



МОСКОВСКИЙ

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**РЕДАКЦИОННЫЙ
С О В Е Т**

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.В. ХРОНИН

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

*ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА*

*ректор МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик РАН

профессор

академик РАН

академик РАН

С.М. ШТИН

ОЗЕРНЫЕ САПРОПЕЛИ И ИХ КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ

*Под редакцией профессора
И.М. Ялтанца*



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

2 0 0 5

Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / Под ред. И.М. Ялтанца. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. — 373 с.: ил. — ISBN 5-7418-0216-8 (в пер.)

Рассмотрены вопросы образования, распространения и залегания сапропелевых отложений. Представлены минеральный и химический состав сапропелей, их водно-физические, структурно-механические и реологические свойства. Дана подборка наиболее значимых месторождений сапропеля на территории европейской части России. Предложена теория классификации сапропелевых месторождений. Проанализированы различные технологические схемы комплексов и даны рекомендации по совершенствованию технологии добычи сапропелей и технических средств. Изложены результаты исследований, направленных на повышение эффективности гидротранспортных систем. Рассмотрены конструкции новых устройств для добычи и различные технологии внесения и переработки сапропелей. Затронуты вопросы развития сапропелевой промышленности России на основе использования сапропеля для рекультивационных работ в горной промышленности.

С.М. Штин — кандидат технических наук.

Для горных инженеров, геологов, гидрогеологов, грунтоведов, специалистов сельского хозяйства, а также студентов и аспирантов горных вузов и факультетов.

Табл. 66, ил. 86, список лит. — 85 назв.

УДК 622.553.973

ПРЕДИСЛОВИЕ

Более восьмидесяти лет назад академик И.М. Губкин говорил, что правильной постановке сапропелевого дела нужно придавать государственное значение и что в России может развиваться большая сапропелевая промышленность, которая будет поставлять ряд ценных продуктов не только для потребления внутри страны, но и на экспорт.

По данным геологоразведочных работ, изучения и классификации сапропелевых месторождений получены результаты исследований и опытов по переработке и использованию сапропеля в разных областях народного хозяйства. Однако на сегодняшний день сапропель остается, по существу, неоправданно не востребованным полезным ископаемым.

Грамотное решение сапропелевой проблемы и широкое использование уникальнейшего ископаемого в сельском хозяйстве, медицине, ветеринарии (в витаминно-минеральной подкормке сельскохозяйственных животных) и промышленности стройматериалов, по мнению исследователей, неизбежно приведет к большой и быстрой отдаче, к получению наибольшего экономического эффекта в рассматриваемых направлениях.

В книге содержатся ценные исторические сведения, рассматриваются проблемы освоения обводненных сапропелевых месторождений, обращается внимание на необходимость изыскания и внедрения усовершенствованных технологий и технических средств, способствующих экономически выгодному хозяйственному освоению многочисленных озерных сапропелевых месторождений России.

Автором впервые проведены в таком объеме анализ и систематизация имеющихся научных и практических достижений в области разработки озерных сапропелевых месторождений с использованием средств гидромеханизации как наиболее перспективного способа производства горных работ.

Автор книги как непосредственный участник эксплуатации сапропелевых месторождений со знанием дела привел описание всех основных технологических процессов разработки озерных сапропелевых месторождений.

С учетом производственного опыта для разработки обводненных месторождений сапропеля рекомендуется использование новых гидромеханизированных комплексов, обеспечивающих требования тер-

риториальных органов по комплексному использованию и охране водных ресурсов.

Данная книга доступна для понимания не только специалистам, но и широкому кругу читателей. Она может быть использована как учебное пособие для студентов и аспирантов вузов горно-геологического профиля.

В целом книга является трудом, обобщающим некоторые известные научные и практические достижения в области гидромеханизированной разработки обводненных сапропелевых месторождений. В книге представлены также опубликованные научные результаты личных исследований автора.

Председатель редакционной коллегии по проблемам гидромеханизации, доктор технических наук, профессор Московского государственного горного университета

 И.М. Ялтанец

ВВЕДЕНИЕ

Разработка сапропелевых ресурсов отмирающих озер является насущной задачей сегодняшнего дня. Решение этой задачи диктуется не только дефицитом источников органического сырья, но и необходимостью восстановления отмирающих озер для хозяйственных и других целей. Разнообразие условий залегания сапропелей, широкий диапазон физического состояния залежей, большое различие по размерам площадей залегания и другие факторы требуют дифференцированного подхода к выбору технологий добычи, транспорта и первичной переработки сырья.

Первые сведения о сапропелевых отложениях были получены в начале XX в. и принадлежат геологам, лимнологам и гидробиологам, которые столкнулись с этими своеобразными донными отложениями при исследовании озер и болот.

Интерес к сапропелям резко возрос в начале 20-х гг., когда ими заинтересовались химики и энергетики. После того как химические анализы и сухая перегонка балхамита дали большой выход смолы, богатой бензиновыми и парафиновыми углеводами, сапропели стали считаться новым видом энергетического и технического сырья. Возник интерес к проблеме происхождения горючих ископаемых, а также встал вопрос о месте сапропеля в генетическом ряду каустобиолитов.

В 1919 году в системе Академии наук был создан Сапропелевый комитет, на который возложили обязанности по всестороннему изучению сапропелей, разведке ресурсов и разработке способов их использования.

Издавался целый ряд научных трудов, где описывались разведанные сапропелевые месторождения СССР, приводились данные по их физической, химической, биологической характеристике и был поставлен вопрос о возможности технической переработки сапропелей. Организованный в 1931 году в Ленинграде Сапропелевый институт АН СССР обратил основное внимание на изучение генезиса и возможности химико-технологического использования сапропелей. Затем на базе Сапропелевого института был создан Московский институт горючих ископаемых АН СССР, куда входила Лаборатория генезиса сапропелей.

После Великой Отечественной войны работу по комплексному изучению сапропелевых отложений продолжила Лаборатория сапропелевых отложений Института леса АН СССР.

Многие исследователи изучали в различных направлениях процесс осадкообразования и физико-химические свойства сапропелей. Исследовались поглотительная способность иловых озерных отложений, водоотдача сапропелей. Определялись параметры удельной теплоемкости скелета сапропелей, теплопроводность мерзлых сапропелей. Рассматривались вопросы теории и практики строительства на слабых водонасыщенных грунтах. Определялись закономерности распространения сапропелевых отложений. Разработаны схемы гидрологической классификации и районирования озер России на основе соотношения составляющих водного баланса озер. Рассмотрены закономерности размещения озер на территории Восточно-Европейской равнины и Кольско-Карельского массива с учетом происхождения и развития озерных котловин. В 1964 г. Институтом географии АН СССР и институтом «Гипроторфразведка» выпущен справочник «Сапропелевые месторождения СССР».

В 70—80 гг. усилиями Института торфа АН БССР и ВНИИГИМа разрабатываются технологические схемы и рекомендации по добыче и обезвоживанию сапропеля. Определяются рациональные направления использования сапропеля в народном хозяйстве. На базе Санкт-Петербургского государственного горного института разработано научное обоснование новых технологий и оборудования для добычи сапропелей и производства на их основе продукции различного назначения. Изучаются проблемы эколого-экономического освоения сапропелевых ресурсов и разработки общих принципов технической эксплуатации месторождений с учетом охраны озер от загрязнений и истощений. Ведется рядом производств внедрение результатов научно-исследовательских разработок в практику путем налаживания опытных и промышленных производств по добыче сапропелей и производству различных видов продукции на их основе. Немногочисленные публикации по этому вопросу рассредоточены в различных трудах, и это обстоятельство не способствует широкому познанию о сапропеле и его использованию в народном хозяйстве.

Настоящая работа является попыткой обобщения имеющихся отечественных исследований и накопленного практического опыта по разработке обводненных месторождений сапропелей в связи с необходимостью комплексного подхода к решению проблемы охраны и использования природных ресурсов.

Автор далек от мысли, что его работа является исчерпывающим решением рассматриваемой проблемы, и поэтому будет весьма признателен за критические замечания и пожелания.

— *Глава 1* —

**ИНЖЕНЕРНО ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ
САПРОПЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

1.1. Образование сапропелей

Сапропели являются донными озерными отложениями и образуются из следующих основных компонентов: минеральных примесей привносного характера, неорганических компонентов биогенного происхождения, органического вещества отмерших водных растений и организмов, обитающих в воде озера, населяющих его дно и берега.

