прослоями угля и углистых пород. Этот комплекс осадков характеризуется единым циклом развития. Начинается он широким распространением грубозернистых пород пролювиально-аллювиальных отложений и заканчивается в верхней части разреза озерными и прибрежно-морскими отложениями. А.Н. Криштофовичем и М.К. Елиашевичем в 1921 году эта часть разреза отнесена к никанскому ярусу [10], который позже стал рассматриваться как одноименная серия.

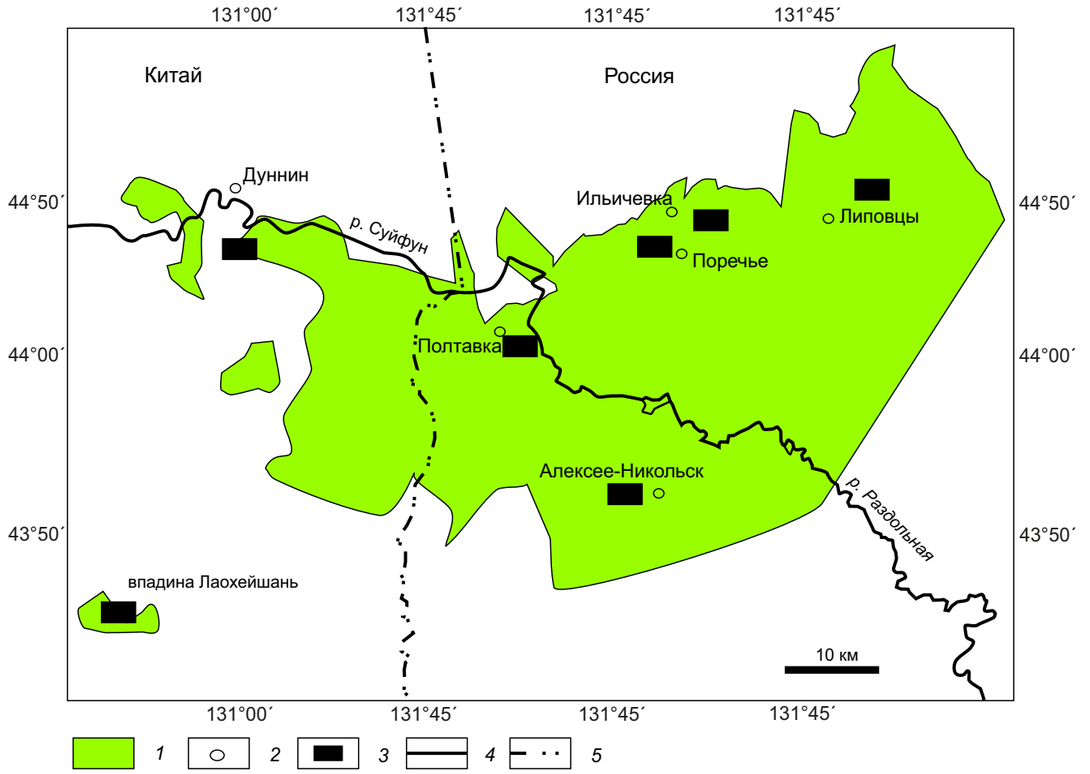


Рис. 1. Карта изученных местонахождений Раздольненского (Суйфунского) бассейна и бассейна Лаохейшань.

1 – распространение нижнемеловых отложений; *2* – населенные пункты; *3* – местонахождения (угольные карьеры и разрезы); *4* – река; *5* – государственная граница между КНР и Российской Федерацией.

В.А. Красилов для меловых осадочных образований Раздольненского (Суйфунского) каменноугольного бассейна, основываясь на литологическом составе отложений, их ритмичности, условиях образования, угленосности, а также растительных остатках и спорово-пыльцевых комплексах, разработал единую стратиграфическую схему [6].

В основании никанской серии выделяется уссурийская свита барремского возраста мощностью 200–250 м, сложенная песчаниками различной зернистости с редкими прослоями аргиллитов и алевролитов. Маломощные прослои угля встречаются в верхней части свиты. Преобладают осадки временных потоков и русел. Озерные, пойменные и болотные отложения приурочены обычно к верхним горизонтам свиты.

Выше согласно залегает липовецкая свита (250 м) аптского возраста, в которой выделяются нижняя безугольная и верхняя угленосная подсвиты. Нижняя подсвита сложена преимущественно песчаниками с увеличивающимися вверх по разрезу количеством и мощностью прослоев алевролитов и аргиллитов. Преобладают осадки временных потоков и русел, реже озер. Угленосная подсвита сложена переслаиванием тонкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, в верхней части – с пластами угля и углистых пород. Она представлена отложениями озер, болот, временных потоков и речных русел. Таким образом, никанская серия формировалась в обстановках аллювиальных равнин, при этом снизу вверх по разрезу постепенно уменьшается роль пролювиально-аллювиальных осадков и увеличивается роль озерных и озерно-болотных отложений [16, 17].

На липовецкой согласно залегает галенковская свита альбского возраста, в основном, безугольная, несогласно перекрытая коркинской серией [6].

Еще с конца XIX века в Раздольненском (Суйфунском) бассейне известны залежи каменного угля. Промышленная угленосность бассейна приурочена к самой верхней части липовецкой свиты (100–150 м). Мощности рабочих пластов от 1 до 4 м. Иногда мощные пласты расщепляются на отдельные пачки. В целом угли бассейна высокозольные (25–35 %), длиннопламенные. Характерной особенностью гумусовых углей бассейна является широкое распространение среди них липтобиолитовых углей. Среди углей выделяются блестящие, полублестящие, полуматовые и матовые разновидности. Наиболее распространены полублестящие клареновые и полуматовые дюреноклареновые угли [15]. Липтобиолиты образуют прослои среди гумусовых углей, отличаясь повышенным содержанием минеральных примесей. Гумусовые угли образовались из торфяников различно обводненных болот с небольшой проточностью. Липтобиолитовые угли формировались из торфяников сильно проточных болот, из которых выносилось большое количество гумуса. и оставались наиболее устойчивые к разложению смоляные тела, споры и кутикулы растений.

В Раздольненском бассейне известно несколько в различной степени изученных месторождений и проявлений каменного угля: Липовецкое, Ильичевское, Константиновское, Синеловское, Алексее-Никольское и Уссурийское [15]. В последние годы разрабатываются Полтавское, Западное (рядом с отработанным Пореченским) и Ильичевское месторождения (рис. 1).

