



На западном берегу Нила в Луксоре, в «Долине вельмож», расположена Фиванская гробница № 23. Ее соорудили для Чаи, писца царской корреспонденции при дворе царя Меренптаха (XIX династия). С 2006 г. Центр египтологических исследований РАН начал длительные работы в Луксоре по расчистке, изучению и консервации данного исторического памятника. К сегодняшнему дню результаты полученных исследований носят пока еще предварительный характер, однако уже уверенно позволяют сделать первичные важные выводы об истории данной гробницы и всего Фиванского некрополя.

Редакция осуществляет продажу отдельных номеров журнала и подписку на него

Адрес редакции: 119049, Москва, ГСП-1, Мароновский пер, 26. Тел./факс: 8-499-238-43-10 www.ras.ru E-mail: naukaross@naukaran.ru

Издательство «Наука»: 117997, ГСП, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

Формат 60x90/8. Бум. л. 7.0. Усл.-печ. л. 14.0. Уч.-изд. л. 14.1

Отпечатано в ППП «Типография "Наука"», 121099, Москва, Шубинский пер., 6

Свидетельство о регистрации № 014399 от 26.01.1996 г.

Подписано в печать 30.12.2013. Заказ № 1938. Выход в свет 23.01.2014 Тираж 375 экз. Цена свободная

© Российская академия наук, Президиум, «Наука в России», 2014



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ. ПОИСК. РЕШЕНИЯ

| | |
|--|----|
| Коновалов А. Наноассоциаты — территория непознанного | 4 |
| Крикалёв С., Крючков Б., Курицын А. На пути к Марсу | 11 |
| Дядюченко В., Павлюков Ю., Вылегжанин И. Доплеровские радиолокаторы в России | 23 |
| Леонова Г., Бобров В., Богуш А., Мальцев А. Сапропели: богатства со дна озёр..... | 28 |

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

| | |
|--|----|
| Барелко В., Дроздов М., Кузнецов М. Почему взорвался Челябинский метеорит? | 36 |
|--|----|

ИСТОРИЯ НАУКИ

| | |
|--|----|
| Вехов Н. Первооткрыватель Урала | 40 |
| Иевлев А. Академическая миссия на Печоре | 46 |
| Терюков А., Салмин А. Основатель этнографических коллекций Кунсткамеры..... | 53 |

ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

| | |
|---|----|
| Хализева М. Во всем в жизни — по максимуму | 57 |
| Базанов С., Олейников А. Они ковали «щит» и «меч» русской армии | 66 |

ПУТЕШЕСТВИЯ ПО МУЗЕЯМ

| | |
|--|----|
| Нишанбаев Т. Минеральные богатства Ильменских гор..... | 74 |
| Игнатьева Л. Природное наследие Центральной Сибири | 82 |

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

| | |
|---|-----|
| Иванов С. Фиванская гробница Чаи в Луксоре | 97 |
| Яковлев Р. Российские энтомологи в Африке..... | 107 |

ПАНОРАМА ПЕЧАТИ

| | |
|--|----|
| Уран, торий и энергетика будущего | 19 |
| Сланцевый и водорастворенный газ: технологии добычи | 92 |

САПРОПЕЛИ: БОГАТСТВА СО ДНА ОЗЕР

Доктор геолого-минералогических наук Галина ЛЕОНОВА,
кандидаты геолого-минералогических наук
Владислав БОБРОВ и Анна БОГУШ,
младший научный сотрудник Антон МАЛЬЦЕВ,
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

**Сапропель (с греч. — «гниющий ил») —
вещество преимущественно биологического происхождения.
Эти донные отложения, являющиеся ценным сырьем
для разнообразного применения в сельском хозяйстве, промышленности,
медицине, давно привлекают внимание исследователей,
но, к сожалению, пока широко не используются
из-за недостаточной изученности их месторождений, условий формирования,
генезиса, классификации и химического состава.**

В ЛАБОРАТОРИИ ПРИРОДЫ

Благоприятные места для образования сапропелей — стоячие или застаивающиеся водоемы, т.е. озера или пруды, старицы медленно текущих рек, спокойные участки морского побережья. Исходным материалом при этом служат остатки планктона, бентоса (организмов, обитающих на дне и в грунте), водорослей, макрофитов (водных растений), а

также поступающие с водосбора органические (гумусовые) и неорганические минеральные (глина, песок) вещества. Преобразование их в сапропель происходит под воздействием биохимических, микробиологических, механических и физико-химических процессов.