Количество минеральных наносов особенно велико в начальных стадиях развития озер. Затем, по мере распространения прибрежной растительности и выполаживания склонов, количество минеральных наносов уменьшается. Большое значение в формировании донных отложений имеют степень проточности озера, величина и характер водосбора. Обилие притоков, несущих с собой взвешенные минеральные частицы, сильно увеличивает минеральную часть озерных отложений, осаждающихся в спокойных водах озера. Чем меньше размеры озера, тем больше сказывается влияние проточности и сноса минеральных частиц с его берегов. Размеры водосбора и эродированность поверхности определяют величину мутности поверхностного стока.

Органическое вещество сапропелей образуется непосредственно в водоеме, но может также привноситься притоками или заноситься ветром. В некоторых водоемах сапропели являются одним из важных факторов формирования донных отложений. Гумусирование сапропеля образуется, например, при обильном подтоке болотных вод. Ветром обычно приносятся листья, пыльца и споры растений.

Гораздо большее значение имеет синтез органического вещества в водоемах, который осуществляется зелеными организмами планктона и прибрежной растительностью. Совокупность всех происходящих в озере процессов образования органического вещества из минеральных путем фотосинтеза характеризует собой продуктивность озера.

Выделяют первичную, промежуточную и конечную продукцию озера. Первичная продукция является первым звеном сложного процесса, состоящего из целого ряда «пищевых» цепей.

Фитопланктон и водные растения, используя солнечную энергию, создают органическое вещество, которое затем поедается зоопланктоном и травоядными животными. Последние, в свою очередь, поедаются хищниками и т. д. Здесь важно отметить, что фитопланктон и водные растения являются единственными производителями органи-

ческого вещества. Они создают определенный запас для остальных потребителей пищевого цикла. Все последующие стадии представляют собой этапы разрушения, минерализации и деструкции органического вещества, сопровождающиеся потреблением кислорода и рассеиванием энергии.

В конце каждой из последовательных стадий пищевого цикла образуется материал для пополнения донных отложений. Чем выше продуктивность озера, тем больше поступает материала для образования органических донных отложений, но количество их лимитируется процессом деструкции (разложения). Взаимодействие этих противоположных процессов — продукции и деструкции органического вещества — и определяет в конечном счете наряду с другими факторами характер донных отложений.

Сапропелевые отложения образуются из последовательных напластований различных видов сапропелей, погребенных под слоем торфа, иногда под слоем минеральных наносов, или продолжающих свое формирование на дне озера и водоемов.

Формирование сапропелевых отложений всецело связано с возникновением и развитием того озера или водоема, в котором они образуются.

Согласно классификации В.И. Жадина, пресные озера разделяются на восемь типов. В табл. 1.1 приводится всесторонняя характеристика этих типов.

Доказано, что характерные черты и особенности озер под действием внешних условий неоднократно изменялись. Путь к обмелению и заболачиванию был неравномерным. Климатические изменения влекли за собой изменения и в характере озерных отложений, которые более или менее четко прослеживаются почти во всех озерах.

Исследование сапропелевых отложений различных озер в голоцене показывает, что образование наиболее древних осадков в озерах датируется субарктическим и арктическим временем. Осадки — преимущественно озерные глины и глинистые сапропели. Скорость отложения осадков (прирост) колеблется от 0,1 мм/год в маленьких непроточных озерах до 4,3 мм/год в больших хорошо проточных озерах.

В теплый, но сухой бореальный период уровень озер несколько понизился, сток уменьшился, в озерах начала развиваться органическая жизнь. Скорость отложения осадков несколько уменьшилась. Отлагаются преимущественно диатомово-кремнеземистые и глинистые сапропели. Начинают образовываться водорослевые органические сапропели.

В теплый и влажный атлантический период ежегодный прирост осадков увеличился почти у всех озер до 0,3—5,5 мм / год. В тех озерах, где усилился подток карбонатных вод, отлагаются известковистые сапропели, в слабопроточных водоемах — водорослевые органические, в проточных — глинистые сапропели.

В следующий за этим засушливый суббореальный период уровень многих озер снижается. Отлагаются цианофицельные и в проточных озерах — глинисто-известковистые сапропели. Некоторые мелкие водоемы заторфовываются. Скорость образования осадков снижается (0,4—1,5 мм/год).

В более влажный субатлантический период скорость отложения осадков вновь возрастает (максимальная — 4 мм/год). Характерны органические водорослевые и торфянисто-водорослевые сапропели, почти совершенно отсутствуют известковистые сапропели. В хорошо проточных водоемах продолжают образовываться водорослево-глинистые сапропели. Усиленно развиваются торфяники, похоронившие под толщей торфа многочисленные мелкие озера.

Установлено, что средний долголетний годичный прирост ила равен: в небольших озерах без заметных притоков — 1,05 мм, в небольших озерах с притоками — 3,56 мм, в больших озерах с многочисленными притоками — 6,64 мм. Постоянное отложение осадков на дне водоема в конечном счете является решающим фактором изменения его характерных черт и особенностей. Если под влиянием климата режим озер может изменяться и в сторону понижения уровня воды (засушливые периоды), и в сторону его повышения (влажные периоды), то осадкообразование неуклонно и постоянно ведет к обмелению озера. Это налагает свой отпечаток на всю историю развития водоемов.

Выделяются следующие стадии развития озер:

1-я стадия — юность, первоначальный рельеф котловины почти не изменен, гидробиоценоз не сложился, горизонтальное и вертикальное расчленение озерной чаши первичное;

2-я стадия — зрелость, динамическим воздействием вод озера (абразионно-аккумулятивный процесс) сформированы прибрежный и подводный береговые склоны, сложился гидробиоценоз, мелкодетритовые озерные илы и речные наносы выровняли углубления ложа;

3-я стадия — старость, озерные отложения покрывают все дно, вдоль берегов развиты заросли водной растительности;

4-я стадия — дряхлость, центральная озерная равнина слилась с подводным береговым склоном, в рельефе дна заметен только прибрежный склон, растительность может распространиться по всей акватории;

Типологическая характеристика озер

Тип	Морфологические особенности, минеральный состав и температурный режим	Газовый режим, характер деструкции и кислотность	Цвет воды, прозрачность	Окисляемость воды, мг O ₂ / л	Интенсивность фотосинтеза по Винбергу, мг O ₂ /м ² в сутки
1. Ультра-олиготрофные	Большие, очень глубокие (свыше 100 м) озера, горные или эрозивно-тектонического происхождения в кристаллических породах, хорошо проточные, берега высокие, незаросшие, наблюдается постоянный подток кластического материала, концентрация биогенных элементов очень низкая, озера холодные, летом четкая температурная стратификация воды	Аэрация хорошая, кислорода достаточно, деструкция почти полная, pH 7,8	От голубого до ярко-синего, 10—20 м	До 5	0,5—1,0
2. Олиготрофные	Средние и крупные, глубокие (30—70 м) озера, тектонического, ледниково-эрозийного или карстового происхождения в кристаллических или песчаных осадочных породах, проточные, берега высокие, слабозаросшие, литораль узкая, наблюдается постоянный подток кластического материала и биогенных элементов, концентрация их низкая, озера холодные, летом четкая температурная стратификация воды	То же	От синего до голубовато-зеленого, 5—13 м	До 5	1,0—7,5
3. Мезотрофные	Средние и мелкие (12—25 м) озера, ледниково-аккумулятивного и эрозийного происхождения в осадочных породах, слабопроточные, постепенно мелеющие и зарастающие, берега высокие или низкие, обнаружено достаточное количество биогенных компонентов, озера умеренно теплые, температурная стратификация резкая	Аэрируется лишь верхний слой, в гипolimнионе ощущается недостаток кислорода, деструкция рода, деструкция неполная, pH 7,5—8,0	От голубовато-зеленого до желтого, 3—8 м	5—10	2,5—7,5