Бассейн Дуннин

На участке вдоль р. Суйфун, прилегающей к государственной границе между КНР и РФ, развита формация Дуннин, залегающая на вулканической (в основном андезитовой) формации Тунтяньинь. Возраст последней является предметом дискуссий [26]. Формация Дуннин сложена терригенными и угленосными отложениями, состоящими преимущественно из серых мелкозернистых песчаников и алевритов с прослоями желтовато-серых конгломератов, серых аргиллитов и угольных пластов (около четырёх промышленных пластов в нижней части). Её мощность на юге уезда Дуннин составляет более 285 м.

Формация Дуннин несогласно перекрыта формацией Дуншань (в основном вулканической) или формацией Хоушигоу (в основном желтыми и желтовато-серыми конгломератами, песчаниками и алевролитами) альбского возраста [26].

В 30-х годах XX века японским палеоботаником О. Оиси впервые описаны ископаемые растения формации Дуннин и предложен для нее юрский возраст [33]. В дальнейшем эта флора была переизучена [40]. Сравнением с липовецкой флорой Южного Приморья и флорой Тетори из внутренней зоны Японии, ее возраст установлен как ранний мел.

Авторы посетили и описали разрез (под названием DSA) этой формации в 5 км южнее гор. Дуннин вдоль железной дороги. Здесь было собрано большое количество растительных остатков и отобраны образцы для палинологического анализа. Выявлено, что палинофлора доминирована папоротниками, в меньшей степени хвойными. Немногочисленна пыльца покрытосеменных. В результате был установлен аптский возраст флороносных отложений, проведена корреляция с липовецкой свитой [30].

Впадина Лаохейшань

Впадина Лаохейшань представляет собой межгорную впадину, расположенную в блоке Синкай на северо-востоке Китая. Ее фундамент сложен докембрийскими метаморфическими и мезо-кайнозойскими вулканическими породами [39]. Впадина занимает площадь около 400 км² и заполнена нижнемеловыми отложениями формации Мулин, формацией Дуншань и неогеновой формацией Чуандишань [35, 36]. В нижнемеловом заполнении впадины преобладает формация Мулин, мощность которой уменьшается к юго-востоку. Формация Мулин подразделяется на две толщи: нижняя состоит из конгломератов с прослоями песчаников и аргиллитов, а верхняя – в основном из песчаников, алевролитов, аргиллитов, прослоев угля и горючих сланцев с ограниченным количеством конгломератов.

Были предложены реконструкции палеорастительности и ие влияния на формирование горючих сланцев и угля в верхней пачке формации Мулин в бассейне Лаохейшань [36]. Этими авторами указывается, что в исследуемом интервале выделены три горизонта. Горючие сланцы развиты преимущественно в нижних и верхних горизонтах, а уголь в основном встречался в среднем. По палинологическим данным и концентрации терпеноидных биомаркеров были сделаны следующие выводы. В нижнем горизонте палеорастительность была представлена папоротниками Schizaeaceae, Dicksoniaceae, Cyatheaceae и хвойными Podocarpaceae. Во время формирования среднего горизонта доминировали высокогорная растительность и хвойные Pinaceae, Araucariaceae, Podocarpaceae и Cupressaceae/Taxodiaceae, давшие начало углям. Палеорастительность верхнего горизонта состояла в основном из папоротников Osmundaceae и Schizaeaceae, в меньшей степени из хвойных Pinaceae и Podocarpaceae. Сделан вывод, что богатые водородом материалы (например, смола), производимые хвойными деревьями, могут быть ответственны за более

высокий потенциал генерации углеводородов в угле по сравнению с горючими сланцами.

Угленосные отложения бассейна Лаохейшань отнесены к раннемеловой формации Мулин. Стратотипический разрез последней описан в находящемся севернее бассейне Цзиси, где она согласно залегает на формации Ченцзихэ, возраст которой вначале рассматривался как готерив-раннебарремский [37], баррем-альбский [29], аптский [34]. Датирование тефры выявило ее абсолютный возраст 116–111 млн лет, что указывает поздний апт-ранний альб [24]. Более высокое стратиграфическое положение формации Мулин дает основание говорить об ее альбском возрасте.

По всей видимости, нижнемеловые угленосные отложения бассейна Лаохейшань не принадлежат формации Мулин. Более целесообразно выделить стратиграфическое подразделение с другим названием и коррелировать его с липовецкой свитой Приморья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал, использованный в этой статье, происходит из нижнемеловых углей липовецкой свиты и формации Дуннин трансграничного Раздольненского (Суйфунского) бассейна, а также формации Мулин бассейна Лаохейшань.

Все описанные ископаемые растения Раздольненского (Суйфунского) бассейна [3, 9, 14, 38 и др.] обычно происходят из кластических отложений (песчаников, туфопесчаников, алевролитов, аргиллитов, туфоалевролитов), которые являются продуктами размыва пород и переноса с возвышенностей в низины. Тафоценозы сложены остатками растений как низинных, так и склоновых сообществ, и по этой причине имеют смешанный состав. Во время же формирования углей привнос кластики и, соответственно, растений с более высоких местообитаний отсутствовал; шел процесс биогенной седиментации – накапливалась фитомасса растений, произраставших непосредственно или рядом с местом захоронения. Таким образом, в этом случае мы имеем дело с тафоценозами гипоавтохтонного характера. Тонкие перышки папоротников не выдерживают химической мацерации проб, поэтому участие этой группы растений выявлялось по палинологическим данным; оболочка спор устойчива к воздействию химикатов.

Мацерация углей по стандартной методике (обработка сначала азотной кислотой, затем щелочью) позволяет выявить кутикулы растений, слагающих угли. Полученные кутикулярные пленки дополнительно очищались, заключались в консервирующую среду, и из них изготавливались препараты для светового микроскопа (СМ)AxioScop-40 с фотокамерой AxioCam HR (фирмы Цейс) и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Merlin (фирмы Цейс) Центра коллективного пользования «Биотехнология и генетическая инженерия» ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Раздольненский бассейн. Во всех месторождениях северной части Раздольненского бассейна обнаружены смолистые угли (резиниты), переполненные смоляными палочками. В Пореченском месторождении был найден фрагмент древесины с тесно расположенными смоляными палочками (рис. 2, *1–3*). Безусловно, это часть довольно толстого стебля дерева. Мацерация же резинитов выявила, что зачастую они сложены листьями мировиевых: в Пореченском месторождении *Mirovia orientalis* (Nosova) Nosova (рис. 2, *4*), в Алексее-Никольском – *Mirovia* sp. *A.* (рис. 2, *5*), в Ильичевском и Полтавском– *Mirovia macrophylla* (Florin) Nosova (рис. 2, *6* и *7*), в Липовецком – *Mirovia orientalis* (Nosova) Nosova [12, 21]. Также из хвойных обнаружены в Полтавском месторождении представитель таксодиевых«*Elatides*» *asiatica* (Yokoyama) Krassilov (рис. 2, *8*), в Пореченском – хейролепидиевых *Tarphyderma* sp. (рис. 2, *9*). Редко встречаются беннеттиты *Pterophyllum* sp., Пореченское месторождение угля (рис. 2, *10*), *Nilssoniopteris rhitidorachis* (Kryshtofovich) Krassilov, Пореченское месторождение (рис. 2, *11*). Единичны находки покрытосеменных, возможно платановое, Пореченское месторождение (рис. 2, *12*).