Генетически сапропелям близки торфы, но первые отличаются своей тонкой структурой. Суще-



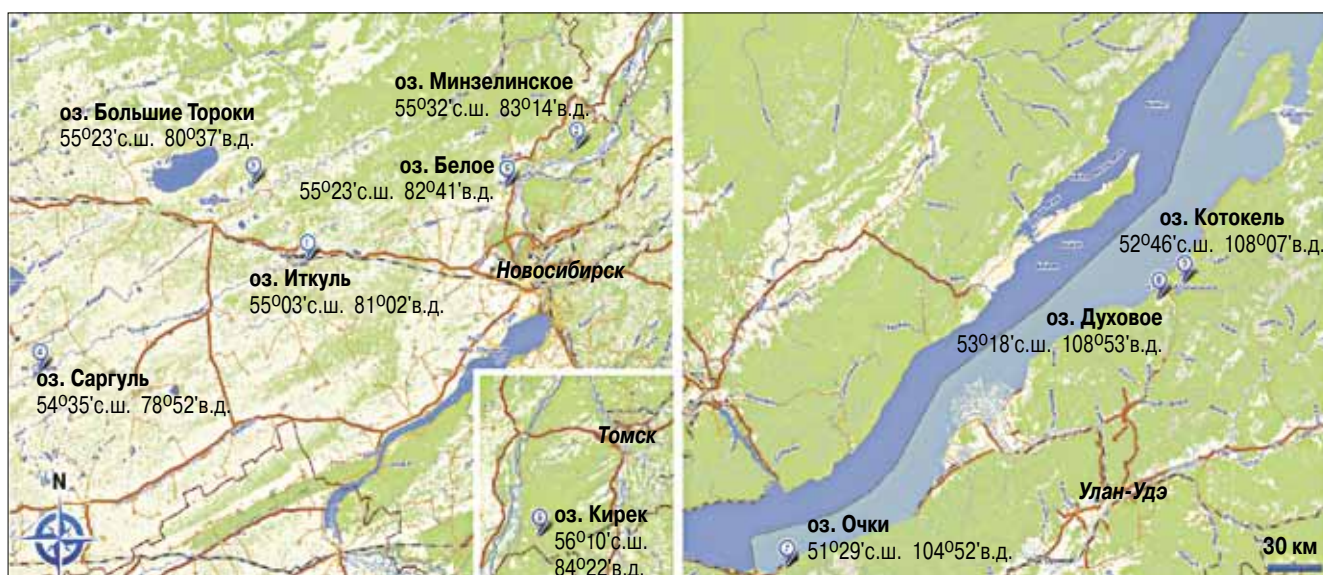
ствуют также биогенные отложения, переходные между ними — торфянистые сапропели: они характерны для неглубокой зарастающей макрофитами литорали (прибрежной зоны) озер и содержат значительное количество остатков не вполне разложившейся высшей водной и наземной растительности. Известный отечественный специалист в области биостратификации доктор биологических наук Нина Кордэ в монографии, опубликованной в 1960 г., типизируя сапропели, выделяет содержащие свыше 50% органики и обедненные (5–50% от состава).

Большое значение в образовании органического вещества сапропелей имеет фито- и зоопланктон — совокупность мелких растительных и животных организмов, обитающих в толще воды. Но для того, чтобы та или иная их систематическая группа приняла заметное участие в формировании органических осадков, она должна, во-первых, иметь условия для нормального развития в водоеме, во-вторых, сохраняться в донных отложениях в виде неразложившейся органики, хитиновых покровов, кремниевых или карбонатных створок и пр. Разнообразие видов планктонных организмов, а также массовое развитие индивидуумов какого-то одного вида может характеризовать определенные физико-химические условия среды данного водоема. Так, синезеленые водоросли (цианофицеи) развиваются

в аэробной среде теплых и неглубоких озер с повышенным содержанием органики и образуют цианофицейные сапропели, богатые неразложившимся органическим веществом. По данным одного из авторов данной статьи Галины Леоновой именно они формируются в настоящее время, например, в двух малых озерах Прибайкалья и Забайкалья — Духовом и Котокеле.