4. Эвтрофные	Малые и очень малые, мелкие (5—12 м) озера различного происхождения в осадочных, преимущественно глинистых породах, слабoproточные или непроточные, интенсивно зарастающие, берега чаще низкие, литораль широкая, обнаружено значительное количество биогенных компонентов, неполный круговорот веществ, озера теплые, хорошо прогреваются до дна, температурная стратификация слабая	То же	От желтовато-коричневого до зеленоватого, желтого, 1—5 м	10—15	2,5—7,5
5. Политрофные	Очень мелкие (2—5 м) озера различного происхождения в осадочных породах, непроточные или слабoproточные, берега сильно заросшие, наблюдается значительное количество биогенных компонентов, круговорот веществ частичный, летом вода сильно прогревается до дна, стратификации нет	Недостаток кислорода, зимой заморы, деградация частичная, рН 6,0—7,0	От желтого до коричневого, 0,4—3 м	10—15	7,5—10
6. Слабодистрофные (олиготрофные)	Средние и мелкие (глубина 10—30 м) озера ледниково-эрозионного происхождения в кристаллических породах, проточные, берега заросшие, получают сток боковых вод, проследивается постоянный подток кластического материала и гуминовых веществ, озера умеренно теплые, стратификация резкая	Кислорода недостаточно, деградация неполная, рН 6,0—7,0	От зеленоватого до коричневого, 2—5 м	15—25	0,5—1,0
7. Дистрофные (мезотрофные)	Очень малые, мелкие (3—10 м) озера различного происхождения с заболоченными водосборами, непроточные или слабoproточные, с заторфованными берегами, наблюдается большое поступление органического материала и гуминовых веществ, летом вода сильно прогревается до дна, стратификация слабая или совсем отсутствует	Кислорода мало, деградация частичная, рН 5,0—6,5	От светло-коричневого до темно-коричневого, 1,0—3 м	5—35	0,5—1,0
8. Сильнодистрофные (полиутрофные)	Очень мелкие (1—3 м) озера с обильным поступлением гуминовых веществ, непроточные или слабoproточные, с моховыми сплавиными у берегов, значительная концентрация органического материала и гуминовых веществ, летом вода сильно прогревается до дна, стратификация слабая или совсем отсутствует	То же	Темно-коричневый, 0,5—2 м	Свыше 35	0,5—1,0

5-я стадия — умирание, озеро превратилось в болото.

Хозяйственная деятельность человека ускоряет этот процесс. В связи с тем что процессы аккумуляции органических и органогенных веществ усиливаются с возрастом земли и в водоемы, наряду с продуктами эрозии стихийного происхождения, попадают громадные количества веществ, приведенных в движение человеком (смыв удобрений и частичек почвы), происходит вековая смена различного рода водоемов с населяющими их биомами. Водоемы, дающие нам представление об исторических процессах превращений, отражающих их генезис, можно классифицировать следующим образом:

- 1) горные плотинные или тектонические озера с незэродированным водосбросом (включая карстовые озера);
- 2) равнинные озера с незэродированным водосбросом;
- 3) равнинные озера с эродированным водосбросом (включая равнинные озера культурного ландшафта);
- 4) равнинные озера с заболоченным водосбросом;
- 5) обмелевшие (пруды) и лужи;
- 6) болота.

В геологических масштабах процесс видоизменения озер протекает довольно быстро. Так, на различные озера Польши на 1 км² территории приходилось от 2,6 до 14,8 га. В настоящее время озерами занято лишь 0,3—4,6 га на 1 км², т.е. на 69—88 % меньше.

Наибольшие озера заполняются осадками, зарастают и превращаются в торфяники за 200—300 лет. С обмелением озера связано изменение всех его характеристик, и в том числе изменение трофности. Выведена зависимость продукции планктона и донной фауны от средней глубины озер, показывающая, что продуктивность глубоких озер с уменьшением глубины возрастает медленно, но при средней глубине 20—40 м следует резкий скачок, после чего продуктивность озер с уменьшением глубины значительно увеличивается. Зависимость типологической характеристики озер от их размеров и других морфологических особенностей подчеркивается тем, что с уменьшением наибольшей глубины озер с 28 до 3,9 м (средняя глубина при этом уменьшилась с 14 до 2 м, а площадь озер — с 865 до 10 га) существенно изменился и ихтиологический тип озер. Существует следующая схема эволюции озер под влиянием процессов зарастания, заиления и заболачивания: лещево-сиговый тип → лещево-снегковый → лещево-судачий → лещево-уклейный → лещевый без уклей → плотвично-окуневый (линевый, щучий или окуневый) → карасевый → болото. Изучение иловой микрофауны ледниковых озер северо-запада РФ позволило выделить три группы озер:

1) слабозаиленные озера, бедные бентоносом, с сильно минерализованным сапропелем;

2) озера со средней интенсивностью накопления органического вещества, котловины которых на 50—60 % заполнены иловыми отложениями средней и повышенной зольности, с оптимальными условиями для развития донной фауны;

3) мелководные озера с мощными отложениями органических илов, бедные бентоносом.

Таким образом, закономерности формирования сапропелевых отложений обусловлены геологическими, гидрогеологическими и климатическими условиями, характером и размерами водосборной площади, морфометрией озерной котловины и т. п. Одним из решающих факторов в развитии озер является процесс осадкообразования, который, действуя постоянно и односторонне, ведет к постепенному обмелению озер и накоплению сапропелевых отложений.

Следует сказать, что исследователи, занимавшиеся изучением сапропелевых отложений, в зависимости от специфики и задач своей работы по-разному подходили к вопросу качественной характеристики сапропелей. Подчас они обращали внимание на частные вопросы, не выделяя главного. Применялись разные методы изучения, и предложено значительное количество классификаций сапропелей (табл. 1.2) [48].

Однако существующие классификации сапропелей не отличаются достаточной полнотой и универсальностью.

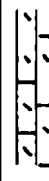
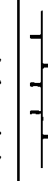
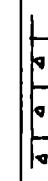
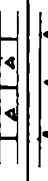
Так, например, наиболее широко распространенная классификация Г. Лундквиста построена исключительно на основе структурных особенностей. Она не точна, носит формальный характер и по существу разнопринципна. В классификации Е.М. Титова игнорируется органическое вещество, что нельзя считать правильным, так как именно богатство органическим веществом отличает сапропели от минеральных озерных отложений и является их характерной особенностью.

Н.М. Страхов предложил более дробную классификацию. По содержанию органического вещества он разделил осадки на пять групп: пески алевролитовые и глинистые илы — менее 10 %; слабосапропелевые алевролитовые и глинистые илы — 10—30 %; глинистые сапропелевые илы — 30—50 %; сапропелево-глинистые илы — 50—70 %; сапропели свыше — 70 %.

Анализы показывают, что органическое вещество сапропелей отличается сравнительно однородным составом, в то время как минеральная часть — разнообразным составом компонентов; содержание последней

Классификация видов сапропеля

Тип	Класс	Вид	Условное обозначение	Содержание, %			Биологический и минералогический состав, %	Направление использования
				зола	кальция	оксидов железа		
Биогенный	Органический	Протококковый		< 30	< 8	< 5	Протококковые > 35	Удобрение, кормовые добавки (кроме торфянистого), лечебные грязи, для производства строительных материалов, клеящих добавок, буровых растворов
		Цианофициный		< 30	< 8	< 5	Цианофициные > 35	
		Смешанно-водорослевый		< 30	< 8	< 5	Сумма водорослей > 45	
		Торфянистый		< 30	< 8	< 5	Высших растений > 35	
Кремнистый	Кремнистый	Диатомовый		< 65	< 8	< 5	Диатомовые 35	Удобрение
		Органо-песчаный		31—65	< 8	< 5	Органические остатки ~ 45 Кварц > 30	
		Диатомово-песчаный		31—65	< 8	< 5	Диатомовые 20 Кварц 30	Удобрение;
		Органо-глинистый		31—65	< 8	< 5	Органические остатки ~ 40 Глинистые минералы > 30	лечебные грязи
Классотогенный	Органо-сликатный	Диатомово-глинистый		31—65	< 8	< 5	Диатомовые ~ 20 Глинистые минералы > 30	
		Песчаный		65—85	< 8	< 10	Кварц 30—50	Удобрение;
	Силикатный	Глинистый		65—85	< 8	< 10	Глинистые минералы 30—50	лечебные грязи

Смешанный	Карбонатный	Органо-известковый		31—65	8—20	< 10	Органические остатки Кальцит	40 до 20	Удобрение; для нейтрализации кислых почв; кормоновые добавки
		Глинисто-известковый		31—65	8—20	< 10	Глинистые минералы Кальцит	>30 до 20	
		Известковый		31—85	>20	< 10	Органические остатки Кальцит	15—50 20—40	
	Железистый	Органожелезистый		31—65	< 8	5—10	Органические остатки Кальцит	15—50 5—10	Удобрение
		Известково-железистый		31—65	8—20	5—10	Кальцит	до 20	
		Димонитовый		31—65	< 8	>10	Димонит	>10	
		Сульфидный		31—65	< 8	>10	Марганит	>10	

колеблется от 5 до 85 %. Поэтому классификация сапропелей должна строиться с учетом содержания органического вещества, а также состава минеральных и органических компонентов (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Генетическая классификация сапропелей