Бассейн Дуннин. Местонахождение ДСА (DSA), расположено вдоль железной дороги в 5 км к югу от города Дуннин, провинция Хейлунцзян, Китай. Дорожная выемка вскрывает разрез формации Дуннин, описанный в статье [30]. В нижней части разреза выходят углистые алевролиты, мацерация которых выявила обильные остатки *Mirovia macrophylla* (рис. 3, *1–6*), *Mirovia* sp. A. (рис. 3, *7*). Более редки беннеттиты *Pterophyllum* sp. (рис. 3, *11*), хвойные *Athrotaxites* sp. (рис. 3, *10*).

В мацерате угля обнаружены мегаспоры водных папоротников *Balmeisporites* sp. (рис. 4, *1–2*). Довольно часто встречаются обломки светло-желтого аморфного янтаря (рис. 5, *1–4*).

Невероятна находка древних покрытосеменных (рис. 6, *1–6*). Исследование в сканирующем микроскопе позволило выявить такие их черты, как стриатность внешней поверхности листа, сложные трихомы со звездчатым основанием. Зачастую к кутикуле прилипает трехбороздная пыльца, по-видимому, продуцированная этими растениями. Строение кутикулы, в том числе и устьиц, не противоречит их возможному родству с платановыми.

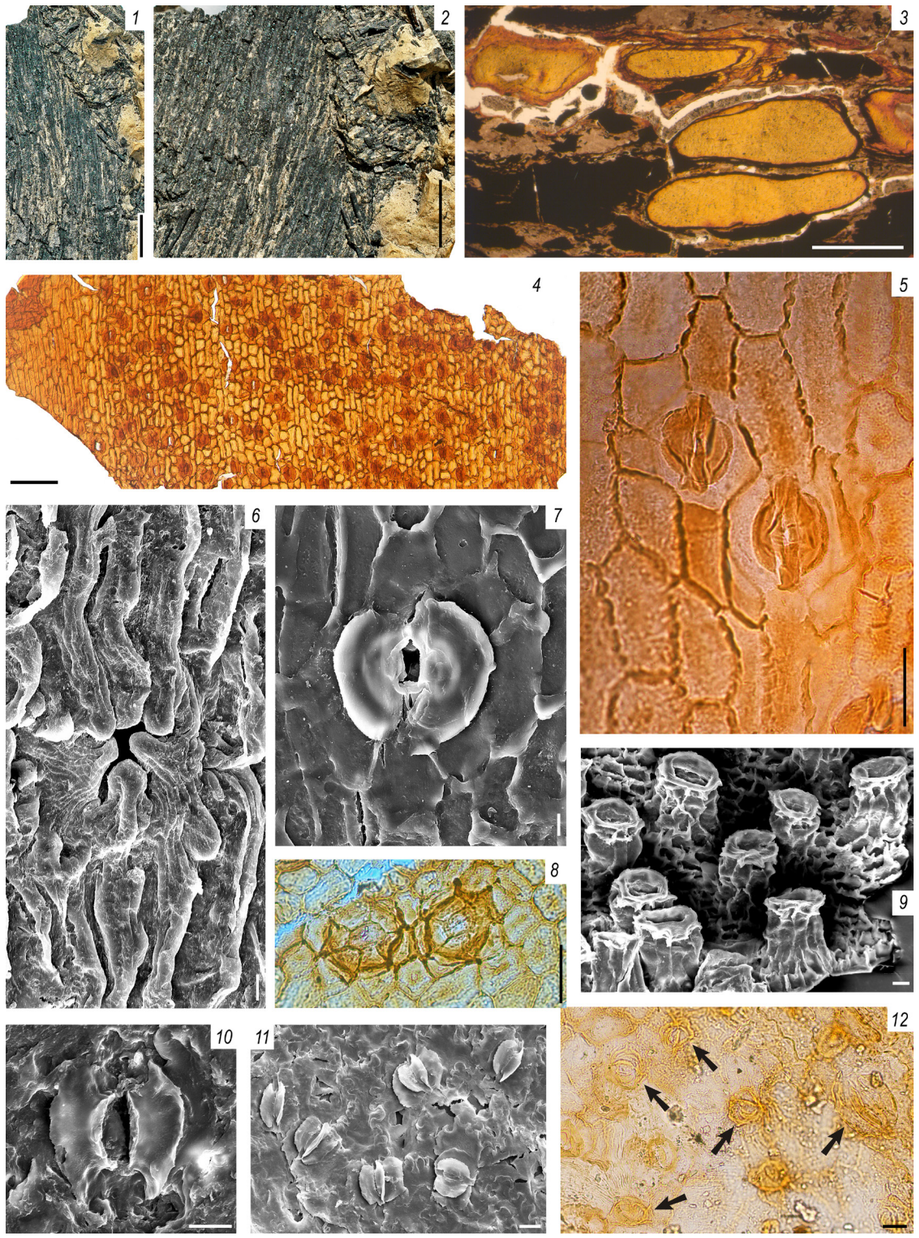


Рис. 2. Растения-углеобразователи липовецкой свиты Раздольненского бассейна, Приморский край, Россия. Коллекция хранится в Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН.

1, 2 – фрагмент древесины с тесно расположенными смоляными палочками, Пореченское месторождение угля: *1* – общий вид, *2* – более крупно с основанием ветки; *3* – поперечный разрез этой же древесины, смоляные палочки выделяются желтым цветом (СМ); *4* – почти полная развертка нижней кутикулы листа *Mirovia orientalis* (Nosova) Nosova, Пореченское месторождение угля (СМ); *5* – *Mirovia* sp. A, два устьица и эпидермальные клетки с извилистыми антиклинальными стенками, Алексее-Никольское месторождение угля (СМ); *6, 7* – *Mirovia macrophylla* (Florin) Nosova, Ильичевское и Полтавское месторождения угля: *6* – вход в устьице, вид снаружи, *7* – устьице, вид изнутри (СЭМ); *8* – «*Elatides*» asiatica (Yokoyama) Krassilov, два устьица, Полтавское месторождение угля (СМ); *9* – *Tarphyderma* sp., девять глубокопогруженных устьиц с супрастоматальными камерами, Пореченское месторождение угля (СЭМ); *10* – Pterophyllum sp., устьице, вид изнутри, Пореченское месторождение угля (СЭМ); *11* – *Nilssoniopteris rhitidorachis* (Kryshtofovich) Krassilov, нижняя поверхность кутикулы листа с устьицами, вид изнутри, Пореченское месторождение угля (СЭМ); *12* – возможное платановое, нижняя поверхность кутикулы листа с основаниями волосков и устьицем (указаны стрелкой), Пореченское месторождение угля (СМ).

