

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Горные машины»

Н.И. Березовский  
Б.В. Курзо  
В.М. Слыш

ТОРФЯНЫЕ И САПРОПЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей  
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»  
и 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию  
в области горнодобывающей промышленности*

М и н с к  
Б Н Т У  
2 0 1 1

УДК 662.331  
ББК 33.345  
Б 48

Рецензенты:  
ст. науч. сотр. ГНУ «Институт  
природопользования НАН Беларуси», канд. техн. наук  
*О.М. Гайдукевич*;  
доц. кафедры «Горные работы»  
Белорусского национального технического  
университета, канд. техн. наук, доцент  
*А.А. Головач*

Б 48      **Березовский, Н.И.**

Торфяные и сапропелевые месторождения: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» и 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства» / Н.И. Березовский, Б.В. Курзо, В.М. Слыш. – Минск: БНТУ, 2011. – 49 с.

ISBN 978-985-525-671-8.

В издании излагаются данные по ресурсам торфа и сапропели в Республике Беларусь, их физико-механические свойства, а также результаты проведенной оценки ресурсов торфа и сапропели и основные сведения по существующим способам их добычи.

Предназначено для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» и 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства», а также может быть полезна для аспирантов и научных сот рудников.

УДК 662.331  
ББК 33.345

ISBN 978-985-525-671-8

© Березовский Н.И., Курзо Б.В.,  
Слыш В.М., 2011  
© БНТУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. РЕСУРСЫ САПРОПЕЛЯ БЕЛАРУСИ.....	5
2. СТРОЕНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ САПРОПЕЛЯ.....	13
3. СОСТАВ И СВОЙСТВА САПРОПЕЛЯ.....	23
3.1. Физические свойства сапропеля.....	23
3.2. Органическое вещество сапропеля.....	25
3.3. Минеральные вещества сапропеля.....	28
3.4. Агрохимические свойства сапропеля.....	31
4. ОЦЕНКА РЕСУРСОВ САПРОПЕЛЯ.....	32
4.1. Классификация запасов сапропеля.....	32
4.2. Стадии проведения геологоразведочных работ на сапропель.....	34
4.2.1. Детальная разведка.....	36
4.2.2. Предварительная разведка.....	36
4.2.3. Поисково-оценочные работы.....	37
4.2.4. Поисковые работы.....	39
5. ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ САПРОПЕЛЯ.....	39
6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ САПРОПЕЛЯ.....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Сапропели – органигенные образования пресноводных водоемов с содержанием органического вещества более 15 %. Формирование вещественного состава донных отложений озер обуславливается внешними (климат, рельеф территории, характер покровных пород, почв и растительности) и внутренними (форма озерной котловины, гидродинамический и гидрохимический режим водной массы, интенсивность развития биологической жизни) факторами.

На территории Беларуси около 1900 озер ледникового происхождения площадью более 1 га. Почти все они сапропелепродуктивные. 78 % озер сосредоточены на севере страны в Белорусском Поозерье.

Сапропелевые месторождения образуются в результате последовательного напластования различных по составу слоев озерных отложений, которые отражают историю развития водоемов. Постепенное заполнение котловины озера осадками приводит к его обмелению.

На территории Беларуси выявлено около 1000 торфяных месторождений, подстилаемых озерными отложениями. Сапропели встречаются в каждом третьем торфяном месторождении.

Основными направлениями использования сапропеля являются сельское хозяйство, медицина, промышленность строительных материалов, буровая техника. Сапропели широко используются для получения удобрений. Благодаря высоким сорбционным свойствам, сапропели служат хорошей основой для высокоэффективных комплексных полнокомпонентных удобрений, а так же являются составной частью различных видов компостов. Они используются в качестве минерально-витаминных препаратов для скармливания животным и птицам. Они применяются в бальнеологии в качестве лечебных грязей, а так же для получения на их основе лечебных препаратов. Органические сапропели, используемые для приготовления лечебных грязей, гомогенны, имеют высокую теплоемкость и теплоудерживающую способность, в широком интервале влажности сохраняют пластичность и липкость. Малозольные сапропели используются в технологиях производства пористых керамических изделий, аглопорита, теплоизоляционных материалов, связующего для древесноволокнистых плит. Выявлена пригодность сапропелей в качестве компонентов промывочных жидкостей при бурении скважин, как заменителей дорогостоящих и дефицитных реагентов.

Исследование свойств торфа и сапропелей при разведочных и проектно-изыскательских работах являются важнейшим звеном не только при проектировании и строительстве добывающих предприятий, но также необходимы на протяжении всей деятельности предприятий, из-за необходимости ежегодно проводить работы по паспортизации производственных участков.

## 1. РЕСУРСЫ САПРОПЕЛЯ БЕЛАРУСИ

Беларусь относится к странам не обладающим в достаточной мере собственными ресурсами ценных руд и высококачественных горючих ископаемых, на которых базируется современная тяжелая и химическая промышленность. В условиях нашей республики основной местной сырьевой базой для развития промышленности могут служить значительные запасы древесины, калийной соли, песчано-гравийных материалов, отложения торфа и сапропеля, накопившиеся в течение тысячелетий в болотах и озерах. Ресурсы практически нетронутого человеком сапропеля в озерах и болотных массивах составляют более 4 млрд м<sup>3</sup>.

Территория Беларуси отличается хорошей изученностью озерного сапропеля. Первые геологоразведочные работы были проведены в 30-х гг. прошлого века [1, 2]. Планомерные изыскания осуществлялись в 70–90-х гг. К настоящему времени детальная разведка сапропеля (категория оценки запасов А) выполнена на 71 озере. Поисково-оценочные работы (категория оценки запасов С<sub>2</sub>) проведены на 590 водоемах [3]. Кроме того, насчитывается около 200 озер, запасы сапропеля в которых оценены прогнозно по незначительному количеству разведочных пунктов бурения. Для остальных 1070 неизученных озер прогнозные ресурсы сапропеля подсчитаны с учетом их площади и средней мощности осадков в исследованных водоемах в пределах каждого административного района (категория прогнозных ресурсов Р).

В табл. 1 представлены данные по изученности и составу озерного сапропеля Беларуси на 01.01.2011 г.

Таблица 1 – Изученность и типологический состав озерного сапропеля Беларуси (по состоянию на 01.01.2011 г.)

Область	Общие геологические запасы, млн т	Категория разведанных запасов, млн т		Прогнозные ресурсы, млн т	Тип сапропеля, % от общих запасов			
		А	С <sub>2</sub>		органический	кремнеземистый	карбонатный	смешанный
Брестская	31,8	12,2	16,5	3,1	47	35	1	17
Витебская	606,3	28,3	470,6	107,4	15	75	4	6
Гомельская	23,7	17,8	4,1	1,8	13	83	1	3
Гродненская	31,5	6,0	19,3	6,2	9	33	31	27
Минская	160,3	13,9	91,4	55,0	14	52	14	20
Могилевская	10,7	7,7	2,4	0,6	49	14	1	36
Всего	864,3	85,9	604,3	174,1	17	68	6	9

Разведанные запасы составляют 690,2 млн т. Прогнозные ресурсы в неисследованных озерах оцениваются в 174,1 млн т. Общие геологические запасы сапропеля составляют 864,3 млн т, из которых 10 % разведано по категории А и 70 % предварительно оценено по категории С<sub>2</sub>. Неисследованными являются около 20 % общих ресурсов сапропеля в озерах.