Наряду с планктоном большую роль в образовании органического вещества озерных сапропелей играют макрофиты (уруть, рдесты, наяда и др.), присутствующие в литорали или покрывающие всю поверхность дна неглубоких озер, тем самым превращая его в своеобразный подводный луг.

Формирование сапропелей, впрочем, как и торфа, по мнению немецкого палеоботаника и геолога Генри Потонье, высказанному более века назад, требует длительного времени, что подтвердили и современные инструменты анализа. Так, датирование озерных отложений сибирского региона радиоуглеродным методом (по изотопу ^{14}C), выполненное кандидатом геолого-минералогических наук Любовью Орловой (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН), показало, что они накапливались на протяжении голоцена ($\approx 12\ 000$ лет) — в целом это эпоха повышенного увлажнения. В исследованных нами озерах Западной Сибири сапропели начали формироваться в разное



Карта-схема опробованных малых озер Западной и Восточной Сибири.

время: например, в о. Кирек (Томская область) — в начале указанной эпохи (10 700 лет назад), в озерах Минзелинское, Большие Тороки и Белое (Новосибирская область) — в среднем голоцене, соответственно 6700, 6600 и 3400 лет назад. В целом скорости их накопления в озерах сибирского региона в XX в. оценены одним из авторов данной статьи Владиславом Бобровым на основе датирования возраста верхних 10-см слоев сапропеля по изотопам ^{37}Cs и ^{210}Pb . Как выяснилось, они довольно низкие и изменяются в пределах 0,7–1,5 мм/год, например, в о. Белом $\approx 0,7$ мм/год, в о. Кирек $\approx 1,0$ мм/год, в озерах Очки и Духовое (Прибайкалье и Забайкалье) $\approx 0,8$ и $\approx 1,5$ мм/год соответственно.

ДВА АСПЕКТА

Отметим, что донные органические осадки накапливаются в большинстве озер гумидной зоны Земли и в некоторых морях (Средиземном, Черном и др.), а потому являются объектом фундаментальных и прикладных исследований во всем мире. Теоретический интерес к ним обусловлен предположением ряда ученых, что сапропелевые отложения дали в геологическом прошлом материал для образования углеродистых осадочных пород — черных и горючих сланцев, палеозойских матовых углей, битуминозных глинистых сланцев. По мнению отечественного палеоботаника члена-корреспондента АН СССР Михаила Залесского, скопления зеленых (протококковых) водорослей стали основой формирования древних биолитов — Черемховского сапропелевого угля «черемшита» и угля Касьяновского месторождения «касыянита» (Иркутская область). Большинство специалистов, поддерживающих гипотезу органического происхождения нефти, полагают, что исходной основой для ее образования служил планктон, обеспечивавший наибольшую биопродукцию

в морских палеобассейнах. Древние отложения подобного рода рассматриваются сторонниками этой гипотезы как нефтематеринские свиты, к таким относятся, в частности, баженовская свита в Западной Сибири, органическое вещество которой представлено почти исключительно сапропелевым планктоногенным материалом.

Академик Алексей Конторович (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН) в своих работах констатирует, что количество биогенного кремнистого и углеродистого (планктоно- и бактериогенного) материала в разрезах баженовской свиты в центральной части бассейна превышает 50%. В составе отложений куонамской свиты кембрия на востоке Сибирской платформы (морские сильнобитуминозные отложения нижнего-среднего кембрия), по данным доктора геолого-минералогических наук Фабиана Гурари (Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья), также преобладает планктоногенное органическое вещество.

Стратиграфию разрезов озерных сапропелей, сформировавшихся в период голоцена, специалисты используют в теоретических палеорекострукциях отклика водных экосистем на изменения климата. Подобные исследования проводят в Прибайкалье и Забайкалье доктор геолого-минералогических наук Сергей Кривоногов (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН) и доктор биологических наук Елена Безрукова (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН).