Масштабные линейки: *1, 2* – 1 см, *3* – 500 мкм, *4* – 200 мкм, *5* – 50 мкм, *6* – 10 мкм, *7* – 10 мкм, *8* – 50 мкм, *9* – 20 мкм, *10* – 10 мкм, *11* – 20 мкм, *12* – 20 мкм.

Бассейн Лаохейшань. Из скважины NY1 взята проба из продуктивного угольного пласта на глубине 229.5 м. Мацерация угля показала, что он сложен остатками листьев мировиевых *Mirovia orientalis* (рис. 3, *8,9*). По палинологическим данным, спектры угленосной части разреза доминированы хвойными [36].

ОБСУЖДЕНИЕ

В течение нескольких лет проводилась работа по выявлению углеобразующих растений липовецкой свиты Раздольненского бассейна Южного Приморья [1, 22, 23, 28, 38]. В результате было установлено, что среди них доминируют разнообразные папоротники и хвойные. Довольно часты в мезофлорах беннеттиты *Nilssoniopteris rhitidorachis* и *Pterophyllum* sp. Находка в Пореченском месторождении фрагмента древесины (стебель с ответвлениями) с тесно расположенными смоляными палочками (Рис. 2, *1–3*) позволила установить источник многочисленной смолы в резинитах Раздольненского бассейна. Факт доминирования мировиевых в углях, наряду со специфичной древесиной, может говорить о том, что именно эта группа хвойных ответственна за формирование смоляных углей. О подобной связи свидетельствует также преобладание мировиевых в мезофлорах сопредельных бассейнов Дуннин и Лаохейшань провинции Хейлунцзян Китая.

Для всех мировиевых характерна толстая листовая кутикула, гипостоматность, погруженные устьица; у некоторых видов устьица, протектированные папиллами [12]. Подобные особенности строения не исключают приспособления растений к высокострессовым обстановкам. Большинство этих растений описаны из высокоширотных флор мезозоя [12, 19, 20].

Находка в Пореченском месторождении *Tarphyderma* sp., представителя хвойных Cheirolepidiaceae (рис. 2, *9*), может свидетельствовать о возможных неблагоприятных условиях существования. Это род был описан из нижнего мела Аргентины [18]; указывались такие его особенности, как чешуевидные листья, чрезвычайно глубоко погруженные устьица, специальные надустьичные камеры, толстые кутикулярные мембраны, и связывали их с адаптацией *Tarphyderma* к экологическому стрессу.

Довольно неожиданной стало обнаружение в мацерате угля из разреза ДСА мегаспор водных папоротников *Balmeisporites* Cookson and Dettmann. Это широко распространённый род, существовавший с барремского по датский века; в альбе–сеномане он имел космополитное распространение [25]. В настоящее время большинство исследователей не сомневаются в происхождении *Balmeisporites* от водного папоротника из сальвиниевых, главным образом на основании общей морфологии и особенностей стенок спор. Новая находка *Balmeisporites* в формации Дуннин расширяет распространение водных папоротников в раннем мелу Азии. В частности, она важна, поскольку это первая находка для раннемеловых флор Раздольненского (Суйфунского) бассейна, также увеличивающая разнообразие флор. Эти мегаспоры – хорошие палеоэкологические индикаторы; они подтверждают, что отложения формации Дуннин формировались в пресных или солоноватоводных водоемах, развивавшихся в теплых и влажных условиях. Дальнейшие исследования помогут лучше понять эволюционную историю этих водных папоротников.

В углистом прослое разреза ДСА встречены мелкие обломки светло-желтой смолы, явно натечной формы (рис. 5), отличающейся от смоляных палочек углей бассейнов Раздольного, Дуннин и Лаохейшань. По всей видимости, их продуцировали хвойные Pinaceae или Taxodiaceae. Подобные обломки смолы Е.В. Бугдаевой обнаружены в слоях Букачачинского месторождения угля в Забайкальском крае. Объединяет эти два местонахождения один и тот же возраст (апт) и участие во флорах *“Elatides” asiatica* (Yokoyama) Krassilov.

Считается, что находки янтаря в Китае в основном кайнозойского возраста, а самая древняя была сделана в среднетриасовой формации Чинъянь, Гуйчжоу. Раннемеловые янтари обнаружены в формации Дамогуайхе (возраст немного древнее 116 млн лет) и в более молодой формации Иминь (апт-альб) в бассейне Хайлар Северо-Востока Китая [27]. Эти авторы приводят изображения янтарей; форма, цвет и размеры последних сходны с янтарями из формации Дуннин. Не исключено, что смолу продуцировали одни и те же хвойные.

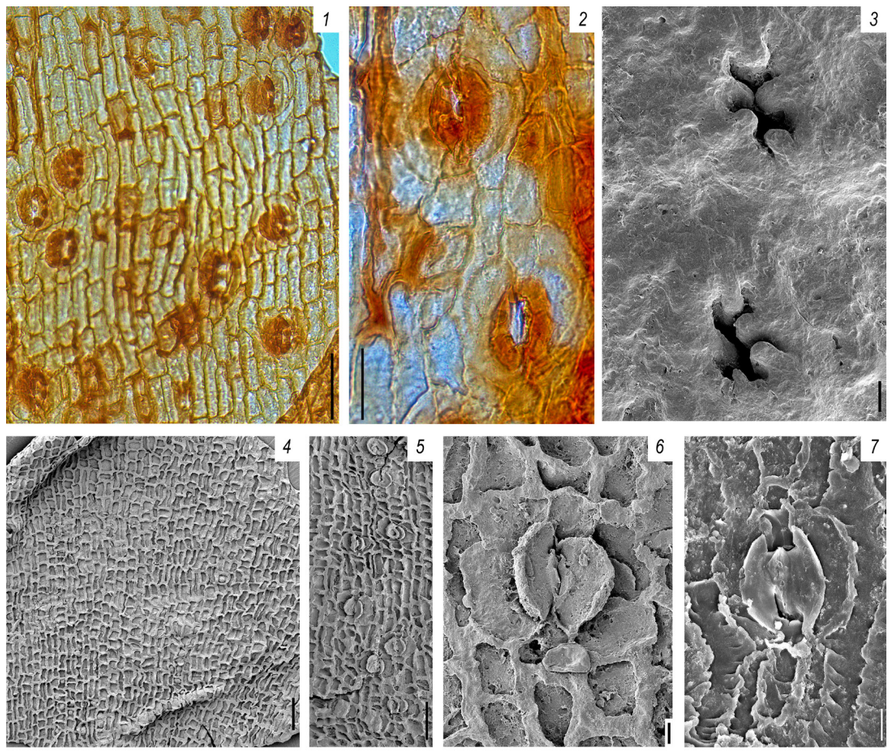


Рис. 3. Растения-углеобразователи формации Дуннин Суйфунского бассейна, провинция Хейлунцзян, Китай. Коллекция хранится в Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН.