Наибольшие ресурсы сапропеля озер сосредоточены в Витебской области, на севере Минской, в Гродненском, Ивацевичском, Житковичском и некоторых других районах (рис. 1).

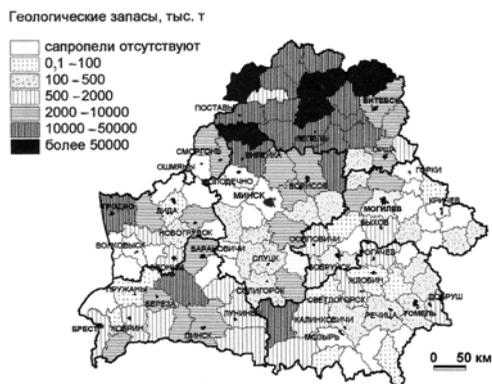


Рисунок 1 – Картосхема размещения общих геологических запасов сапропеля по административным районам

В зависимости от озерности и природных факторов запасы сапропеля и их вещественный состав заметно отличается. Как показывает опыт проведения геологоразведочных работ, даже в пределах одного месторождения иногда насчитывается до четырех типов осадков, несколько классов и видов сапропеля. Сапропель органического типа, имеющий зольность до 30 %, сосредоточен в основном в озерах Брестской и Могилевской областей. Кремнеземистый сапропель зольностью более 30 % (с преобладанием алюмосиликатов в золе) превалирует в озерах Витебской, Гомельской и Минской областей. В Гродненской области велика доля карбонатного сапропеля (с преобладанием в золе  $\text{CaCO}_3$ ).

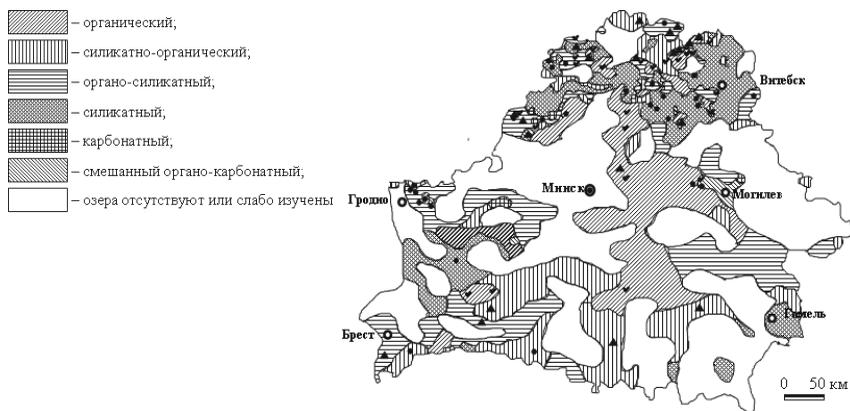
Полученные данные по ресурсам сапропеля обобщены в кадастрах сапропелевых отложений озер Беларуси [4]. В 1987 и 1991 гг. изданы дополнительные тома с исследованными в 1981–1985 и 1986–1991 гг. сапропелевыми месторождениями. В кадастрах содержатся сведения о географическом положении месторождений, запасах сапропеля различных генетических типов, приведены агрохимические характеристики и валовый химический состав, указаны возможные направления использования разведанных запасов в народном хозяйстве.

Для оперативной корректировки информации, ее обработки с целью получения итоговых отчетов по запросам пользователей разработан электронный вариант кадастра сапропелевых отложений озер Беларуси, который включает в себя информационные базы данных по всем изученным характеристикам сапропелевых месторождений, графическую информацию (планы месторождений) и инструментальные средства представления и корректировки информации. Электронный кадастр дает возможность не только получать и анализировать картосхемы размещения сапропелевых озер и планы разведанных месторождений, но и оперативно находить все имеющиеся качественные характеристики сапропеля по областям, районам и отдельным объектам.

Для систематизации информации по ресурсам сапропеля при анализе их размещения и использования, сформулированы принципы и впервые разработана классификация озерных месторождений сапропеля [5], которая учитывает предложенную ранее генетическую классификацию сапропелевых залежей [6]: природные усло-

вия среды осадкообразования, способ образования и главные источники осадочного материала, последовательность напластования сапропеля в залежи, а также мощность перекрывающей толщи воды, общий объем запасов. На основе баз данных электронного кадастра озерных месторождений сапропеля выполнено районирование территории республики по вещественно-генетическим типам современного озерного осадконакопления (рис. 2).

Выполненное районирование сапропелепродуктивных площадей республики дает возможность выделять районы со схожими процессами озерного осадконакопления и определять перспективные базы сапропелевого сырья для использования в земледелии, животноводстве, бальнеологии и других сферах хозяйства. Созданные для электронного кадастра базы данных по сапропелю и карта сапропелевых месторождений республики позволяют решать специальные задачи. Например, для Национального атласа Республики Беларусь с использованием разработанных информационных систем методом картограммы построена представленная выше (см. рис. 1) карто-схема общих геологических запасов сапропеля по административным районам республики.



*Условные обозначения:*

повышенное содержание железа – ▲; серы – ♥; кальция – ●.

Рисунок 2 – Районирование территории Беларуси по типу современного озерного осадконакопления

С использованием метода изолиний построена картосхема прогнозной обеспеченности пахотных угодий извлекаемыми запасами сапропелевого сырья (рис. 3).

На территории республики широко развиты озерно-болотные комплексы (ОБК) – специфические природные объекты, состоящие из озер и прилегающих болот. В пределах данных природных образований выделяется один, два и более генетических центров, которые занимают самые пониженные участки рельефа минерального ложа. Из генетических центров произошли первичные очаги заболачивания. Часто переуглубления такого рода были заняты озерами, которые сформировали слой сапропеля. Впоследствии они перекрывались торфом и трансформировались в одно или несколько болот.