В прикладном аспекте озерные сапропели издавна привлекают внимание ученых и практиков как ценное органическое и органо-минеральное сырье для различных отраслей экономики. Нина Кордэ в монографии «Биостратификация и типология русских сапропелей» приводит краткий исторический



**Буровая установка
готова к бурению скважины
на озере Котокель,
где был получен керн
длиной 14 м.**

обзор изучения и использования этих донных осадков, начавшегося в конце XIX — начале XX в. Так, в 1919 г. в Российской академии наук был создан Сапропелевый комитет при Комиссии по изучению производительных сил, которым за последующие 12 лет был выполнен большой объем научно-исследовательских и прикладных работ по применению сапропелей в сельском хозяйстве, ветеринарии, отраслях промышленности, медицинской практике и бальнеологии. В 1931 г. в Ленинграде была организована Сапропелевая лаборатория, положившая вместе с Биогеохимическим отделом АН СССР начало Сапропелевому институту, изучавшему условия генезиса и возможности химико-технологического использования этого сырья. На его базе в 1934 г. был создан Московский институт горючих ископаемых АН СССР. И только открытие и разработка богатых нефтяных месторождений Сибири приостановили в нашей стране развитие химической переработки сапропелей. Правда, в настоящее время интерес к ним возродился.

ОТ УДОБРЕНИЙ ДО ЛЕКАРСТВ

Области же применения этих органогенных осадков и продуктов их переработки очень широки. Перечислим хотя бы часть из них. Из сапропелевых отложений производятся высококачественные органоминеральные удобрения, пригодные для всех типов почв и видов растений с целью увеличения содержания в почве гумуса, азота и микроэлементов. Сапропели повышают плодородие почвы, улучшают ее механическую структуру, снижают избыточную кислотность, увеличивают содержание в почве подвижных форм фосфора и калия.

Урожайность зерновых, овощей и корнеплодов после внесения этого натурального биостимулятора возрастает на 40–50%. Удобрения на такой основе обладают рядом преимуществ по сравнению, например, с компостами животного происхождения, поскольку не содержат семян сорных растений, не заражены болезнетворными бактериями и флорой. В отличие от многих химических удобрений экологически чистый сапропель не оказывает вредного токсичного воздействия на людей и животных, а наоборот, сокращает содержание нитратов, нитритов, солей, тяжелых металлов. Благодаря замедленной растворимости биоактивных веществ обеспечивает сбалансированное питание растений всеми биогенными элементами.

Перспективны сапропели и для минимизации вредного влияния отходов промышленных производств на почвы. Содержащиеся в органогенных осадках гуминовые кислоты образуют прочные соединения с ионами металлов и, следовательно, служат мощным геохимическим барьером для потенциально опасных веществ.

Применяются сапропели и в виде минерально-витаминных добавок в комбикорма, а также при получении гранулированных их видов на основе травяной муки, выполняя при этом связующую роль и выступая антиокислителем биологически ценных компонентов.

Что же касается организма человека, то сапропели и препараты на их основе положительно влияют на нервную, эндокринную, сердечно-сосудистую системы, улучшают состояние опорно-двигательного аппарата, стимулируют процессы метаболизма в печени. Присутствие в сапропелях антибиотиков и



Очередной фрагмент керна сапропеля поднят, его готовят к герметичной упаковке.

отсутствие патогенных микроорганизмов обеспечивают быстрое прекращение воспалительных процессов и хорошее излечение экзем, дерматитов, ожогов за счет усиления фагоцитарной активности лейкоцитов в крови, регенерации ткани. Успешно лечатся различные флегмоны, маститы, фурункулезы, хронические гастриты, язвенные болезни желудка и двенадцатиперстной кишки.

Среди технологических направлений переработки сапропелей традиционны термические, термохимические (полукоксование, термическое растворение, скоростной термолиз) и химические (экстрагирование, гидролиз, окисление) методы. Деготь, фенолы, аммиак, ацетон и газообразные продукты (H_2S , CH_4 , N_2 и др.), а также углеродные материалы и сорбенты широкого спектра, применимые для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и любой твердой поверхности, очистки сточных вод и т.д. — таково разнообразие веществ, получаемых в результате термохимического воздействия на исходное сырье.