1–6 – Mirovia macrophylla (Florin) Nosova, местонахождение ДСА (DSA), расположенное вдоль железной дороги в 5 км к югу от города Дуннин, провинция Хейлунцзян, Китай: *1* – фрагмент устьичной зоны (СМ), *2* – два устьица (СМ), *3* – два входа в устьица, вид снаружи (СЭМ), *4* – участок верхней кутикулы, вид изнутри (СЭМ), *5* – фрагмент устьичной зоны, вид изнутри (СЭМ), *6* – устьице, вид изнутри (СЭМ); *7 – Mirovia* sp. A., устьице, вид изнутри, местонахождение ДСА (DSA), (СЭМ); *8–9 – Mirovia orientalis* (Nosova) Nosova, бассейн Лаохейшань, скважина, NY1, проба, взятая на глубине 229.5 м; *10 – Athrotaxites* sp., местонахождение ДСА (DSA), (СМ); *11 – Pterophyllum* sp., местонахождение ДСА (DSA), (СЭМ).

Масштабные линейки: *1* – 100 мкм, *2* – 50 мкм, *3* – 10 мкм, *4* – 100 мкм, *5* – 100 мкм, *6* – 10 мкм, *7* – 10 мкм, *8* – 100 мкм, *9* – 10 мкм, *10* – 50 мкм, *11* – 10 мкм.

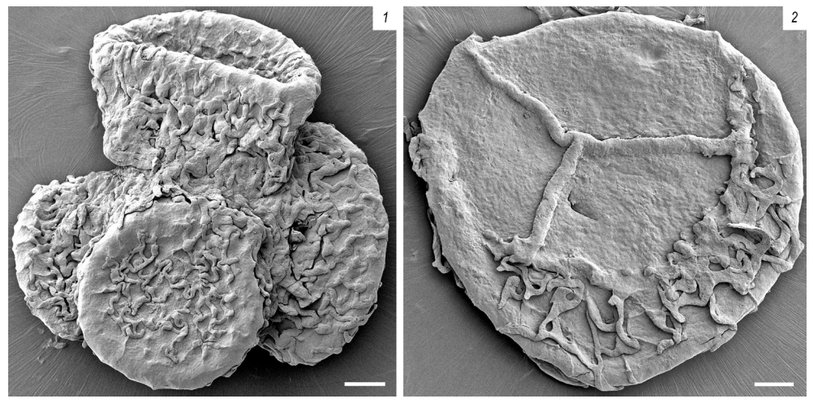


Рис. 4. Мегаспоры водных папоротников *Balmeisporites* sp. (СЭМ). Формация Дуннин, местонахождение ДСА (DSA), расположенное вдоль железной дороги в 5 км к югу от города Дуннин, провинция Хейлунцзян, Китай.

Масштабные линейки: *1* – 100 мкм, *2* – 20 мкм.

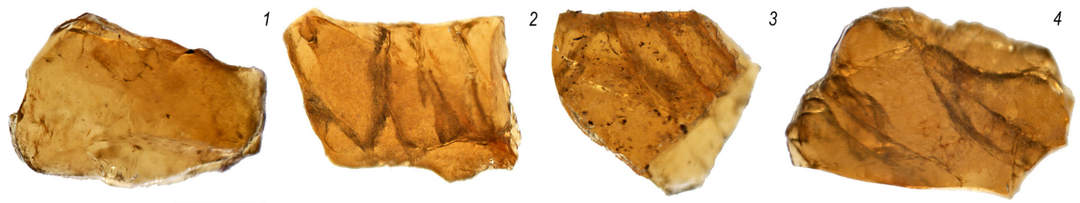


Рис. 5. Обломки янтаря из углистого прослоя в местонахождении ДСА (DSA), расположенном вдоль железной дороги в 5 км к югу от города Дуннин, провинция Хейлунцзян, Китай. Масштабные линейки 0.5 мм.

Беннеттиты – наиболее термофильная группа мезозойских растений. В.А. Красилов [7] ввел в практику палеоботанических работ цикадофитовый индекс, вычисляемый соотношением количества видов беннеттитов и цикадовых к общему количеству видов данной флоры. Значение индекса говорит о теплолюбивости флоры. Необходимо отметить, что в кластических прослоях липовецкой свиты количество беннеттитов намного возрастает и насчитывает 12 видов [6].

Несмотря на единичность находок покрытосеменных, возможных платановых, в Пореченском месторождении и разрезе ДСА (рис. 2, *12*; рис. 6, *1–6*), трудно переоценить их значимость. Середина мелового периода – время появления этой последней группы высших растений. Возникая сначала в разрозненных местообитаниях, к концу периода цветковые доминируют во флорах и растительности всего земного шара [8, 9, 31]. По мнению В.А. Красилова, покрытосеменные с самого начала своего появления показали себя как активные эксплеренты, заселяя недавно образованные участки суши, например, при отступлении моря, извержениях вулканов, пеплопадах, намыве аллювия и прочее. Появление этих растений во флорах является сигналом неблагополучия в экосистемах.

По всей совокупности данных, приходится признать уникальность палеообстановок бассейнов Раздольного, Дуннин и Лаохейшань. Только в этом регионе существовали растительные сообщества, в которых преобладали мировиевые; необычно участие нескольких видов *Mirovia* во флоре этих бассейнов. Труднообъясним феномен доминирования мировиевых (растений, характерных для высокоширотных флор) и видового богатства беннеттитов (показателей термофильности). *Tarphyderma* (Cheirolepidiaceae) и покрытосеменные также говорят о некоем неблагополучии и высокострессовых обстановках.