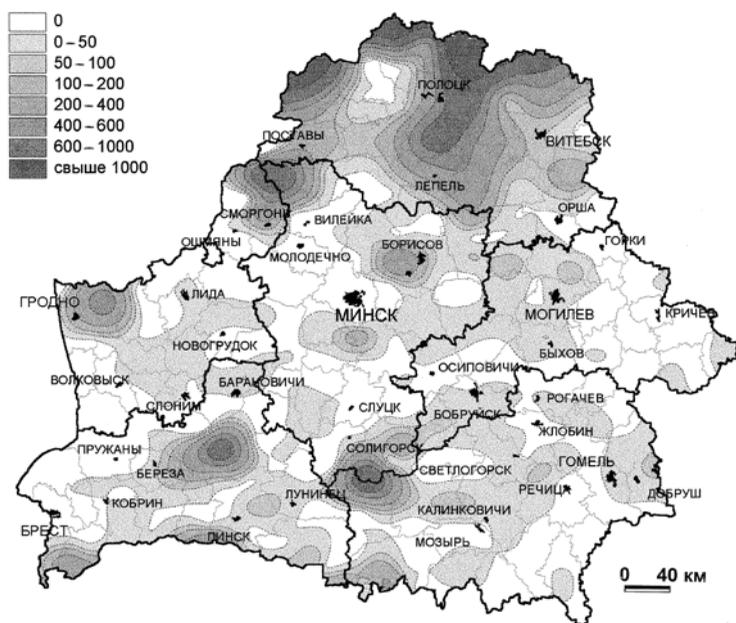


Рисунок 3 – Картосхема обеспеченности пахотных угодий извлекаемыми запасами сапропеля, тыс. т

В последнее время интерес к ресурсам сапропеля на торфоучастках обусловлен тем, что их освоение является более простой технической задачей, чем разработка озерных залежей из-под воды. На

торфяных болотах возможно применение простых технологий добычи с помощью экскаваторов. Использование созданных для добычи торфа инженерных сооружений, пониженная влажность погребенных под торфом сапропеля, делает разработку донных отложений на выработанных торфоучастках на 20–50 % энергетически более выгодной, чем озерных.

Ресурсы сапропеля под торфом определены по данным торфяного фонда Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Установлено, что приблизительно каждое третье болото на территории республики образовалось на месте позднеледниковых озер.

Чаще всего болота с сапропелем встречаются в Поозерской провинции, где в 69 % изученных торфяных месторождений зафиксированы донные отложения. В Полесском регионе таких болот значительно меньше – 36 %, а в Центральной провинции – только 24 %. По количеству больше всего торфяных месторождений с сапропелем выявлено в Поозерье – 217. Большинство болот здесь имеют площадь от 200 до 600 га, что заметно ниже, чем в Центре и Полесье. Общая площадь залежей сапропеля в Центральной провинции составляет 24,2 тыс. га, в Полесье – 19,03 тыс. га и в Поозерье – 17,5 тыс. га. Если эти цифры сопоставить с площадью торфяных месторождений, то в Поозерье более 19 % площади болот подстилается сапропелем, в Центральных областях – 8,4 %, в Полесье – только 6,5 %.

К важным характеристикам сапропелевых залежей относится средняя мощность осадков. На отдельных торфяных месторождениях она сопоставима со средней мощностью залегающих над ними слоев торфа. На месторождениях где торф представлен в виде маломощных сплавин над озерными осадками, средняя мощность последних может существенно превосходить глубину торфа. В табл. 2 приведены результаты сравнения мощности торфа и подстилающего сапропеля для месторождений с наличием озерных осадков. Средняя мощность торфа и сапропеля в болотах с наличием озерных отложений в западной части республики закономерно уменьшаются от северных районов к южным. На севере и в центре республики средняя мощность торфа превосходит среднюю мощность сапропеля в два раза, а в Полесье – почти в три раза.

Таблица 2 – Средняя мощность торфа и подстиляющего сапропеля на торфяных месторождениях западной части республики (числитель – пределы изменения, знаменатель – среднее значение и стандартная ошибка)

Провинция	Кол-во месторождений	Средняя мощность, м	
		торф	сапропель
Поозерская	207	$\frac{0,7-5,1}{2,4\pm 0,05}$	$\frac{0,1-4,3}{1,14\pm 0,04}$
Центральная	196	$\frac{0,8-5,0}{2,0\pm 0,06}$	$\frac{0,2-3,8}{0,92\pm 0,05}$
Полесская	119	$\frac{0,6-4,2}{1,4\pm 0,05}$	$\frac{0,1-2,5}{0,56\pm 0,04}$
Вся территория	522	$\frac{0,6-5,1}{2,0\pm 0,04}$	$\frac{0,1-3,8}{0,93\pm 0,03}$

По материалам торфяного фонда сапропель выявлен в 1256 болотах из 4396, на которые имеются фондовые материалы разведки. Распределение болот, начинавших свое развитие с озерной стадии, по областям республики отличается неравномерностью. В Могилевской области озерную стадию прошло лишь одно болото из десяти, в Гродненской, Минской и Гомельской – приблизительно каждое пятое болото имеет в основании торфяных разрезов озерные осадки, в Брестской области – каждое третье. Больше всего древних мелководных озер, со временем перекрытых торфом, выявлено в Витебской области, где более половины (54 %) торфяных месторождений подстилается сапропелем.

Средняя площадь сапропелевых залежей на торфяных месторождениях, как правило, меньше 100 га и лишь в Брестской области она заметно выше, однако средняя мощность озерных осадков под торфом здесь невелика – всего 0,64 м при средней для всех месторождений республики 1 м [7]. Повышенными темпами заиления древних озер отличаются Витебская и Гродненская области, где средние расчетные мощности сапропеля под торфом равны соответственно 1,16 м и 1,26 м. Разведанные общие ресурсы сапропеля под торфяными залежами составляют 1126,8 млн м<sup>3</sup> или 653 млн тонн.

Запасы сапропеля по торфам разделены на типы согласно стандарту на промышленно-генетическую классификацию (СТБ 17.04.02-01–2010) [8] и представлены в табл. 3. Обращает на себя внимание сравнительно равномерное соотношение органического, карбонатного и кремнеземистого сапропеля по областям с небольшим преобладанием последнего.

Таблица 3 – Типологический состав сапропеля на торфяных месторождениях Беларуси, млн м<sup>3</sup>

Область	Общий объем	Объем сапропеля по типам					Прогнозные ресурсы
		органический	кремнеземистый	карбонатный	смешанный	не установлен	
Брестская	180,2	41,3	51,2	69,0	13,7	5,0	1,0
Витебская	627,8	218,1	214,4	115,1	59,0	21,2	93,0
Гомельская	63,2	16,7	27,4	16,1	1,4	1,6	14,3
Гродненская	89,5	6,1	24,2	51,1	7,4	0,7	2,3
Минская	117,8	27,3	31,8	36,9	17,2	4,6	9,6
Могилевская	48,3	13,6	12,9	13,3	5,4	3,1	10,3
Всего	1126,8	323,1	361,9	301,5	104,1	36,2	130,5

Сапрпель под торфом северных районов республики отличается преобладанием органических разностей в силу изолированности большинства древних озер, формировавших донные отложения в этот период. В Центральной и Полесской провинциях под торфом преобладает карбонатный сапрпель, однако доля органического и кремнеземистого типов остается довольно высокой. Повышенное накопление смешанного сапропеля в основании торфяных залежей характерно для Центральной провинции, особенно в Минской и Могилевской областях.

В озерах преобладают кремнеземистый тип сапропеля, запасы которого составляют около 70 % общего объема отложений. Сапрпель под торфом, в силу большего содержания органического вещества, значительная часть которого имеет торфяной генезис, и нали-

чию карбонатного материала отличается более сбалансированным для использования в различных отраслях хозяйства, вещественным составом, чем сапропель современных озер.