ИЗУЧЕНИЕ ТОЛЬКО НАЧИНАЕТСЯ

Современное состояние изученности сапропелевых залежей в целом по России и регионам недостаточно — около 2%. В настоящее время можно говорить лишь о прогнозных запасах, установленных по числу озер и среднестатистическим данным о мощности их отложений. Доктор химических наук Георгий Плаксин (Омский государственный университет) в статье «Термохимическая переработка озерных сапропелей: состав и свойства продуктов» приводит краткий обзор имеющихся данных, согласно которым запасы сапропелей с естествен-

ной влажностью в России по разным источникам оцениваются от 38 до 250 млрд м^3 . А вот сведения специализированного геолого-разведочного предприятия «Торфгеология»: на 1 января 1990 г. общие предполагаемые их ресурсы на территории Российской Федерации определены в 91 млрд т, в том числе в Северном экономическом районе сосредоточено 31,5, Западно-Сибирском — 17,2, Восточно-Сибирском — 14,5, Дальневосточном — 12,8 и Уральском — 7,9 млрд т.

В озерах Западной Сибири сосредоточены огромные их залежи, но запасы практически неизвестны, геологическая разведка проведена для ограниченного числа водоемов. По данным Георгия Плаксина, 300000 больших и малых озер Тюменской области содержат предположительно 1398,7 млн т сапропеля. В Новосибирской области разведанные запасы определяются в 25 млн м^3 , а предполагаемые — в 2,5 млрд м^3 , в Омской области — 300–350 млн м^3 .

На территории Западной Сибири ведущим предприятием по добыче сапропеля и единственным в России по его переработке является компания «Вега-2000-Сибирская органика» (г. Омск). Ее сотрудниками определен химический состав осадков ряда озер, проведена их сертификация и получены гигиенические паспорта. Экспериментально и в производственных опытах изучены безвредность и целесообразность использования омских сапропелей в качестве кормовой добавки для птицы, свиней и крупного рогатого скота. Эта фирма также производит сорбенты для сбора нефти и нефтепродуктов с водной поверхности. Что касается исследований, ведущихся в научных учреждениях, то назовем Институт проблем переработки углеводов СО РАН



Отбор проб продуцентов органического вещества — планктона и макрофитов на озере Кирек.

(г. Омск): методами окисления и терморастворения здесь из сапропелей получают жидкое топливо, фенолы и ряд других продуктов.

В Томской и Новосибирской областях озерные сапропели почти не изучены и не используются в практических целях, за редким исключением. Так, производственная компания «Фортуна» в о. Кирек ведет их добычу для целей медицины и бальнеологии. Комплексные исследования химического, биохимического и микробиологического составов сапропеля этого озера проведены сотрудниками Института курортологии СО РАН. А в Новосибирской области компания «Сапропель» добывает и перерабатывает сырье о. Белого.