Известен еще один пример формирования резинитов (или, как считал А.Н. Криштофович, рабдо-

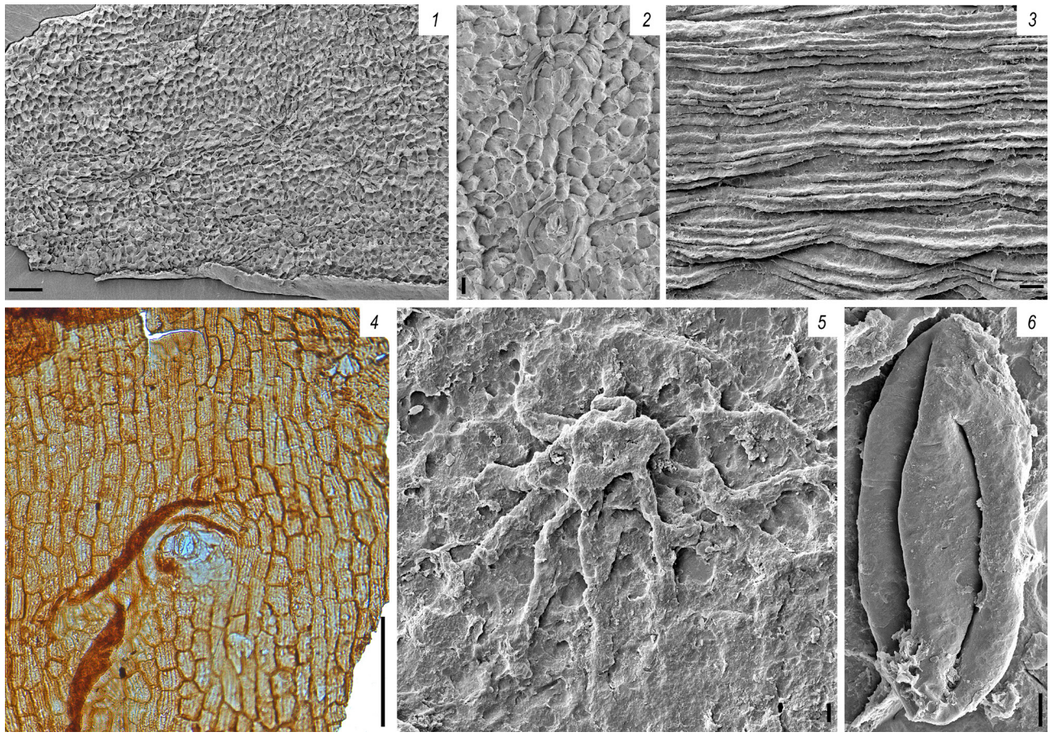


Рис. 6. Остатки покрытосеменных из углистого прослоя в местонахождении ДСА (DSA), расположенном вдоль железной дороги в 5 км к югу от города Дуннин, провинция Хейлунцзян, Китай.

1–2 – Фрагмент листовой кутикулы: *1* – нижняя поверхность кутикулы с многочисленными устьицами, вид изнутри (СЭМ); *2* – два устьица с этой же поверхности (СЭМ); *3–5* – растение, имеющее сходство с платановыми: *3* – внешняя поверхность кутикулы с хорошо выраженной стриатностью (СЭМ), *4* – кутикула с двумя устьицами с хорошо выраженной стриатностью (СМ); *5* – сложный трихом, вид снаружи (СЭМ); *6* – пыльца покрытосеменных *Tricolpites* sp., прилипшая к кутикуле (СЭМ).

Масштабные линейки: 1– 100 мкм, 2 – 20 мкм, 3 – 10 мкм, 4 – 200 мкм, 5 – 2 мкм, 6 – 2 мкм.

писситов), начало которым также дали мировиевые. Это Ткибули-Шаорское месторождение и месторождение Ткварчели Грузии юрского возраста. В углях тоже большое количество смоляных палочек (Рис. 7, *1*). Мацерация углей месторождения Ткварчели выявила доминирование *Mirovia oskolica* N. Nosova, представленной почти целыми листьями (Рис. 7, *2–5*), а также значительное участие беннеттитов. Этот вид *Mirovia* был описан из среднеюрских отложений Стойленского карьера Белгородской области, Россия [32].

Несмотря на разницу в возрасте, сходство систематического состава мезофоссилий углей Раздольненского бассейна, бассейнов Дуннин и Лаохейшань с таковым месторождения угля Ткварчели (Грузия) несомненно. По всей видимости, это обусловлено близостью палеогеографических условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что основными углеобразующими растениями липовецкой свиты Раздольненского бассейна Южного Приморья России, формации Дуннин бассейна Дуннин и формации Мулин бассейна Лаохейшань провинции Хейлунцзян Китая были разнообразные папоротники, беннеттиты *Nilssoniopteris rhitidorachis* и *Pterophyllum* sp., хвойные, среди которых доминируют мировиевые. Найдена древесина с тесно расположенными смоляными палочками, являющимися источником смолы в резинитах Раздольненского бассейна. Преобладание мировиевых в углях говорит о том, что именно остатки этих хвойных формировали резиниты этого региона.

Палеообстановки бассейнов Раздольный, Дуннин и Лаохейшань в аптском веке были уникальны, в результате были сформированы необычные смоляные

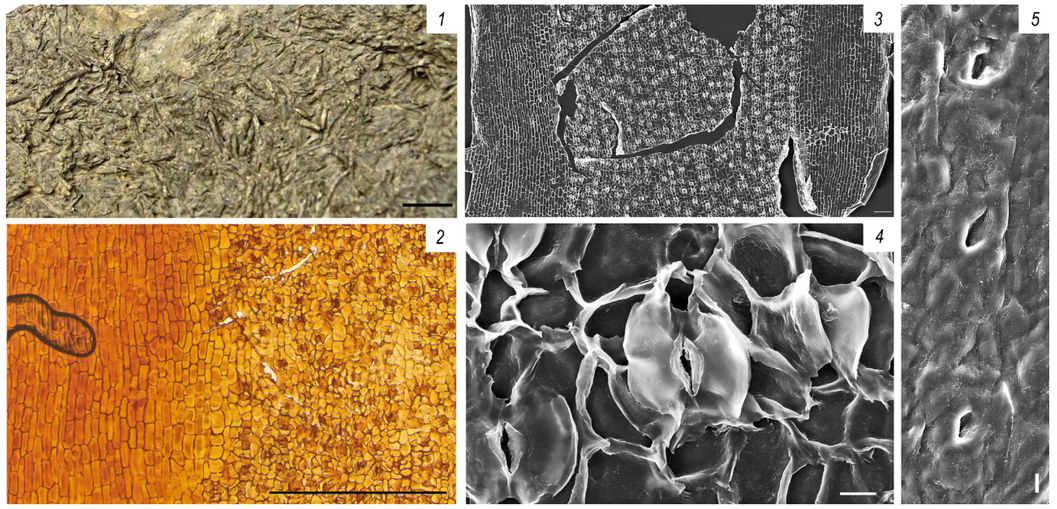


Рис. 7. Растения-углеобразователи юрского месторождения угля Ткварчели (Грузия).