Тип	Содержание органического вещества, %	Вид	Встреченные разновидности
Органические грубодетритовые	До 60	Торфянистый	Цианофицеино-торфянистый, водорослево-торфянистый
		Гумусированный	Торфянисто-гумусированный
Органические тонкодетритовые (водорослевые)	Свыше 70 (малозольные)	Цианофицейный	Протококково-цианофицейный, зоогеново-цианофицейный
		Протококковый	Цианофицеино-протококковый, хризомонадово-протококковый
		Хризомонадовый	Цианофицеино-хризомонадовый
		Смешанно-водорослевый	Торфянисто-водорослевый
Органогенные (минерально-органические)	50—70 (среднезольные)	Диатомовый	Протококково-диатомовый, торфянисто-диатомовый, хризомонадово-водорослевый
		Зоогеновый	Диатомово-зоогеновый
		Смешанно-водорослевый	Глинисто-водорослевый, известковисто-водорослевый
Органоминеральные	30—50 (повышенно-зольные)	Кремнеземистый	Диатомово-кремнеземистый
		Известковистый	Торфянисто-известковистый, водорослево-известковистый, глинисто-известковистый
		Железистый	Глинисто-железистый

Тип	Содержание органического вещества, %	Вид	Встреченные разновидности
Минерализованные	10—30 (высокозольные)	Глинистый Песчанистый	Водорослево-глинистый, протококково-глинистый, диатомово-глинистый, известковисто-глинистый Протококково-песчанистый

В центральной части России часто встречаются водорослевые сапропели: цианофицино-протококковые (12,2 %), смешанно-водорослевые (8,9 %), хризомонадово-диатомовые (8,3 %) и протококково-цианофициновые. В табл. 1.4 дается краткое описание внешнего вида сапропеля при визуальном рассмотрении. В центральных областях евро-

Таблица 1.4

Описание основных видов сапропелей

Вид	Визуальное описание	Микроскопическое описание (x100—600)
Торфянистый	От серовато-коричневого до буроватого с оливковым оттенком, грубодетритовый с растительными остатками	Преобладают остатки высших растений и мхов. Обычно встречаются листочки сфагновых и гипновых мхов, корешки осок, хвоща, тростника, остатки кувшинки, древесные остатки и пр.
Гумусированный	Темно-коричневый, почти черный, зернистый или грубодетритовый с растительными остатками	Обращают внимание бурые, почти черные хлопья гумуса. Много растительных остатков, характерных для торфянистого сапропеля
Зоогеновый	Серовато-коричневый или коричневато-оливковый, мелкозернистый	Преобладают остатки животных. Чаще всего присутствуют створки раковин, головные щиты, антенны и другие части ветвистоусых рачков-кладоцера (Cladocera)
Цианофициный	То же	При среднем увеличении на фоне аморфного детрита ясно видно преобладание сине-зеленых водорослей. Часто присутствуют протококковые водоросли
Протококковый	Темно-оливковый или буровато-оливковый, зернистый или желеобразный	При малом увеличении четко различаются крупные звезды-педиаструм (Pediastrum). При среднем увеличении иногда поражает обилие мелких протококковых—сценедесмус (Scenedesmus). Нередко присутствуют сине-зеленые или хризомонадовые водоросли

Вид	Визуальное описание	Микроскопическое описание (x100—600)
Хризомонадовый	То же	Цисты хризомонад присутствуют в большом количестве. Всегда имеется некоторое количество диатомовых, нередко вместе с губками
Смешанно-водорослевый	Светло-оливковый или серовато-оливковый, зернистый или пастообразный	Наряду с диатомовыми примерно в равном количестве присутствуют протококковые и хризомонады, реже сиене-зеленые водоросли
Диатомовый	То же	Диатомовых очень много, иногда они разнообразны. Часто присутствуют лишь мелозира (<i>Melosira</i>) и губки
Кремнеземистый	Зеленовато-серый, коричневатый, пастообразный	Характерно наличие диатомовых водорослей, иногда вместе с цистами хризомонад. Часто присутствуют губки
Известковистый	Светло-серый, почти белый. Встречаются также желтоватый и розовый, вскипает от HCl	Обращает внимание сплошной серый фон мелких частиц извести. Нередко присутствуют обыизвестковленные оболочки факотусовых водорослей
Железистый	Черный, иногда зеленовато-черный с металлическим оттенком или мелкими блестками включений. На воздухе окисляется и покрывается ржавчиной	В отличие от гумусированного сапропеля, черные пятна гумуса имеют более резкие очертания, а фон — зеленоватый. Изредка встречаются диатомовые. Растительных остатков мало
Глинистый	Сероватый или серовато-коричневый до шоколадного и розоватого, прилипает к рукам	Четко видны мелкие округлые и остроугольные пылеватые частицы. Встречаются остатки диатомовых, протококковых и губки
Песчанистый	Сероватый с заметными на ощупь и на глаз песчинками	Бросятся в глаза крупные округлые песчаные частицы. Нередко присутствуют губки, протококковые водоросли, а также остатки высших растений

пейской части России распространены диатомово-кремнеземистые (6,8 %), глинистые (6,3 %), известковистые (4,9 %), водорослево-торфянистые (4,4 %) и торфянистые (3,9 %) сапропели. Остальные встречаются реже. Наименьшая минерализация (4—10 %) отмечается у цианофицийных сапропелей. Хризомонадовые сапропели тяготеют к верхней границе минерализации водорослевых сапропелей (20—30 %). Среди минерально-органических сапропелей обычно доминируют диатомовые водоросли, часто с хризомонадами и губками, реже протококковые водоросли и еще реже цианофицеи. Среди органо-минеральных и минерализованных сапропелей господствуют диатомеи с губками, реже с хризомонадами.

1.2. Особенности формирования сапропелевых отложений

С целью уточнения и конкретизации особенностей формирования сапропелевых отложений в связи с постепенным заилением озер составляется график зависимости глубины озера от степени заполнения озерной котловины осадками (рис. 1.1).

Степень заполнения озерной котловины C определяется по формуле

$$C = \frac{m}{H + m}, \quad (1.1)$$

где m — мощность осадков, м; H — глубина озера, м.

Степень заполнения озерной котловины C характеризует относительную скорость ее заполнения осадками, в отличие от абсолютной скорости осадконакопления (мм/год). Значения C изменяются от 0 — для возникших, до 1 — для отмирающих озер, превращающихся в торфяники.

Прослеживается довольно тесная зависимость (корреляционное отношение равно 0,95) между глубиной озера и степенью заполнения озерной котловины: с уменьшением глубины степень заполнения озерной котловины, естественно, увеличивается.

Для олиготрофных озер (глубиной более 30 м) характерны значения $C = 0,1$, осадки представлены озерными глинами и глинистыми сапропелями, относительная скорость заполнения озерной котловины невелика. В мезотрофных озерах (глубиной 12—25 м) $C = 0,1—0,25$, отлагаются глинистые и кремнеземистые сапропели. Далее с уменьшени-

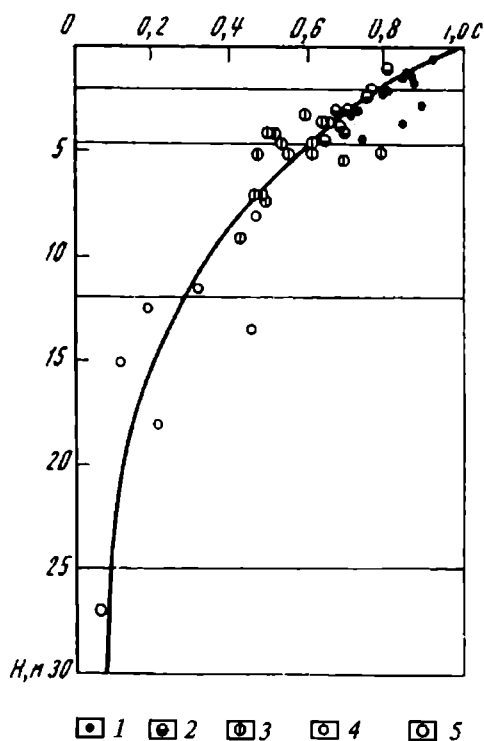


Рис. 1.1. Зависимость степени заполнения озерной котловины осадками C от глубины озер H :

1 — дистрофные озера; 2 — политрофные озера; 3 — эвтрофные озера; 4 — мезотрофные озера; 5 — олиготрофные озера

ем глубины озер продуктивность быстро возрастает, относительная скорость осадконакопления резко увеличивается. Степень заполнения осадками озерной котловины эвтрофных озер (глубиной 5—12 м) колеблется от 0,25 до 0,6. Развитие их идет в ускоренном темпе, отлагаются органоминеральные и органические, преимущественно водорослевые, местами известковистые сапропели. Мощность озерных отложений растет. Политрофные озера имеют большие значения C (0,6—0,8), для них характерны органические водорослевые и торфянистые сапропели. Дистрофным озерам, завершающим путь естественного развития, свойственны значения, близкие к единице ($C > 0,8$). Отложения представлены преимущественно торфянистыми сапропелями.