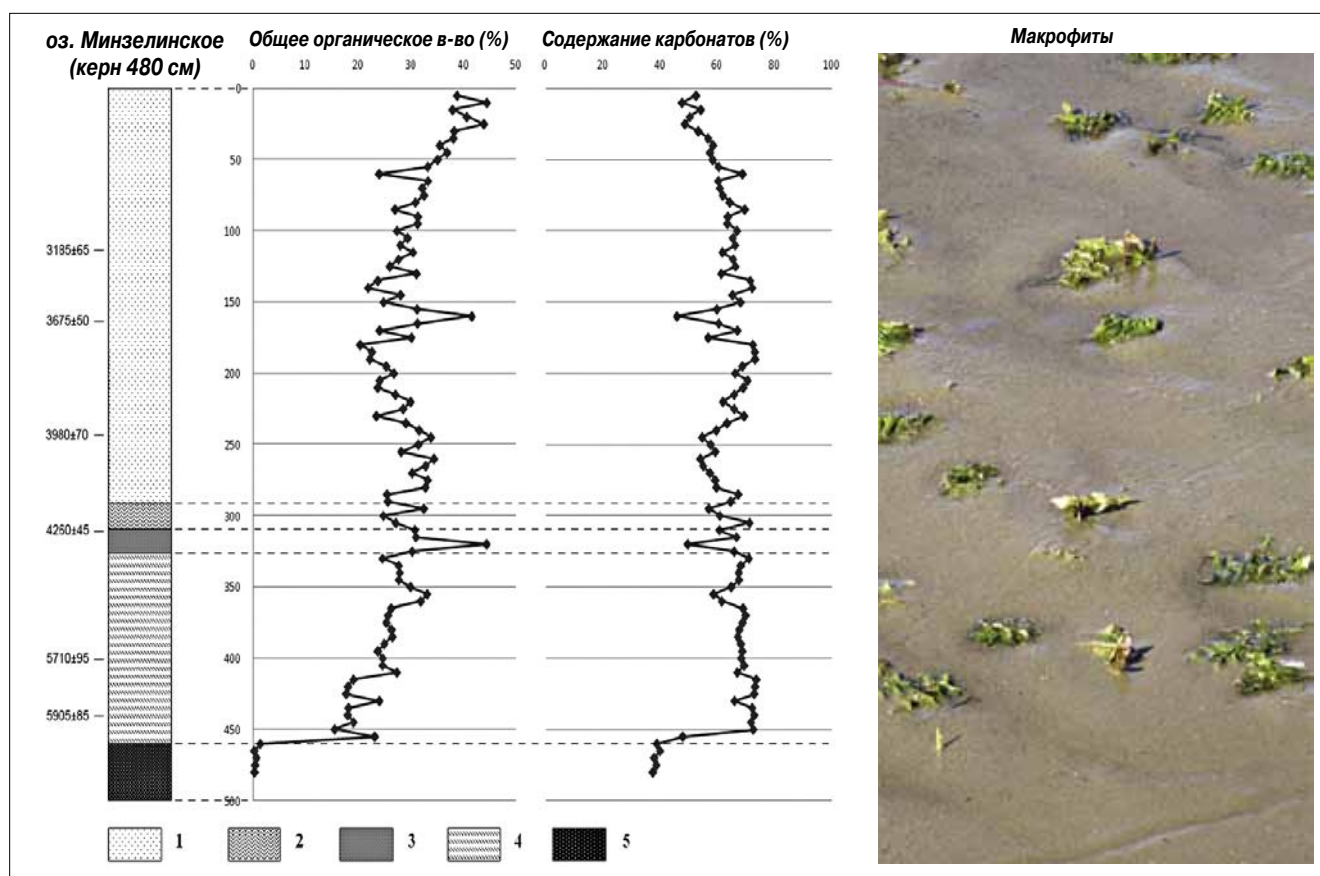
БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Физико-географические условия юга Западной Сибири благоприятны для образования сапропелей — плоский слаборасчлененный рельеф, незначительный уклон на север, относительно теплый климат, избыток влаги наряду с процессами выветривания и размыва обеспечивают поступление в озера достаточного количества биогенных компонентов. Большинство этих водоемов мелкие, слабопроточные или непроточные, с накоплением в донных осадках органики и железа, что характерно для гумидной зоны. Климатические условия южного Прибайкалья, и, в частности, предгорной полосы между северным фасом хребта Хамар-Дабан и о. Байкал, где понижения рельефа заняты озерами и болотами, довольно мягкие.

Комплексные биогеохимические исследования сапропелей малых озер сибирского региона проводятся авторами настоящей статьи с 2004 г. В За-

падной Сибири предметом нашего интереса стали шесть сапропелевых озер: Белое, Минзелинское, Большие Тороки, Иткуль, Саргуль (Новосибирская область) и Кирек (юг Томской области). В Прибайкалье — два озера: Очки и Духовое, в Забайкалье — о. Котокель. Проходку скважин мы проводили в летнее время с понтона. Методом ударного бурения получены ненарушенные керны сапропелей диаметром 7,5 см и длиной от 3,5 до 14 м. После доставки в лабораторию их фрагментировали по 2,5 или 10 см, определяли плотность и влажность, затем высушивали и гомогенизировали, при необходимости превращали в золу при температуре 450° С в муфельной печи. Подготовленные по единой методике образцы анализировали комплексом современных высокочувствительных методов на широкий круг химических элементов (порядка 55) в аккредитованном Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН и в лабораториях Сибирского научного центра, имеющих международные сертификаты.