Общая площадь выработанных и находящихся в эксплуатации торфяных месторождений Беларуси составляет около 232 тыс. га (N. Vambalov, I. Tanivitsky и др., 2000). Площадь залежи озерных отложений на перспективных для добычи сапропеля выработанных участках оценивается в 59,2 тыс. га при средней мощности сапропелевых осадков около 1 м. Объем сапропеля здесь равен 574,16 млн м<sup>3</sup> или почти 352 млн тонн, а извлекаемые запасы составляют 108 млн тонн. Преобладает кремнеземистый сапропель – 35 % общего объема. Органические и карбонатные осадки составляют соответственно 27 % и 26 % общего объема, смешанные – 11 %.

Выделено 487 перспективных для разработки сапропеля выбывших из эксплуатации торфяных месторождений, картосхема размещения которых представлена на рис. 4.

Из исследованных торфяных участков с сапропелем 96 относится к категории весьма перспективных (64 таких участка расположено в Витебской области). 155 участков с сапропелем относится к категории перспективных и 236 определены как условно перспективные для добычи сапропелевого сырья.

## 2. СТРОЕНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ САПРОПЕЛЯ

По вещественному составу залежи сапропелевого сырья можно разделить на три типа:

- с преобладанием органического сапропеля зольностью до 30 %;
- с преобладанием органо-минеральных отложений зольностью 30–70 %;
- существенно минерализованные залежи, состоящие из сапропеля высокой (более 70 %) зольности.

В результате изучения ресурсов донных отложений озер Беларуси установлено, что третья часть из них содержит слои и мощные пласты ценного органического сапропеля зольностью до 30 %, объем которого составляет 424 млн м<sup>3</sup> или 20 % от общих запасов [3].

Формированию органического сапропеля в озерах способствует низкая минерализация питающих вод, слабая расчлененность релье-

ефа водосборов и заболоченность приозерий, отсутствие или низкая проточность водоемов. В озерах восточной части Центральной провинции и на западе Полесской, в силу сложившихся природных условий, органические осадки составляют около половины всех ресурсов сапропеля.



Рисунок 4 – Картосхема размещения выработанных торфяных месторождений, перспективных для добычи сапропеля

Послойное исследование осадков озер-органонакопителей позволило выделить три основные схемы их эволюции. Наиболее распространенная связана с прогрессирующим во времени и пространстве заболачиванием прибрежных территорий, в результате чего осадки отличаются высокой гумусностью. Типичный разрез таких осадков изучен в озере Слобода Ушачского района [10]. Второй вариант строения залежей формируется в бессточных мелководных

озерах с нерасчлененными, слабо заболоченными приозерьями. В силу незначительного влияния гумусированных болотных вод в таких озерах отмечаются самые высокие скорости прироста и максимальные мощности осадков водорослевого генезиса (типичный объект – озеро Судобль Смолевичского района [11]). Заметно реже, по сравнению с первыми двумя вариантами, распространен органический сапропель в бессточных глубоких озерах с низкой минерализацией воды и повышенной расчлененностью рельефа водосборов. Сформированные здесь малозольные осадки имеют смешанный водорослево-макрофитный генезис и изучены на примере стратотипов в озерах Святское Ветковского и Лутово Ушачского районов [12].

В результате послойного изучения вещества выявлена значительная биологическая неоднородность залежей органического сапропеля, которая определяется разнообразием природных условий формирования и связана с эволюцией озерных экосистем на протяжении последних тысячелетий. Установлено, что содержание и структура гуминовых кислот сапропеля зависят от состава озерных биоценозов в период формирования осадков. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие с приемлемой для прогнозных расчетов точностью оценивать по результатам биологического анализа зольность сапропеля, и содержание в нем таких важных в генетическом и практическом отношении компонентов органического вещества, как гуминовые кислоты (далее ГК) и легкогидролизуемые вещества [13].

Исследования группового состава органического вещества по вертикальному разрезу залежей с малозольным сапропелем показали, что максимальные количества гуминовых кислот содержатся в приповерхностном слое. С увеличением возраста осадков количество ГК и относительная доля химически «зрелой» фракции в них уменьшаются, что свидетельствует о разрушении алифатической части молекулы. Сказывается также незначительное влияние болот на формирование органического вещества сапропеля в начале образования осадков. Для сапропеля проточных озер характерно высокое относительное содержание фракции I в ГК, что подтверждает важность реакций окисления в процессе гумификации органического вещества [14].

Для целей практического использования определены и систематизированы месторождения органического сапропеля с различным содержанием гуминовых веществ. Среднее содержание гуминовых кислот в органическом сапропеле составляет около 25 %. В зависимости от их концентрации ресурсы сапропеля исследованных озер-органонакопителей разделены на высокогумусные или торфосапропели (содержание ГК более 30 %), умеренно гумусные или торфянисто-водорослевые (ГК 20–30 %) и малогумусные или водорослевые (ГК менее 20 %).

Основную часть запасов в озерах составляет сапропель зольностью 40–60 %, который формируется в водоемах с органо-минеральными залежами сапропеля. На состав осадков таких озер оказывают одинаковое влияние как внутренние, так и внешние факторы: состав и строение толщи антропогенных пород водосборов, расчлененность рельефа, интенсивность водообмена и др. Разведанные запасы органо-минерального сапропеля наиболее велики и составляют 1340 млн м<sup>3</sup>. Озерные месторождения сапропеля с содержанием органического вещества (ОВ) 30–70 % абсолютно преобладают во всех природных провинциях республики [3]. Ресурсы минерального сырья в них составляют около 60 % общих разведанных запасов в Поозерье, 65 % в Полесье и 82 % в Центральной провинции.

Содержание органического вещества в сапропеле озер с органо-минеральными залежами зависит от типа осадков и в среднем составляет 42 % сухого вещества (табл. 4). С карбонатным сапропелем связано наименьшее количество ОВ – до 30,9 %, в смешанном сапропеле его содержание возрастает до 36,8 % и в кремнеземистом – до 42,4 %. В таком же порядке увеличивается содержание алюмосиликатов, которые являются здесь часто осадкообразующими и в обратном – серы. Вариации концентраций общего железа и фосфора в различных типах минерализованного сапропеля, как правило, синхронны, причем наибольшие концентрации этих соединений отмечаются в смешанном сапропеле – до 5,8 % и 0,69 % сухого вещества соответственно, а наименьшие содержания общего железа (3,3 %) и фосфора (0,43 %) в карбонатном сапропеле, что существенно выше, чем в органическом.

В отличие от озер-органонакопителей, в водоемах с минерализованными залежами повышена роль соединений кремния и алюми-

ния, а по сравнению с озерами с минеральными осадками в отдельные периоды эволюции установлено высокое содержание кальция, серы, железа, фосфора. Органическое вещество кремнеземистого и смешанного сапропеля из озер с минерализованными залежами отличается от сапропеля других типов высоким общим накоплением ГК, которые имеют повышенное количество функциональных групп и высокую степень окисленности, что может быть связано с обилием глинистого материала.