График зависимости степени заполнения озерной котловины осадками от глубины озера позволяет приблизительно определять мощность донных отложений, если мы знаем глубину озера и примерное состояние водоема.

Если глубина озера неизвестна, можно воспользоваться формулой П.И. Иванова

$$H = a F, \quad (1.2)$$

где H — средняя глубина озера, м; F — площадь озера, км²; a — коэффициент, учитывающий форму озерной котловины, $a = 0,1—0,5$ — для очень мелких (политрофных) озер, $0,5—0,2$ — для мелких (эвтрофных) озер, $2,0—4,0$ — для озер нормальной глубины (мезотрофных), $4,0—10,0$ — для глубоких (олиготрофных) озер, $10,0—20,0$ — для глубоких (ультраолиготрофных) озер.

Необходимо учитывать, что все процессы, в результате которых образуются озерные осадки, обуславливают отложение их в виде концентрических зон. Выделяются три зоны:

1-я зона — гидродинамических процессов (береговая отмель);

2-я зона — макрофитов (склон береговой отмели);

3-я зона — гидрохимических и микробиологических процессов (профундаль).

3-я зона разделяется на четыре яруса:

А — ярус образования планктона и карбонатов — до 5 м глубины;

Б — ярус начального разложения планктона и растворения карбонатов — от 5—6 до 10—12 м;

В — ярус интенсивного разложения планктона и растворения карбонатов — от 10—12 до 25 м;

Г — бескарбонатный ярус окончательного разложения планктона — глубже 25 м.

Для береговой отмели (1-я зона) характерны песчанистые отложения с гравием, на склоне береговой отмели (2-я зона) отлагаются песчанистые сапропели, за склоном береговой отмели до глубины 5—6 м (ярус А) образуется известковистый сапропель, от 5—6 до 10—12 м (ярус Б) отлагается наибольшее количество сапропеля. Глубже сапропеля мало, развиты сульфидные, железистые и другие минерализованные отложения. По глубине озера можно судить о характере донных отложений. К этому можно добавить, что при образовании известковистых сапропелей решающим фактором является подток карбонатных вод. При наличии постоянного притока кальция образуются известковистые сапропели, а при отсутствии — органические.

При интенсивном зарастании озер в 1-й зоне (на береговой отмели) отлагаются торфянистые, а во 2-й зоне — торфянисто-водорослевые сапропели.

Концентрические зоны отложений наблюдаются на всех стадиях развития озера, но ширина их во многом зависит от морфометрии озерной котловины, направления озерных течений, связанных с его прочностью, направления и силы господствующих ветров. Несомненно одно, что характер донных отложений связан с глубиной озера и он более резко изменяется у берегов, чем вдали от них, за склоном береговой отмели.

Минерализация сапропелевых отложений изменяется как с глубиной, так и в плане. Она обычно мало колеблется в пределах генетически однородного слоя, представленного тем или иным видом сапропеля, и претерпевает резкие изменения при переходе от одного слоя к другому. Поэтому при описании сапропелевых отложений следует четко выделять границы разнородных слоев и отбирать образцы послойно, а не через определенные интервалы, без учета строения залежи.

Изменение минерализации в плане связано с концентрическим распределением сапропелевых отложений. Как правило, на береговой отмели отлагаются наиболее крупные фракции, резко увеличивающие минерализацию сапропелевых отложений. На склоне береговой отмели механический состав сапропелей характеризуется более мелкими фракциями и увеличивается содержание органического вещества. В глубокой части озера (профундали) оседают обычно самые тонкие фракции с наименьшей минерализацией.

Описанный порядок распределения отложений по механическому составу и минерализации типичен для небольших непроточных озер без заметного притока грунтовых вод. Только в таких озерах (а также в защищенных заливах больших озер) образуются органические сапропели. С увеличением акватории увеличивается водосбросная пло-

щадь и озеро, как, правило, становится проточным. Кроме того, с увеличением открытой поверхности под влиянием ветра способно развиваться волнение. Волны перемешивают верхний слой воды, снабжая его кислородом, и разрушают берега озера. Все это значительно увеличивает минерализацию отложений. Максимальные размеры озера, в котором могут образовываться органические сапропели, изменяются в зависимости от площади водосбора и защищенности от ветрового воздействия в пределах 100—500 га. Отсюда следует, что органические сапропелевые отложения представляют собой только небольшие по площади месторождения.

Проточность озера является важным фактором, регулирующим минерализацию сапропелей. Направления течения воды в озере всегда отмечены пониженным содержанием органического вещества сапропелей. Это обусловлено и механическим приносом минеральных частиц, и лучшей аэрацией воды, благодаря чему здесь происходит более полное разложение органического вещества. Проточность озера часто нарушает концентрическое распределение сапропелей по механическому составу и зольности. Иногда в центральной проточной части озера минерализация отложений гораздо выше и здесь отлагаются более крупные фракции, чем в прибрежных, относительно спокойных заводях и бухтах. У проточных озер отложения обычно имеют повышенную минерализацию в прибрежной полосе и вдоль основных направлений течения воды.

Ширина прибрежной полосы у малых озер (Святое, Нерское) составляет примерно 50—200 м, а у больших (Галичское, Чухломское) достигает 0,4—1 км и более. Зоны повышенной зольности, связанные с течениями, зависят от морфометрических и гидрологических факторов и могут иметь разную ширину, но обычно они выглядят сравнительно узкими полосами на фоне общей акватории озера. Важно подчеркнуть, что в этих местах минерализация сапропелей меняется более резко, чем на остальной площади распространения сапропелевых отложений.

Отсюда следует, что при разведке сапропелевых отложений необходимо сгущать частоту пунктов опробования в прибрежной полосе и в зоне основных течений. Нельзя просто ограничиваться бурением скважин и отбором проб по сетке квадратов, потому что редкая сетка не позволит достаточно полно охарактеризовать залежь в прибрежной полосе и в зоне течений.

Залежи сапропелей довольно разнообразны. При инженерно-геологическом изучении залежей необходим объективный подход в зависимости от их свойств и условий залегания.

Поскольку сапропели образуются в озерах, конечной фазой развития которых часто является превращение в торфяники, сапропелевые отложения генетически связаны с историей возникновения и развития озерной котловины и частично с условиями образования торфяных месторождений. Установлена определенная типологическая зависимость торфяных месторождений от характера рельефа, и на этой основе разработана их геоморфологическая классификация. Вместе с тем известно, что происхождение и развитие озерных котловин тесно связано с общими условиями формирования рельефа данной территории. Рельеф поверхности образуется под влиянием геологических, гидрогеологических и гидрологических условий на фоне изменения климата и растительности, в результате чего геоморфологические особенности становятся весьма показательными для характеристики сапропелевых отложений. Приуроченность к определенным формам рельефа часто определяет размеры и форму сапропелевых отложений, их строение и мощность, условия водного и минерального питания, характер минерализации.

Выделяются три основные группы сапропелевых отложений: отложения пойм; отложения высоких террас и задровых равнин; отложения холмисто-моренного ландшафта.

Предлагаемая классификация составлена по данным исследований сапропелевых отложений средней полосы европейской части России, которая охватывает территорию лесной зоны с наиболее благоприятными условиями сапропеленакопления.

Прежде чем перейти к подробной характеристике выделенных групп сапропелевых отложений, необходимо их классифицировать по геологическому и генетическому принципу.

По характеру строения сапропелевые отложения можно разделить на три типа: силикатные, карбонатные и органические.

Отложения *силикатного* типа слагаются преимущественно сапропелями силикатного состава (глинистыми, песчанистыми и кремнеземистыми), отложения *карбонатного* типа образуются в основном за счет известковистых сапропелей, *органического* типа — сложены преимущественно органическими и органогенными сапропелями.

В природе довольно часто встречаются различные комбинации этих типов. Чаще всего сверху залегают органические сапропели, которые подстилаются карбонатными или силикатными. В этом случае тип отложений определяется по соотношению мощности слагающих пластов сапропелей.

К органическому типу следует относить отложения со средней мощностью органических сапропелей не менее 2 м для открытых и не менее 1 м для погребенных отложений. При такой мощности органи-

ческие сапропели приобретают самостоятельное значение, а при меньшей мощности — это обычно прослойки и линзы, играющие второстепенную роль.

Если органические сапропели подстилаются карбонатными или силикатными сапропелями такой же или большей мощности, то их можно классифицировать как органокарбонатные или органосиликатные отложения.

Кроме того, по ряду генетических признаков сапропелевые отложения делятся на два типа: открытые и погребенные.