Надо признать, что типизация озерных отложений на основании изучения компонентного состава их органической части пока недостаточно разработана. На наш взгляд, из всех известных их классификаций наиболее обоснована генетическая, предложенная Ниной Кордэ. Взяв за основу ее подход (использование биологических и химических показателей, характеризующих вероятные условия былого осадкообразования), мы разрабатываем биогеохимическую типизацию сапропелей малых озер сибирского региона — выделяем биологические типы на основе выявления генезиса органического вещества, а также используя неко-



Литостратиграфия керн сапропеля озера Минзелинское: 1 (0–291 см) — макрофитогенный сапропель; 2 (291–307 см) — торфянистый сапропель; 3 (307–318 см) — торф со скоплением раковин гастропод; 4 (318–460 см) — торфянистый сапропель с раковинами гастропод; 5 (460–500 см) — песок.

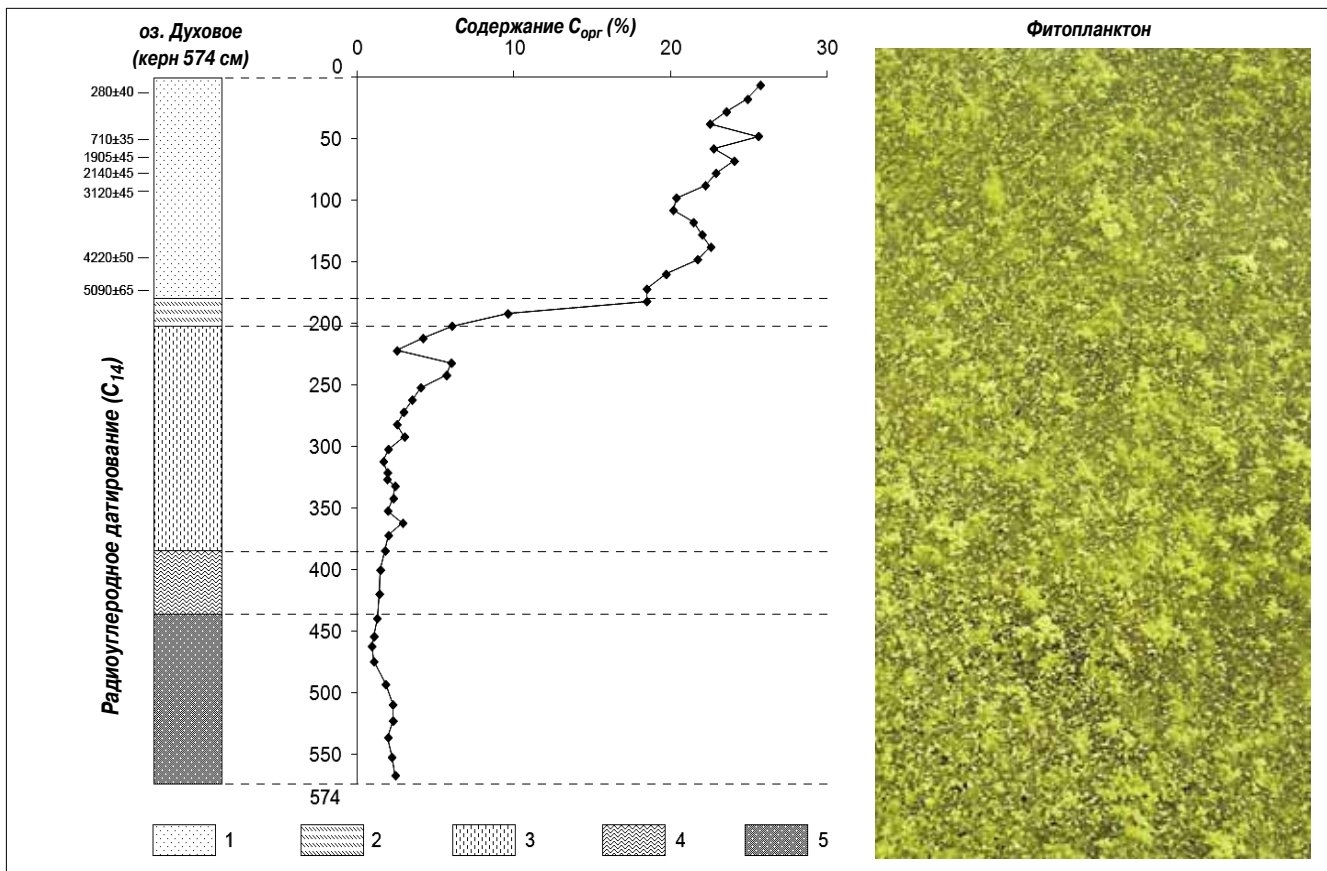
торые важные характеристики химического состава (зольность, содержание кальция, железа и др.).