В осадках наиболее распространенных на территории Беларуси озер с органо-минеральными залежами и планктонным характером органического вещества преобладают аутигенные (хемогенные) формы кальция. Обломочные и органо-минеральные формы накапливаются в 5–10 раз меньше. Установлено, что органические формы кальция могут преобладать в озерах, тесно связанных притоками с умеренно заболоченными водосборами.

Таблица 4 – Валовый состав сапропеля разного типа из озер с органо-минеральными залежами, % сухого вещества

Тип сапропеля (количество озер)	ОВ	Зола	МВ	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N <sub>общ</sub>	pH (KCl)
Кремнеземистый (626)	42,4	55,2	57,6	2,4	36,2	5,7	1,4	4,0	4,6	1,1	0,48	1,95	6,5
Смешанный (67)	36,8	51,4	63,2	11,8	21,0	2,6	0,7	16,6	5,8	1,6	0,69	1,8	7,3
Карбонатный (104)	30,9	46,0	69,1	23,1	7,2	1,2	0,26	30,6	3,3	1,9	0,43	1,6	7,7
Все типы (839)	42,0	52,2	58,0	5,8	30,3	4,7	1,2	8,3	4,4	1,3	0,47	1,9	6,7

Главными условиями результативного карбонатакопления, которые способствуют формированию промышленных запасов карбонатного сырья в озерах являются:

- легкий механический состав покровных пород водосбора;
- значительный, более 10–15 м, врез озерной котловины и дренирование ее преимущественно подземными водами;
- повышенная прозрачность и низкое содержание ОВ в озерных водах;
- стабильный водный и гидродинамический режим с постоянным пересыщением водной массы карбонатом кальция (CO<sub>2</sub> сво-

бодной < CO<sub>2</sub> равновесной), зависящий от интенсивности процессов фотосинтеза [15, 16]. Большое значение при этом имеют морфометрические особенности озерных котловин. В связи с многофакторностью интенсивность карбоната накопления сильно варьирует в озерах одного района и даже в пределах отдельного озера, что усложняет его прогноз. Выделены три типа процесса карбоната накопления и несколько его разновидностей (рис. 5).



Рисунок 5 – Эволюционные типы карбоната накопления в озерах Беларуси, их временная и пространственная дифференциация

Наиболее распространенным является реликтовый процесс образования карбонатов с максимумом в начальное время формирования залежей сапропеля, который имеет преимущественно зональное, реже сплошное распространение. В единичных озерах с непрерывным карбоната накоплением процесс локализован на ограниченных участках либо характерен для литорально-сублиторальной кольцевой зоны водоемов. Современное карбоната накопление, связанное с сильным антропогенным преобразованием морфометрических и гидробиологических параметров озер, также встречается редко и локализуется на мелководных участках. В целом в озерах Беларуси процесс карбоната образования уступает по масштабам проявления накоплению органического вещества и силикатов.

В результате изучения обстановок и условий фосфата накопления в сапропеле установлено, что повышенные концентрации фосфора в разрезах осадков и поверхностных горизонтах характерны для озер с органо-минеральным сапропелем [17]. Фосфор в озерные бассейны

поступает главным образом в виде взвесей, сорбированных на гидроксидах железа и глинистых минералах. В озерном сапропеле трех геохимических провинций выявлены высокие коэффициенты корреляции между содержанием фосфора и общего железа ( $r = 0,52 - 0,76$ ).

Подвижные соединения фосфора составляют в сапропеле от 10 % до 20 % валового  $P_2O_5$  и больше характерны для карбонатного типа. Соотношение минеральных и органических форм определяется степенью минерализации осадков и интенсивностью окислительных процессов. Минеральная форма фосфора, составляющая в сапропеле до 80 %, больше присуща кремнеземистому и смешанному типам, органическая преобладает в малозольных и карбонатных осадках.

Для сапропеля Беларуси установлены фоновые концентрации фосфора, которые в Поозерье составляют 0,32 %, Центральной провинции – 0,40 % и Полесье – 0,70 %. Это позволяет характеризовать донные отложения и рассматривать полученные значения как достоверные исходные критерии при определении природных аномалий и фиксации антропогенного загрязнения современных озерных осадков. В соответствии с рассчитанными статистическими параметрами месторождения сапропеля разделены на четыре группы: с содержанием фосфора ниже фона, в пределах фоновых значений, с наличием слабой аномалии и с аномальным содержанием (табл. 5).

Таблица 5 – Критерии деления и группировка сапропелевых месторождений по среднему содержанию фосфора в осадках, % сухого вещества

Провинция	Содержание ниже фона	Фон	Слабая аномалия	Аномальное содержание (при уровне значим. 0,05)	Месторождения			
					со слабой аномалией		с аномальным содержанием	
					кол-во	%	кол-во	%
Поозерская	менее 0,2	0,2–0,55	0,56–0,92	свыше 0,92	79	12	29	5
Центральная	менее 0,1	0,1–0,7	0,71–1,2	свыше 1,2	15	14	11	10
Полесская	менее 0,25	0,26–1,6	1,61–3,1	свыше 3,1	11	16	1	1
Вся территория					105	13	41	5

Составлена картосхема размещения фосфатсодержащего агрохимического сырья, на которой показаны участки с содержанием фосфора в сапропеле выше и значительно выше местного уровня (фона) (рис. 6). Выделенные площади перспективны для поисков обогащенных фосфатами залежей сапропеля в неисследованных озерах и болотах, расположенных на их водосборах.

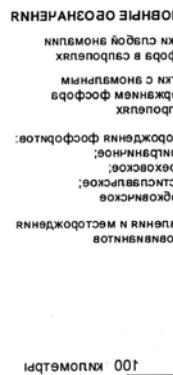


Рисунок 6 – Картосхема размещения участков с повышенным содержанием фосфора в сапропеле

В отдельных залежах сапропеля установлены аномальные содержания серы ( $SO_3$ ), которые связаны с высоким содержанием сульфат-ионов в питающих водах, изоляцией сапропеля от кислорода атмосферы, специфическим биологическим составом сапропеля и наличием в ОБ значительного количества легко усвояемых компонентов белково-углеводной природы, являющихся питательной средой для редуцентов серы – сапрофитных и сульфатредуцирующих бактерий, наличием в осадках минералов карбонатной системы, что создает благоприятную для деятельности микроорганизмов нейтральную и слабощелочную среду, высокой, более 1 мм в год, средней скоростью накопления осадков [18].

Процессы активной сульфатредукции при сочетании благоприятных факторов протекают не только в верхнем слое залежей, но и прослеживаются также на стадии позднего диагенеза осадков на больших глубинах при условии наличия слабо преобразованного и легко усвояемого ОВ водорослевого генезиса и достаточного количества сульфатов. В таких случаях имеет место диффузное перераспределение сульфатов в процессе медленного преобразования (диагенеза) осадков, что схематично показано на диаграммах рис. 7.