Открытые сапропелевые отложения приурочены к различного рода озерам, на дне которых образуются разнообразные сапропели. Это развивающиеся отложения с открытой поверхностью, над которой имеется лишь слой воды. Ежегодно на поверхность сапропелевых отложений поступает новая порция органического и минерального материала, за счет чего происходит увеличение их мощности.

Верхний слой сапропелей находится в текучем состоянии в стадии суспензии, влажность их выше верхнего предела пластичности, плотность незначительна, структурная прочность минимальна.

Погребенные сапропелевые отложения обычно залегают в основании торфяной залежи под слоем торфа. Встречаются также сапропелевые отложения, погребенные под минеральными наносами. Характерной особенностью погребенных сапропелевых отложений является то, что они полностью прекратили свой рост, начали уплотняться и обезвоживаться, находятся в скрытотекущем или пластичном состоянии и обладают определенной структурной прочностью. Стадия седиментогенеза закончилась, и начинается стадия диагенеза.

Переход от открытых сапропелевых отложений к погребенным совершается постепенно, по мере обмеления и зарастания озер. Часто можно наблюдать, как в почти совершенно заросших озерах остаются небольшие просветы воды, так называемые окна, приуроченные к наиболее глубоким участкам. На этих участках существенного роста сапропелей не происходит, но они могут служить косвенным указателем наиболее мощных отложений. Если суммарная площадь остаточных озер по сравнению с общей площадью сапропелевых отложений невелика, то такие отложения можно относить к погребенному типу.

Указанные два типа сапропелевых отложений следует четко разграничивать, так как они отличаются друг от друга по физико-механическим свойствам. Изменение естественной влажности открытых и погребенных сапропелевых отложений с глубиной показано на рис. 1.2 — 1.4.

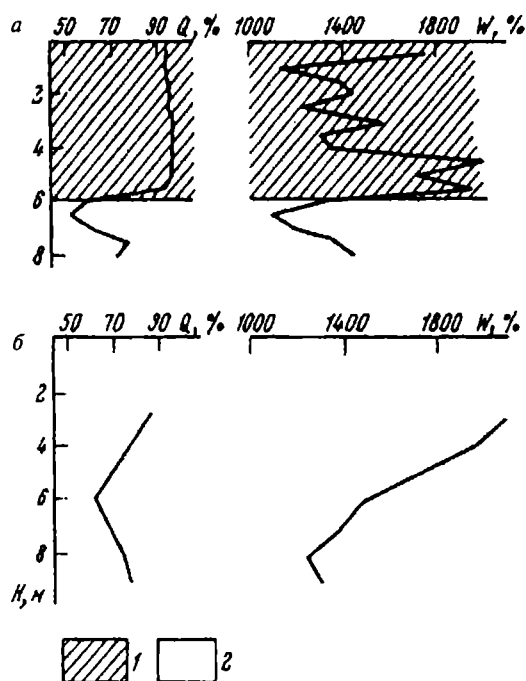


Рис. 1.2. Изменение естественной влажности W и содержания органического вещества Q сапрпелей с глубиной H :
 а — т/м «Большой Мох» Псковской обл.;
 б — оз. Глубокое Ивановской обл.; 1 — осоковый торф; 2 — водорослевый сапрпель

В табл. 1.5 приведены отличительные черты и особенности сапрпелевых отложений различных геоморфологических групп.

Сапрпелевые отложения пойм приурочены к пойменным озерам преимущественно эрозивно-речного происхождения. Это обычно маленькие озера удлиненной формы, являющиеся старицами рек или возникшие благодаря

заполнению полыми водами пойменных понижений и западин.

Интенсивное минеральное питание стимулирует развитие органической жизни, но обильный приток кластического материала приводит к образованию минерализованных, чаще всего глинистых, реже

песчанистых сапрпелей. Поймы крупных рек обычно изобилуют такими озерами. Озерность поймы может достигать 1—3 %, а в пойме р. Оби она достигает даже 10 %. По мере зарастания озер доступ в них кластического материала несколько уменьшается и в погребенных отложениях (в верхней части) часто прослеживается небольшой слой органических сапрпелей.

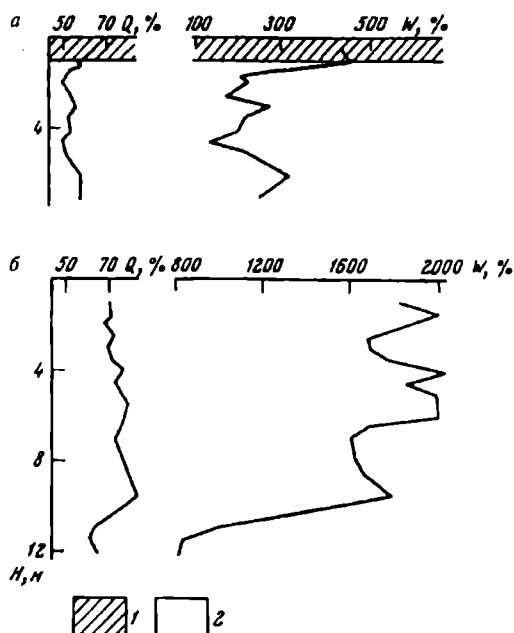
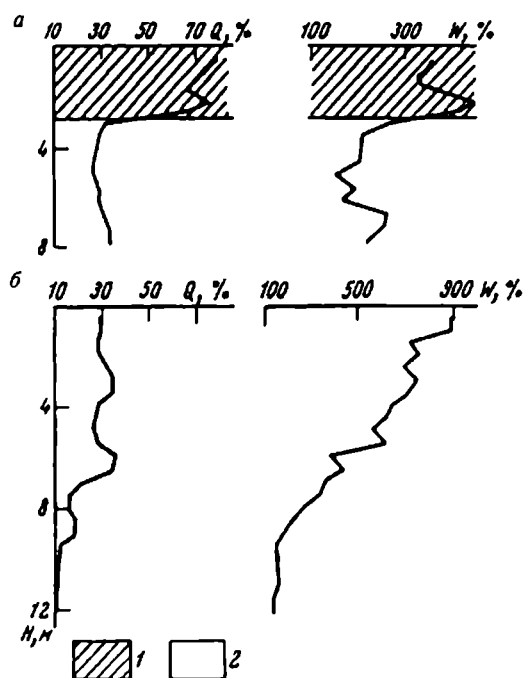


Рис. 1.3. Изменение естественной влажности W и содержания органического вещества Q сапрпелей с глубиной H :
 а — т/м «Савцинское» Тверской обл.; б — оз. Уго Тверской обл.; 1 — осоковый торф; 2 — известковисто-водорослевый сапрпель

Рис. 1.4. Изменение естественной влажности W и содержания органического вещества Q сапропелей с глубиной H :
 а — т/м «Тростяное» Московской обл.;
 б — оз. Галичское Костромской обл.; 1 — тростниковый торф; 2 — известковистый сапропель



В озерах пойменно-притеррасных, питаемых грунтовыми водами, обогащенными кальцием или железом, встречаются известковистые или железистые сапропели. В качестве примера можно привести торфяное месторождение «Шуваловское» Ленинградской области с сапропелевыми отложениями погребенного типа. Площадь сапропелевых отложений составляет 25 га.

Наибольшая мощность сапропелей 2,5—3 м, сапропели глинисто-ожелезненные. Приток железистых вод объясняется близким залеганием кристаллических пород, так как месторождение находится на Карельском перешейке у южной границы Балтийского щита. Верхняя часть залежи (0,5 м) представлена торфянисто-водорослевыми сапропелями, выше которых залегает сфагновый низинный торф.

Сапропелевые отложения высоких террас и задровых равнин образовались в древнепойменных и остаточнo-ледниковых озерах, которые располагались в основном среди древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных отложений. При слабых уклонах поверхности и бедных песчаных почвах в озера поступало мало биогенных элементов и кластического материала.

Низкие песчаные берега озер быстро зарастали и заторфовывались. Под воздействием наступающих торфяных болот мелкие озера быстро отмирали, а глубокие продолжали развиваться в окружении торфяников. Слабый приток минеральных компонентов приводил к образованию органических или кремнеземистых сапропелей различной мощности (от 1 до 15 м). Площадь сапропелевых отложений изменяется в широких пределах—от 16 до 6900 га. В качестве примера можно привести озера Святое и Черное Московской области, расположенные на третьей террасе р. Москвы. Площадь отложений 16—18 га. Часть отложений—открытого типа, часть—погребенного. Пред-

ставлены органосиликатными сапропелями. Мощность органических сапропелей достигает 3—10 м. В оз. Черном встречаются маломощные прослойки водорослево-известковистых сапропелей. Максимальная мощность сапропелей — 17 м.