По биологическим показателям мы выделяем планктоногенный (основной продуцент автохтонного органического вещества — планктон) и макрофитогенный (основной продуцент того же вещества — макрофиты) типы сапропелей. В первую очередь изучаем современный озерный биоценоз, а в нем — доминирующие виды сапропелеобразователей, дающих наибольшую биомассу. Генезис захороненной (фоссилизированной) органики устанавливаем по отношению углерода к азоту ($C_{орг}/N$), косвенно указывающего на генетическую связь осадков с исходным материалом: либо планктоном и макрофитами, либо наземной растительностью.

На основании обобщения данных многолетних исследований нами сделано предварительное заключение, что различия физико-географических и климатических условий обуславливают формирование в настоящее время в малых озерах Прибайкалья и Забайкалья преимущественно планктоногенных сапропелей (Духовое, Очки, Котокель), а в озерах юга Западной Сибири — макрофитогенных (Белое, Большие Тороки, Минзелинское). В о. Кирек (Томская область) формируются два типа сапропе-

лей: в центре водоема в его глубоководной части (7 м) — планктоногенный, а в прибрежной до глубины 5 м — макрофитогенный. Детальное изучение литостратиграфии залежей позволило нам получить ясное представление о генезисе органического вещества слоев, сформировавшихся в разные временные интервалы голоцена.

Внутри двух биологических типов сапропелей исследованных озер мы выделяем три биогеохимические разновидности осадков. Первая из них — макрофитогенный высококальциевый низкожелезистый сапропель с низким содержанием органического вещества и высокой зольностью, вторая — планктоногенный низкокальциевый высокожелезистый сапропель с довольно высоким содержанием органического вещества и средней зольностью и третья — планктоногенный низкокальциевый низкожелезистый (Fe не более 3%) сапропель с низкой зольностью и высоким содержанием общего органического вещества. Формирование этих трех разновидностей во многом обусловлено химическим составом, физико-химическими условиями озерных вод и продуцентами органического вещества (планктон, макрофиты, растения-торфообразователи).



Литостратиграфия керн донных осадков озера Духовое: 1 (0–180 см) – планктоногенный сапропель; 2 (180–205 см) – глинистый ил, рыхлый темный; 3 (205–393 см) – глинистый ил, плотный серо-сизый; 4 (393–445 см) – темно-серые глины; 5 (445–574 см) – опесчаненные глины.

Рассматривая вопросы фундаментального характера, нельзя обойти стороной и экологический аспект, в частности, влияние антропогенного (техногенного) фактора на изменение химического состава озерных сапропелей. В целом исследованные нами озера находятся в фоновых, т.е. без экстремальных проявлений, районах. Но общее глобальное загрязнение атмосферы в XX в. группой халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, As, Sb и др.), вовлекаемых в атмосферный перенос (зачастую дальний) в составе аэрозолей и пыли, отражается на химическом составе верхних горизонтов озерных сапропелей. При выпадении на землю в составе дождя эти элементы активно включаются в процессы биодифференциации живым веществом. На границе раздела атмосфера-вода в малых озерах планктон играет роль своеобразного биофильтра, вовлекая химические элементы в биологический круговорот. На этом барьере планктон накапливает подвижные в водной среде халькофильные элементы, а затем при отмирании в составе детрита они поступают в верхние горизонты сапропелей. Однако следует отметить, что концентрации техногенных халькофильных элементов в поверхностных слоях озерных осадков в целом не превышают региональных фоновых значений,

поэтому такие сапропели пригодны к использованию в разных областях экономики.

И в заключение. Результаты биогеохимических комплексных исследований, частично изложенные в настоящей статье, могут стать фундаментом для разработки практических рекомендаций по рациональному использованию сапропелевых месторождений сибирского региона и позволят ответить на многие актуальные вопросы по истории и условиям формирования донных осадков в геологическом времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 04-05-65168, 08-05-00392, 11-05-00655, 11-05-12038) и Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 125.

Иллюстрации предоставлены авторами