Зоны характерных химических реакций	Интервал глубин осадков, м	Схема газообмена в процессе диагенеза сапропеля	
Атмосфера			
Вода			
<p><b>Зона окисления</b></p> $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	менее 1,0		
<p><b>Зона слабого окисления</b></p> $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ $2\text{H}_2\text{S} + \text{C}_{\text{орг.}} \rightarrow \text{S} + \text{CH}_4$	1,0–6,5		
<p><b>Зона сульфидизации</b></p> $\text{H}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{FeS} + 2\text{H}_2\text{O}$	3,0–7,0		
<p><b>Зона сульфатредукции</b></p> $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_{\text{орг.}} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}$	свыше 5,5		

Рисунок 7 – Схема минералообразования при диагенезе сапропеля озера Беленец Полоцкого района

Невысокий фон железнакопления в сапропеле Беларуси дает основание исключить этот элемент из категории типологических и считать его примесью к основным осадкообразующим компонентам – органическому веществу, карбонатам, силикатам и глинозему. С другой стороны, вариации содержания железа в разрезах озерных осадков позволяют использовать его в качестве индикатора изменения геохимической обстановки осадконакопления. Озера с высокозольными осадками имеют ограниченное распространение и преоб-

ладают в восточной и юго-западной части Поозерья. Ресурсы разведенных здесь сапропеля и ила по объему уступают ресурсам осадков в озерах-органонакопителях и озерах с минерализованными залежами, составляя около 377 млн м<sup>3</sup> или 17 % общих учтенных в кадастрах запасов. Повышенная проточность озер с минеральными залежами, поставка обломочного терригенного материала по впадающим притокам или с расчлененных и возвышенных приозерных площадей способствуют тому, что в них сосредоточены запасы преимущественно высокозольного кремнеземистого сапропеля, которые составляют более 90 % общего объема отложений. Сапропель органического типа здесь не выявлен, а ресурсы карбонатного и смешанного типов крайне ограничены и размещены, как правило, в сублиторальной зоне глубоководных озер.

Изучение руководящих ископаемых остатков и геохимической стратиграфии осадков в типичных озерах с минеральными залежами показало, что проточные озера с сапропелем высокой зольности развивались в основном как накопители кремния. Стратотип данных осадков изучен в озере Большое Исно Ушачского района [19]. Более изолированные озера имеют слабое проявление карбонатности на начальных этапах эволюции (стратотип – озеро Долгое Глубокского района [20]). Органическое вещество в залежах минерального сапропеля имеет водорослевый генезис при значительном участии диатомовых водорослей и содержании легкогидролизуемых веществ в 2–3 раза большем, чем содержание гуминовых кислот. Концентрация диатомовых остатков способствует тому, что накопление соединений аморфного кремнезема в некоторых образцах кремнеземистого и смешанного сапропеля может достигать 20 % на сухое вещество, составляя в среднем 4,4 % и 3,7 % соответственно, в органическом сапропеле – 2,7 % карбонатном – 1 %. Установлено, что во всех слоях осадков исследованных разрезов с минеральными залежами суммарное содержание микроэлементов терригенного генезиса (Ti, Zr, Cr, V) превосходит сумму микроэлементов с преимущественно биогенным циклом миграции (Mn, Cu, Co, Zn), что редко фиксируется в осадках озер с менее зольными залежами.

Таким образом, необходимо отметить, что в процессе послойного изучения сапропелевых залежей в пределах различных по природным условиям территорий установлено значительное многообразие хими-

ческого состава и особенностей напластования озерных осадков, связанное с влиянием глобальных и местных природных факторов.

### **3. СОСТАВ И СВОЙСТВА САПРОПЕЛЯ**

Сапропель формируется в результате протекания трех главных процессов: поступления в озеро терригенного материала и растворенного коллоидного органического вещества с водосбора, накопления автохтонного ОВ, образования аутигенных минеральных и органоминеральных соединений.

Внешне сапропель имеет вид желеобразной массы с консистенцией близкой к сметанообразной с постепенным уплотнением при увеличении глубины отложений. Отличительным признаком сапропеля является коллоидная структура.

#### **3.1. Физические свойства сапропеля**

Окраска сапропеля очень разнообразна: темно-оливковая, коричневая, серая, почти черная, серо-желтая, голубоватая, розовая и даже красная. Цвет играет большую роль при глазомерной оценке сапропеля, так как указывает на присутствие некоторых органических и неорганических компонентов: оливковый – хлорофилла, розовый – каротина или марганца, голубоватый – вивианита, черный – железа, серый – глины или извести. Извлеченный из залежи сапропель на воздухе быстро окисляется и теряет естественную окраску. Как правило, сапропель не имеет запаха, только отдельные разновидности могут издавать запах сероводорода.

Специфической особенностью сапропеля является высокое влагонасыщение в естественном состоянии. Естественная влажность сапропеля варьирует в больших пределах 73,5–97,8 %, что обусловлено различием характеристик органического вещества и химического состава минеральной части (табл. 6). Сапропель в естественном состоянии избыточно увлажнен, т. е. его естественная влажность, как правило, выше полной влагоемкости. Сапропель нижних слоев залежи уплотнен и имеет влажность 70–80 %, а верхних – отличаются повышенной влажностью – 87–98 %.

Полная влагоемкость сапропеля, как и влажность, в значительной степени зависит от состава и содержания ОВ и колеблется в пределах 56,3–95,2 %. Большая часть сапропеля имеет полную вла-

гоемкость 86–95 % и лишь высокозольные отложения характеризуются влагоемкостью до 65 %.

Таблица 6 – Характеристика физических свойств сапропеля Беларуси различного типа

Тип сапропеля	Влажность, %	Влагоемкость, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	Дисперсность, содержание фракций, %			
					свыше 250 мкм	250–100 мкм	100–50 мкм	менее 50 мкм
Органический	93,1	87,4	1,1	1,59	14,3	19,9	12,4	53,4
Кремнеземистый	92,3	82,5	1,16	2,24	8,9	18,9	18,7	53,5
Карбонатный	85,4	78,0	1,17	2,28	13,2	23,1	16,6	47,1
Смешанный	90,7	86,6	1,09	2,00	11,2	20,6	17,2	51,0

Плотность твердой фазы сапропеля определяется количественным и качественным составом минеральной части. По показателю плотности типы сапропеля располагаются в ряд (по мере увеличения): органический 1,4–2,1, смешанный 1,4–2,8, кремнеземистый 1,4–3,0, карбонатный 1,4–3,0. Большая вариабельность плотности сапропеля объясняется в основном различиями в содержании, а также химической природой минеральных компонентов.

Плотность сапропеля естественной влажности – важный технологический показатель при расчетах запасов сырья и определении выхода товарной продукции, изменяется в пределах 1,05–1,45 г/см<sup>3</sup>. Плотность увеличивается при высухании сапропеля, причем для минеральных видов эти изменения менее заметны, чем для малозольных.