1 – уголь со смоляными палочками, выставлен в экспозиции ЦНИГР Музея (г. Санкт-Петербург, Россия); 2–5 – *Mirovia oskolica* N. Nosova, обр. БИН 26/1054 из коллекции Г.В. Делле: 2 – часть нижней поверхности листа с безустьичной (слева) и срединной устьичной (справа) зонами (СМ); 3 – полная развертка нижней поверхности листа, вид изнутри (СЭМ); 4 – устьице, вид изнутри (СЭМ); 5 – три устьица, вид снаружи (СЭМ).

Масштабные линейки: 1 – 1см, 2 – 500 мкм, 3 – 100 мкм, 4 – 10 мкм, 5 – 10 мкм.

угли. Труднообъясним феномен доминирования мировиевых (растений, характерных для высокоширотных флор) и видового богатства беннеттитов (показателей термофильности). Для всех мировиевых характерны адаптации к неблагоприятным условиям существования. *Tarphyderma* (Cheirolepidiaceae) и первые покрытосеменные также говорят о высокострессовых обстановках.

Обнаруженные в разрезе ДСА мегаспоры водных папоротников *Balmeisporites* свидетельствуют о формировании формации Дуннин в водной среде с пресными или солоноватыми водоемами, развивавшимися в теплых и влажных условиях.

Интересна находка в углистом прослое разреза ДСА мелких обломков светло-желтой смолы, явно натечной формы, отличающейся от смоляных палочек углей бассейнов Раздольного, Дуннин и Лаохейшань. По всей видимости, их продуцировали хвойные Pinaceae или Taxodiaceae. Дальнейшие исследования могут прояснить природу продуцентов подобных смол. Возможно, что в аптском веке получили развитие хвойные леса, продуценты смолы, распространившиеся по всей территории современного Северо-Востока Китая и Забайкалья.

Известен еще один пример формирования резинитов, начало которым также дали мировиевые. Это Ткибули-Шаорское месторождение и месторождение Ткварчели Грузии юрского возраста. В углях также большое количество смоляных палочек. Мацерация углей месторождения Ткварчели выявила доминирование *Mirovia oskolica* N. Nosova, представленной почти целыми листьями, а также значительное участие беннеттитов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Н.П. Домре за обработку проб угля, В. Казарину за работу на электронном сканирующем микроскопе (ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН), Т.Н. Грозновой (ЦНИГР Музей имени Ф.Н. Чернышёва при Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте имени А.П. Карпинского). Исследования были поддержаны грантом РНФ No. № 24-24-00492.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугдаева Е.В., Маркевич В.С., Волынец Е.Б., Ковалева Т.А., Нечаев В.П. Раннемеловые растения–углеобразователи Раздольненского бассейна (Южное Приморье) // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Сб. науч. трудов / Ред. Е.Ю. Барабошкин, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаева, М.А. Афонин, М.В. Черепанова. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 70–72.
2. Вербицкая З.И., Дзенс-Литовская О.А., Штемпель Б.М. Меловая растительность и угли Приморского угленосного бассейна. М.; Л.: Наука, 1965. 118 с.

3. Волынец Е.Б. Апт-сеноманская флора Приморья. Статья 1. Флористические комплексы // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2005. Т. 13, № 5. С. 60–79.
4. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 9, кн. 1. М.: Недра, 1973. 691 с.
5. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 231 с.
6. Красилов В.А. Раннемеловая флора Южного Приморья и ее значение для стратиграфии. Москва: Наука, 1967. 364 с.
7. Красилов В.А. Палеоэкологический метод корреляции континентальных толщ // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Геологии. 1973. Т. XLVII, № 4. С. 37–50.
8. Красилов В.А. Меловой период. Эволюция земной коры и биосферы. М.: Наука, 1985. 239 с.
9. Красилов В.А. Происхождение и ранняя эволюция цветковых растений. М.: Наука, 1989. 264 с.
10. Криштофович А.Н. Открытие эквивалентов нижнеюрских пластов Тонкина в Уссурийском крае // Материалы по геологии и полезным ископаемым Дальнего Востока. 1921. Вып. 22. С. 1–30.
11. Криштофович А.Н. Липовецкие каменноугольные копи в Уссурийском крае // Материалы по общей и прикладной геологии. Ленинград: Геол. ком. 1928. Вып. 81. С. 1–36.
12. Носова Н.В. Род *Mirovia* Reymanowna (Pinopsida): систематика и строение листьев // Палеоботаника. 2013. Т. 4. С. 36–95.
13. Раковский В.Е., Томских С.С. Липтобиолиты. Владивосток: Издательство Дальневосточного Университета, 1985. 180 с.
14. Самылина В.А. Новые данные о нижнемеловой флоре Южного Приморья // Ботан. журн. 1961. Т. 46, № 5. С. 634–645.
15. Угольная база России. Т. V, кн. 1. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская область, Приморский край, Еврейская АО). М.: ЗАО «Геоинформарк», 1997. 371 с.
16. Шарудо И.И. Состав и условия накопления меловых угленосных отложений Суйфунского бассейна. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1965. 72 с.
17. Шарудо И.И. История позднемезозойского угленакопления на территории Дальнего Востока. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1972. 251 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР; Вып. 108).
18. Archangelsky S., Taylor Th.N. Ultrastructural studies of fossil plant cuticles. II. *Tarphyderma* gen. nov., a Cretaceous conifer from Argentina // Amer. J. Bot. 1986. V. 73, N 11. P. 1577–1587.
19. Bose M.N., Manum S.B. Mesozoic conifer leaves with `*Sciadopitys*-like` stomatal distribution. A reevaluation based on fossils from Spitsbergen, Greenland and Baffin Island // Norsk Polarinst. Skrifter. 1990. V. 192. P. 1–81.
20. Bose M.N., Manum S.B. Additions to the family Miroviaceae (Coniferae) from the Lower Cretaceous of West Greenland and Germany: *Mirovia groenlandica* n. sp., *Tritaenia crassa* (Seward) comb. nov., *Tritaenia linkii* Magdefrau et Rudolf emend. // Polar Research. 1991. V. 9, № 1. P. 9–20.
21. Bugdaeva E.V., Markevich V.S. The Coal-Forming Plants of Rhabdopissites in the Lipovtsy Coal Field (Lower Cretaceous of Southern Primorye) // Paleontological J. 2009. V. 43, N. 10. P. 1217–1229.
22. Bugdaeva E.V., Volynets E.B., Markevich V.S. The Early Cretaceous Flora of Razdol'naya River Basin (Primorye Region, the Russian Far East) // Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation. 2015. V. 4, N 2. P. 71–77.
23. Bugdaeva E.V., Markevich V.S. The Early Cretaceous coal-forming plants of southern part of East Siberia and Russian Far East // Island Arc. 2017. V. 26. e12206. https://doi.org/10.1111/iar.12206
24. Chen D., Zhang F., Tian Y., Zhou Z., Dilek Y., Chen H., Zhang K., Zhao X. Timing of the late Jehol Biota: New geochronometric constraints from the Jixi Basin, NE China // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2018. V. 492. P. 41–49.
25. Dettman M.E. Ultrastructure and biogeography of *Balmeisporites* Cookson and Dettmann, 1958 // Review of Paleobotany and Palynology. 1995. V. 89. P. 287–296.
26. HBGMR (Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources). Regional Geology of Heilongjiang Province. Beijing: Geol. Press. 1993. P. 192–215 (in Chinese).
27. Gao H.-L., Su Y.-T., Cai Ch.-Y., Azar D., Song X.-B., Lian X.-N., Huang D.-Y. Discussion on the age of the Early Cretaceous amber from the Hailar Basin, NE China // Mesozoic. 2024. V. 1, N 2. P. 192–207. DOI: 10.11646/mesozoic.1.2.11
28. Golovneva L., Bugdaeva E., Volynets E., Sun Yuewu, Zolina A. Angiosperm diversification in the Early Cretaceous of Primorye, Far East of Russia // Fossil Imprint. 2021. V. 77, N. 2. P. 231–255.
29. Gu Z., Li Z., Yu X. Lower Cretaceous Bivalves from the Eastern Heilongjiang Province of China. Beijing: Science Press. 1997. 301 p.
30. Kovaleva T.A., Markevich V.S., Sun G. Age and Palynological Characteristic of the Dongning Formation (Eastern Heilongjiang, China) // Russian J. of Pacific Geology. 2017. V. 11, N. 3. P. 178–190.
31. Krassilov V.A. Angiosperm Origins: morphological and ecological Aspects. Sofia: Pensoft. 1997. 197 p.
32. Nosova N., Lyubarova A. First data on coniferous leaves from the Middle Jurassic of the Belgorod Region, Russia // Review of Palaeobotany and Palynology. 2023. V. 317. 104949.
33. Oishi O. Notes on some fossil plants from Tunning, Prov. Pichiang, Manchoukuo // J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 4. 1935. V. 3, N. 1. P. 79–95.
34. Sha J., Matsukawa M., Cai H., Jiang B., Ito M., He C., Gu Z. The Upper Jurassic–Lower Cretaceous of eastern Heilongjiang, northeast China: stratigraphy and regional basin history // Cretaceous Research. 2003. V. 24. P. 715–728.
35. Song Y., Bechtel A., Sachsenhofer R.F., Groß D., Liu Zh.-J., Meng Q.-T. Depositional environment of the Lower Cretaceous Muling Formation of the Laoheishan Basin (NE China): Implications from geochemical and petrological analyses // Organic Geochemistry. 2017. V. 104. P. 19–34.
36. Song Y., Zhu K., Xu Y., Meng Q., Liu Z., Sun P., Ye X. Paleovegetational Reconstruction and Implications on Formation of Oil Shale and Coal in the Lower Cretaceous Laoheishan Basin (NE China): Evidence from Palynology and Terpenoid Biomarkers // Energies. 2021. V. 14. 4704. https://doi.org/ 10.3390/en14154704
37. Sun G., Dilcher D.L. Early angiosperms from the Lower Cretaceous of Jixi, eastern Heilongjiang, China // Review of Palaeobotany and Palynology. 2002. V. 121. P. 91–112.