Большое торфяное месторождение «Оршинский Мох» Тверской области находится на границе второй надпойменной террасы р. Волги и зандровой флювиогляциальной равнины. Многие озера остаточного ледникового происхождения, образовавшиеся после отступления ледника, явились очагами заболачивания. Большая часть их быстро превратилась в болото, свидетельством чему служат многочисленные линзы маломощных сапропелевых отложений в основании торфяной залежи. Мощность погребенных сапропелевых отложений открытого типа сохранилась в небольших количествах, а на поверхности торфяника образовались вторичные озера, не имеющие сапропелевых отложений.

Типичным примером отложений зандровых равнин является т/м «Радовицкий Мох» Московской области. Здесь также имеются в придонном слое многочисленные линзы маломощных силикатных сапропелей. Кроме того, сохранилось около 10 озер с открытой водной поверхностью, в которых распространены сапропели органического типа. Площадь зеркала озер изменяется от 7 до 98 га. Мощность сапропелевых отложений достигает 4—8 м. Вторичных озер нет.

Сапропелевые отложения холмисто-моренного ландшафта приурочены к озерам преимущественно ледниково-аккумулятивного происхождения, которые остались после таяния ледника в многочисленных котловинах, понижениях и западинах моренного рельефа.

В целом для сапропелевых отложений моренного ландшафта характерна повышенная минерализация. С крутых склонов берегов, сложенных легкоразмываемыми суглинистыми породами, происходил интенсивный принос в озера кластического материала, за счет которого образовывались глинистые сапропели, имеющие довольно широкое распространение. Они выстилают понижения дна многих озерных котловин, а местами слагают всю толщу залежи.

Приток карбонатных грунтовых вод из межморенных и межледниковых отложений, а также процесс выщелачивания морены обусловили образование известковистых сапропелей, которые приурочены обычно к средней или нижней части залежи и имеют мощность от 1 до 4—5 м.

После того как берега озер достаточно зарастут, что препятствует механическому заилению, начинают отлагаться органические сапропели. Они, как правило, образуют верхнюю часть сапропелевых отложений, но иногда, в небольших замкнутых озерах, мощность их в несколько раз превышает подстилающие слои минерализованных сапропелей, и залежь относят к органическому типу.

Характеристика сапропелевых отложений различных геоморфологических групп

Группа	Происхождение озерных котловин	Форма и размер озер	Подстилающие породы	Форма и размер сапропелевой залежи, га	Мощность сапропелевых отложений, м		Строение сапропелевых отложений	
					открытых	погребенных	открытых	погребенных
Отложения пойм супеси	Пойменные и эрозийно-речные	Удлиненной формы, с низкими берегами, мелкими, не большими раз- меров	Аллювиальные пески и суглинки	Узкая удли- ненная, от де- сяти до не- скольких сот	2—3	1—2	Под слоем во- ды 1—2 м зале- гают глини- стые сапропе- ли. В притер- расной части изредка встре- чаются желе- зистые и из- вестковистые сапропели	Чаще силикат- ные сапропе- ли, перекрытые толщей торфов. На контакте с торфом не- большая про- слойка орга- нических са- пропелей
Отло- жения высоких террас и зандровых равнин	Древней- шие и ос- таточно-лед- никовые	Округлые и овальные, с низкими гло- скими берега- ми, большие и мелкие, и глу- бокие	Флювиогля- циальные пес- ки и супеси	Округлая и овальная, от нескольких десятков до нескольких тысяч	3—15	1—5	Под слоем во- ды от 1—2 до 5—8 м залега- ют органиче- ские сапропе- ли, подстилаю- щиеся кремне- земистыми	Обычно орга- нические или силикатные сапропели, пе- рекрытые толщей низин- ных или вер- ховых торфов
Отложе- ния хол- мистого и морен- ного ланд- шафта	Ледниково- аккумуля- тивные	Округлые и удлиненные, с высокими бе- регами, разно- образной ве- личины	Моренные суглинки, глины	Округлая и удлиненная, до несколь- ких тысяч	3—20	1—8	Под слоем во- ды от 1—2 до 1—4 м залега- ют органиче- ские, силикат- ные и карбонат- ные сапропели	Органические или силикатные сапропели, по- гребенные под торфами низин- ного или вер- хового типа

Холмисто-моренная равнина последнего валдайского оледенения имеет значительное количество озер. Озерность составляет 1—2 %. Озерные котловины располагаются в понижениях между моренными грядами и на склонах холмов. Они имеют округлую форму или удлиненную со слабыми следами размыва берегов поверхностными водами. Высокие и крутые берега иногда снижаются, давая выход ручьям или речкам. В свою очередь озера могут получать воды поверхностного стока за счет небольших притоков или питаться грунтовыми водами из межморенных водоносных горизонтов.

Типичным примером открытых отложений силикатного типа могут служить донные осадки озер Заклинского и Туровского Ленинградской области, площадь отложений которых 17—30 га, мощность 3—8 м. В литологическом разрезе преобладают диатомово-глинистые и глинистые сапропели. Форма отложений удлиненная. Они сформировались в понижениях между моренными грядами. Над сапропелями имеется слой воды от 2 до 5 м. Выходов грунтовых вод не обнаружено.

Сапропелевые отложения, приуроченные к относительно равнинным участкам моренных водоразделов с неглубокими замкнутыми понижениями, имеющими небольшую водосборную площадь, могут относиться к органическому типу.

В качестве примера рассмотрим озеро Борковское Новгородской области, которое залегает в неглубоком понижении Прилукской моренной равнины. Озеро имеет овальную форму, площадь его 152 га, глубина 0,3—0,6 м. Отложения представлены водорослевыми сапропелями мощностью 2—3 м. Понижения дна выстилаются известковисто-глинистыми сапропелями мощностью 2—3 м.

Примером отложений органокарбонатного типа может служить суходольное озеро вблизи т/м «Эндла» в Эстонии. Озеро округлой формы, площадью около 15 га. Берега заторфованы. Под трехметровым слоем воды залегают органические сапропели мощностью 1,5—2 м.

Погребенные отложения тоже могут относиться к органическому типу: например, на т/м «Ситенское» Псковской области под трехметровым слоем торфа верхового типа залегает пласт органических сапропелей мощностью до 2—3 м. Органические сапропели подстилаются небольшим слоем силикатных песчаных сапропелей мощностью до 1 м. Общая площадь сапропелевых отложений составляет 950 га.

Довольно широко распространены погребенные отложения силикатного типа, реже встречаются отложения карбонатного типа. Мощ-

ность отложений редко превышает 1,4—3 м. Они могут быть перекрыты как низинными, так и верховыми торфами.

Особенно много озер в области конечно-моренных образований. Озерность здесь достигает 2—5 %. Преобладают замкнутые озерные котловины с крутыми высокими берегами, сложенными моренными суглинками. Типичны отложения силикатных и органических сапропелей. Примером отложений открытого типа могут служить сапропели оз. Кислицкое Тверской области. Озеро округлой формы, площадью около 60 га. Глубина его не превышает 0,6—1,3 м. Отложения мощностью до 7,4 м сложены органоминаральными диатомово-кремнеземистыми сапропелями. Берега озера покрыты торфом низинного типа. Верхние слои сапропелей имеют меньшую минерализацию и приближаются по составу к органическим сапропелям.

Погребенные сапропелевые отложения аналогичного типа обнаружены на т/м «Режень П» Тверской области. Площадь отложений 619 га. Мощность силикатных сапропелей достигает 4 м. Сверху залегает небольшой (1—1,5 м) слой органических сапропелей, которые перекрываются шейхцериново-осоковым переходным торфом.

Отложения органического типа выявлены на т/м «Ореховка П» Псковской области. Площадь сапропелей 175 га, средняя мощность 1,6 м. Под торфом верхового типа мощностью до 4,9 м залегают органические сапропели с зольностью 4,7—13,3 %. Наибольшая мощность их достигает 5 м.

Южнее и восточнее границы распространения конечно-моренных образований валдайского оледенения сапропелевые отложения часто приурочены к котловинам с резким эрозионным врезом. Характерен приток грунтовых вод в виде ключей и родников. Здесь чаще встречаются отложения известковистых сапропелей.

За границей распространения конечно-моренных образований московского оледенения озер мало. Озерность не превышает 0,1—0,5 %. Озера прошли долгий путь развития. В результате процессов эрозии одни из них исчезли, другие стали проточными и в них значительно снизился уровень воды. Почти все озера, в том числе и довольно крупные (Неро, Галичское, Чухломское), находятся в стадии одряхления и усиленно зарастают. Образовалось много месторождений сапропелей погребенного типа.