Дисперсность сапропеля варьирует в широких пределах. Характерно, что большинство разновидностей сапропеля содержит мало фракций размером более 250 мкм, то есть сапропель в основном тонкодисперсное полезное ископаемое. Наибольшее количество фракций размером более 250 мкм содержат органический и карбонатный сапропель: в среднем 14,3 и 13,6 % соответственно. Это обусловлено значительным количеством остатков высшей водной растительности и торфянистых остатков в формировании сапропеля органического

типа и присутствием глинисто-железисто-карбонатных агрегатов, обломков ракушечника в сапропеле карбонатного типа. Самым высокодисперсным является сапропель органического типа. В целом сапропель полидисперсен и по показателю дисперсности (отношение веса фракции крупнее 250 мкм к весу фракции мельче 50 мкм) располагается в ряд (в сторону увеличения): органический – 0,45, карбонатный – 0,44, смешанный – 0,35, кремнеземистый – 0,22.

### 3.2. Органическое вещество сапропеля

Органическая часть сапропеля состоит из аморфного детрита и остатков водорослей, животных и высших растений, различаемых под микроскопом. Количество ОВ в сапропеле зависит от соотношения таких осадкообразующих процессов, как фотосинтез и принос аллохтонного ОВ, поступление терригенного обломочного материала и образование аутигенных соединений, а также деструкция ОВ в водной массе и осадке.

Общими показателями, характеризующими сапропелевые осадки, являются соотношение их органической и минеральной составляющих, уровень зольности и состав золы как важнейший критерий определения типа сапропеля. Органическая часть сапропеля оценивается по групповому и элементному составу.

Компонентный состав ОВ сапропеля достаточно сложен. Сапропель отличается относительно низким содержанием битумов (табл. 7). Лишь в отдельных слоях их количество достигает 6,0–8,4 % на ОВ. Основная часть сапропеля содержит бензолный экстракт битумов в количестве 3,5–4,0 % на ОВ.

Содержание гуминовых веществ в сапропеле варьирует в широких пределах – от 6,7 % до 71,2 % на ОВ. Гуминовые вещества более чем наполовину состоят из гуминовых кислот. Фульвокислоты определяются в небольших количествах (1–3 % на ОВ). ГК являются новообразованиями озерных водоемов и характеризуются наличием преимущественно алифатических структур, лишь в торфосапропелях обнаруживаются ароматические фрагменты в повышенных количествах. Сапропель разных горизонтов генетически однородной залежи имеет практически одинаковый состав и свойства гуминовых кислот. Для ГК сапропеля характерно повышенное содержание азота

(до 7 %) и водорода (до 7,2 %). До 60 % азота ГК сапропеля представлено аминокислотами. ГК играют значительную роль в миграции и накоплении в сапропеле многих макро- и микроэлементов, взаимодействующих с ними при образовании комплексных соединений. Содержание и структура ГК влияют на такие свойства сапропеля, как биологическая активность, биохимическая устойчивость, клеящая способность, бальнеологические свойства и другие, определяющие направление использования сапропеля в народном хозяйстве.

Легкогидролизуемые вещества (ЛГ) составляют от 6,0 % до 53,9 % на ОВ. В сапропеле мало трудногидролизуемых веществ (ТГ) – от 0,1 % до 14,4 %. Содержание редуцирующих веществ (РВ) во фракциях ЛГ и ТГ составляет 0,4–26,3 % на ОВ. Значительная часть ОВ гидролизатов представлена аминокислотами: присутствуют пролин, фенилаланин, валин, лейцин, агринин, лизин, глутаминовая кислота, цистеин, аспарагиновая кислота, серин, глицин, треонин, аланин, тирозин, метионин.

Углеводы имеют большое значение при использовании сапропеля для приготовления кормовых средств, а также определяют микробиологические процессы в сапропелевых удобрениях.

Содержание негидролизуемого остатка в сапропеле колеблется в пределах 10,8–57,7 % на ОВ. Элементный состав ОВ сапропеля Беларуси (табл. 7) не обнаружил существенных различий как по типам сапропеля, так и по классам. Некоторые различия в содержании С, Н, N, S в пределах одного типа обусловлены составом групповых компонентов.

Разнообразие в содержании групповых компонентов ОВ сапропеля определяет возможность их эффективного использования в различных отраслях народного хозяйства.

Сапропель относится к органическим осадкам с высоким содержанием азота – до 6 % на ОВ. Соединения азота, особенно аминокислоты и подвижные азотсодержащие соединения повышают биологическую активность сапропеля, в связи с чем он является перспективным удобрением, эффективной кормовой добавкой и обладают клеящими свойствами.

Таблица 7 – Среднее содержание компонентов органического вещества в сапропеле Беларуси различного типа, % на ОВ

Тип сапропеля	Групповой состав								Элементный состав				
	битум бензольный	гуминовые вещества		легкогидро-лизуемые вещества		трудногидро-лизуемые вещества		негидролизуемый остаток	С	Н	N	S	О
		фракция	ГК	фракция	РВ в них	фракция	РВ в них						
Органический	4,4	33,6	25,5	27,0	6,4	7,4	1,8	29,0	54,7	6,8	4,3	0,4	33,5
Кремнеземистый	3,9	49,5	26,3	21,6	3,6	6,7	1,8	16,2	52,2	6,6	4,1	0,5	31,5
Карбонатный	3,0	39,8	19,1	30,9	6,7	5,5	2,2	22,9	58,6	7,2	4,8	1,3	29,8
Смешанный	2,8	47,8	28,6	25,7	3,3	5,7	1,6	20,8	56,2	6,8	4,3	0,9	31,2

Таблица 8 – Состав минеральной части сапропеля Беларуси различного типа, % на сухое вещество

Тип сапропеля	Зольность	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>общ.</sub>	$\frac{SiO_2}{CaO}$
Органический	23,6	0,7	13,1	1,5	2,3	2,6	0,5	0,8	0,4	0,3	3,3	5,0
Кремнеземистый	54,6	2,5	36,2	3,9	4,8	4,6	1,3	0,7	0,5	1,5	2,1	10,2
Карбонатный	72,2	24,9	6,8	1,1	3,2	32,4	1,0	0,9	0,4	0,2	1,4	0,2
Смешанный	53,9	8,9	17,2	1,8	8,3	13,4	0,8	1,1	1,0	0,5	2,2	1,3

В сапропеле идентифицированы биологически активные вещества и витамины. В них обнаружен витамин В<sub>12</sub> (кобаламин, 2 мг/кг на СВ), являющийся продуктом синтеза микроорганизмов. Помимо В<sub>12</sub>, в сапропеле имеются и другие витамины группы В, в том числе витамин (В<sub>1</sub>), рибофлавин (В<sub>2</sub>), пантотеновая кислота (В<sub>3</sub>), пиридоксин (В<sub>6</sub>), фолиевая кислота (В<sub>9</sub>). Обнаружены также витамины Е, С, D, Р, а также каратиноиды. Количество бета-каротина (провитамина А) достигает 178 мг/кг сухого вещества. В сапропеле имеются гормоноподобные вещества, ферменты. Сапропель является средой обитания микроорганизмов, выделяющих антибиотики. Наличие антибиотических веществ, обладающих способностью подавлять действие патогенных микроорганизмов, важно при медицинском и сельскохозяйственном использовании сапропеля.