https://doi.org/10.1016/S0034-6667(02)00083-0
38. Volynets E.B., Bugdaeva E.V., Markevich V.S., Kovaleva T.A. Lipovtsy flora of Razdolnaya (Suifun) River Basin Primorye region, Russia // Global Geology. 2016. V. 19, N. 4. P. 216–229.
39. Xu W., Wang F., Meng E., Gao F., Pei F., Yu J., Tang J. Paleozoic-early Mesozoic tectonic evolution in the eastern Heilongjiang province, NE China: Evidence from igneous rock association and U-Pb geochronology of detrital zircons. J. Jilin Univ // Earth Sci. Ed. 2012. V. 42. P. 1378–1389.
40. Zhang Z.C., Xiong X.Z. Fossil plants from the Dongning Formation of the Dongning Basin, Heilongjiang Province and their significance // Bull. Shenyang Inst. Geol. Min. Res. 1983. N 7. P. 64–94.

Рекомендована к печати
после доработки 2025 г.
принята к печати 16.01.2026 г.

COAL-FORMING PLANTS OF THE EARLY CRETACEOUS RESIN-RICH COALS OF SOUTHERN PRIMORYE (RUSSIA) AND HEILONGJIANG PROVINCE (CHINA)

E. V. Bugdaevaa[a], N. V. Nosova[b], G. Sun[c], F. Liang[c], L. B. Golovneva[b], and Y. Son[d]

[a]Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia; e-mail: bugdaeva@biosoil.ru

[b]Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia; e-mail: natanosova@gmail.com, lina_golovneva@mail.ru

[c]Paleontological Institute of Shenyang Normal University, Shenyang, China; e-mail: sunge@synu.edu.cn

[d]Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geosciences, Ministry of Education, Wuhan, China; e-mail: songyu1009@126.com

It has been established that the main coal-forming plants of the Lipovtsy Formation of the Razdolnaya Basin in southern Primorye of Russia, the Dongning Formation of the Dongning Basin and the Muling Formation of the Laoheishan Basin in the Heilongjiang Province of China were various ferns, bennettites Nilssoniopteris rhitidorachis and Pterophyllum sp., and conifers, dominated by Miroviaceae. They accumulated to form resinites in this region. The dominance of Miroviaceae (plants characteristic of high-latitude floras) and species richness of the bennettites (indicators of thermophilicity) are hard to explain. The paleoenvironments of the Razdolnaya, Dongning and Laoheishan basins in the Aptian were highly stressful, as evidenced by the dominance of Miroviaceae (which are characterized by adaptations to unfavorable existence conditions), as well as finds of Tarphyderma (Cheirolepidiaceae) and the first angiosperms. The discovery of megaspores of aquatic ferns Balmeisporites in the Dongning Formation section indicates the deposition proceeded in fresh or brackish water bodies that developed in warm and humid conditions. Small fragments of light-yellow resin were found in the carbonaceous interbed of the Dunning Formation, the producers of which were conifers Pinaceae or Taxodiaceae. It is possible that coniferous forests, resin producers, developed in the Aptian to spread throughout the territory of present-day Northeast China and Transbaikalia. A comparison of coal-forming plants of Jurassic resinites from the Tkvarcheli deposit in Georgia revealed that despite the difference in age, their ratio is the same as that of the Far Eastern resinites, that is, Miroviaceae (Mirovia oskolica) dominate with bennettites contributing significantly.

Key words: **coal-forming plants, Early Cretaceous, resinites, Razdolnaya Basin, Dongning Basin, Laoheishan Basin.**