Озера Галичское и Чухломское являются примером больших открытых сапропелевых отложений силикатного типа. Площадь оз. Галичское 8087 га, Чухломское — 4721 га. Глубина 1—4 м. В придонном слое залегают известковистые сапропели мощностью до 1,5—2,5 м. Общая мощность сапропелевых отложений достигает 7—11 м.

1.3. Закономерности распространения сапропелевых отложений

Для выяснения закономерностей размещения сапропелевых отложений, особенностей их генезиса и стратиграфии были выбраны 12 центральных областей европейской части бывшего СССР с благоприятными условиями для образования таких отложений.

На основании данных исследований и обобщения литературных материалов составлена карта распространения сапропелевых отложений бывшего СССР. Установлено, что в их размещении наблюдается определенная закономерность, обусловленная климатическими, геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими условиями и характером растительности.

На схематической карте (рис. 1.5) [48] выделены следующие зоны сапропеленакопления: северная зона слабого сапропеленакопления (*I*), центральная зона интенсивного сапропеленакопления (*II*), южная зона слабого сапропеленакопления (*III*), зона солоноватых сапропелей и минеральных грязей (*IV*).

Эти зоны соответствуют климатическим зонам природных ландшафтов: зона *I* совпадает с зонами тундры и лесотундры, зона *II* приурочена к лесной климатической зоне, зона *III* простирается примерно в границах лесостепи, зона *IV* располагается южнее лесостепи и соответствует условиям жаркого климата степей и пустынь.

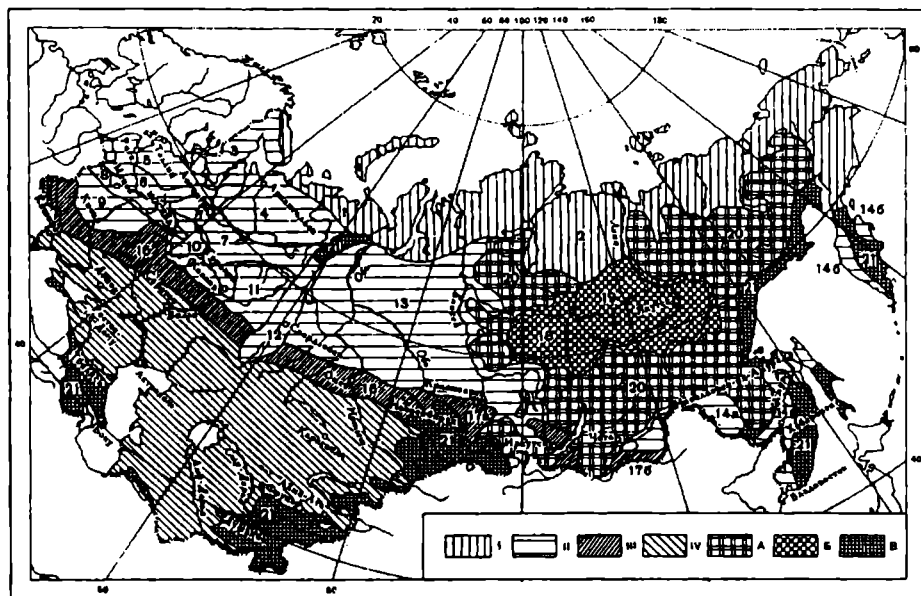


Рис. 1.5. Схематическая карта зональности сапропелевых отложений бывшего СССР

Выделены также азональные территории слабого сапропеленакопления, обусловленные распространением вечной мерзлоты или гористым рельефом местности. При этом была использована гипсометрическая карта бывшего СССР масштаба 1 : 5 000 000.

Необходимо подчеркнуть, что сапропелевые отложения изучены далеко не равномерно. Относительно более полно разведаны сапропелевые отложения Прибалтийских государств, Белоруссии, Украины, центральных областей европейской части России и Зауралья. Почти совершенно не исследованы сапропели Восточной Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. Поэтому предлагаемая карта зональности сапропелевых месторождений бывшего СССР носит схематический характер. Тем не менее составленная карта дает определенное представление о закономерностях распространения сапропелевых отложений и позволяет сделать некоторые обобщения, касающиеся не только обследованных областей европейской части России, но и других районов, исходя из общих закономерностей и условий образования сапропелевых отложений.

Европейская часть России исследована лучше других территорий бывшего СССР. На основании данных физико-географических и лимнологических описаний составлена схематическая карта озерности средней полосы европейской части бывшего СССР (рис. 1.6).

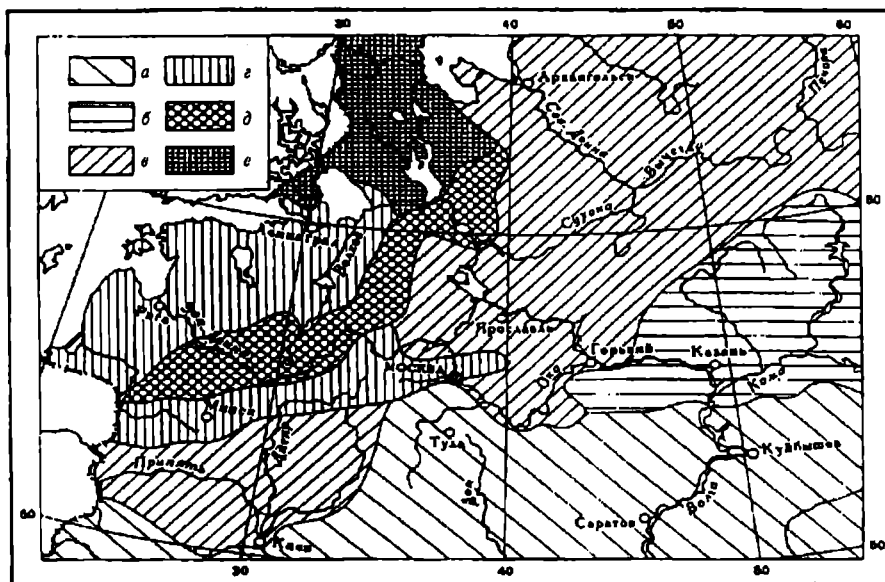


Рис. 1.6. Схематическая карта озерности средней полосы европейской части бывшего СССР. Озерность территории (%):

а — < 0,05; б — 0,05—0,1; в — 0,1—1,0; г — 1—2; д — 2—5; е — > 5

Азональные территории слабого сапропеленакопления (см. рис. 1.5):

А — горно-мерзлотные;

Б — равнинно-мерзлотные;

В — горно-таежные.

Области сапропеленакопления: 1 — Канско-Печорская; 2 — Таймыро-Чукотская; 3 — Кольско-Карельская; 4 — Двинско-Мезенская; 5 — Рижско-Ильменская; 6 — конечно-моренная; 7 — вторично-моренная; 8 — Белорусско-Московская; 9 — Полесская; 10 — Волго-Мещерская; 11 — Вятско-Камская; 12 — Уральская; 13 — Западно-Сибирская; 14а — Приамурская; 14б — Камчатская; 15 — Курско-Пензенская; 16 — Барабинская; 17а — Приалтайская; 17б — Забайкальская; 18 — Средне-Сибирская; 19 — Якутско-Вилуйская; 20 — горно-мерзлотная; 21 — горно-таежная.

I — северная зона слабого сапропеленакопления охватывает территорию распространения мелководных пресных озер тундры и лесотундры. При малой испаряемости и повышенной влажности воздуха здесь создаются условия для формирования многочисленных пресных небольших озер. В условиях холодного климата и близкого залегания вечной мерзлоты котловины озер слабо развиты. Много озер термокарстового происхождения. Органическая жизнь в озерах подавляется суровыми климатическими условиями при коротком вегетационном периоде. Поэтому донные отложения озер представлены маломощными водорослевыми и торфянистыми сапропелями. Средняя мощность сапропелей около 1 м. В зоне выделены две области:

1. Канско-Печорская область площадью около 196 тыс. км² занимает северную часть Восточно-Европейской равнины и Кольского полуострова. В Мурманской области насчитывается 110 701 озеро общей площадью 9178,7 км², в том числе 93 817 бессточных озер площадью 1680 км². Озерность территории — около 6,6 %. К востоку озерность уменьшается.

2. Таймыро-Чукотская область охватывает громадное пространство сибирской тундры площадью 2280 тыс. км². За Уральскими горами озерность резко возрастает и на Гыданском, Тазовском полуостровах и Ямале достигает 30 %. Озера преимущественно ледниково-аккумулятивного и термокарстового происхождения. На Чукотке озер гораздо меньше.

II — центральная зона интенсивного сапропеленакопления характеризуется большим разнообразием озер лесной полосы. Относительно теплый климат, избыток влаги наряду с процессами выветривания и