### 3.3. Минеральные вещества сапропеля

Минеральная часть сапропеля довольно разнообразна и обычно представлена глинистыми, песчанистыми и алевритовыми частицами. В минеральном составе первое место, как правило, принадлежит кремнию, содержание которого (в пересчете на SiO<sub>2</sub>) достигает до 70–80 % на золу. Количественный и качественный состав минеральных компонентов в сапропеле зависит от поступления веществ в озеро с речным, грунтовым и поверхностным стоком, химического состава питающих водоем вод, и от комплекса физико-химических и биологических процессов, происходящих в самом водоеме и ведущих к возникновению аутигенных форм минералов.

В сапропеле общее содержание зольных элементов колеблется в следующих пределах: в органических – 6–30 % на сухое вещество, в кремнеземистых, карбонатных и смешанных – от 30 % до 85 % (табл. 8).

Основу минеральной части органических и кремнеземистых сапропелей составляют соединения кремния – соответственно 3,5–24,1 % и 30,0–65,6 % на СВ.

Кремний находится в виде свободной SiO<sub>2</sub> в составе силикатных и алюмосиликатных минералов, а также в виде аморфной кремнекислоты. Содержание аморфной SiO<sub>2</sub> составляет в кремнеземистом сапропеле 0,1–20,3 % на СВ, органическом 0,12–15,4 %, смешанном 0–11,4 %, в карбонатном 0–3,8 %. Аморфную кремнекислоту следует рассматривать как положительный фактор при использовании

сапропеля в качестве удобрений, стимуляторов роста, в лечебных целях, в производстве строительных материалов.

В карбонатном и смешанном сапропеле зафиксированы меньшие, чем в кремнеземистом, количества  $\text{SiO}_2$ : 0,3–21,0 % и 8,4–29,2 % соответственно. Накопление кристаллических кремния и алюминия определяется интенсивностью терригенного стока в озеро продуктов разрушения четвертичных отложений с окружающих территорий. Максимальное содержание алюминия обнаруживается в высокозольных кремнеземистом сапропеле – до 11,6 % на СВ, в остальных типах оно не превышает 3–4 %. Повышенному содержанию кремния и алюминия в сапропеле сопутствует высокий уровень калия, который в кремнеземистом типе сапропеля достигает 3,5 %. В остальных типах сапропеля на долю калия приходится менее 1 %. Подвижные формы алюминия редко встречаются в сапропеле, так как переход  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в подвижное состояние обусловлен уровнем pH менее 4,5 единиц, который в изученном сапропеле Беларуси фиксируется крайне редко. Подвижные формы калия составляют 3,5–5,0 % от валового содержания, или 10–100 мг/100 г сухого сапропеля, что соответствует почвам с высокой обеспеченностью этим элементом. Такой сапропель может рассматриваться как источник калия при использовании на удобрение.

В карбонатном и значительной части смешанного сапропеля основу минеральной части составляют карбонаты кальция в количестве от 23,0 % до 80,0 % на СВ. Карбонаты кальция накапливаются в результате механических, физико-химических и биологических процессов. В некарбонатных осадках (органическом и кремнеземистом сапропеле) возрастает относительная роль терригенного и биогенного  $\text{CaCO}_3$ , а его содержание не превышает 10–12 % на СВ. Подвижный кальций составляет 20–50 % от общего, что обуславливает высокий нейтрализующий эффект, улучшает агрохимические свойства почв при использовании известковых сапропелевых удобрений.

Накопление магния в сапропеле определяется поступлением глинистого, карбонатного и силикатного материала. Содержание магния выше в карбонатном сапропеле (до 4,8 %), в остальных осадках составляет в среднем 1,0–1,5 %.

Среди кремнеземистого, карбонатного и смешанного сапропеля имеются отложения с повышенным содержанием железа. Железо поступает в озеро в виде терригенной взвеси, минеральных и орга-

нических коллоидов, а также в виде ионного раствора. Скорость и объем накопление железа и его форм в сапропеле определяются окислительно-восстановительными условиями водной массы озер, поступлением глинистых минералов. Значительная часть железа в осадках связана с ОВ сапропеля. Повышенному количеству железа соответствует в ряде случаев повышенное содержание фосфора, которой в смешанном сапропеле достигает в отдельных пробах 4,6 % на СВ, в кремнеземистом 0,1–2,1 %, органическом 0,1–2,4 %, карбонатном 0–1,2 %. Количество подвижных форм фосфора составляет 13–20 % от валового содержания. Уровень подвижного железа тем больше, чем выше его общее содержание в сапропеле, и колеблются для всех типов от 30,1 % до 41,3 % от валового содержания. Значительное содержание железа является сдерживающим фактором при сельскохозяйственном использовании сапропеля.

Сапропель всех типов обеднен серой: количественное содержание  $SO_3$  не превышает, как правило, 1,5–2,0 % на СВ, и лишь в единственных образцах достигает 5 %. Основными формами серы в сапропелевых осадках являются органическая, сульфатная и сульфидная. Являясь нежелательным компонентом в составе озерных осадков, способствующим эвтрофикации озера, сера представляет собой важный элемент при использовании сапропеля в качестве удобрений.

Сапропель богат микроэлементами. В нем определены такие микроэлементы, как барий, марганец, титан, стронций, медь, ванадий, никель, кобальт, йод, молибден, свинец, цинк, цирконий и др. По средним концентрациям в сухом веществе, микроэлементы делятся на три группы: первая – марганец, титан ( $n \times 10^{-2}$  %), вторая – медь, цирконий, цинк, ванадий, бор, хром ( $n \times 10^{-3}$  %) и третья – кобальт, никель ( $n \times 10^{-4}$  %). Повышенные концентрации большинства микроэлементов характерны для сапропеля кремнеземистого типа. Значительно обеднен микроэлементами сапропель карбонатного типа. По содержанию микроэлементов сапропели располагаются в ряд (в порядке убывания концентраций): кремнеземистый – смешанный – органический – карбонатный, что указывает на преимущественно терригенный характер накопления микроэлементов в сапропеле. Существенную роль в накоплении подвижных форм микроэлементов играет ОВ сапропеля. Наличие подвижных форм микроэлементов имеет важное практическое значение при оценке

сапропеля как удобрения, лечебного средства, добавки в корм сельскохозяйственным животным.

### 3.4. Агрохимические свойства сапропеля

Важнейшими агрохимическими свойствами сапропеля являются реакция среды (рН), поглотительная способность, состав поглощающего комплекса, степень насыщенности основаниями (табл. 9).

Уровень кислотности сапропеля варьируется в широких пределах – от 4,2 ед. до 8,2 ед. В органическом сапропеле рН составляет 4,2–7,4 ед., кремнеземистом – 4,4–7,2 ед., смешанном – 5,5–7,8 ед., в карбонатном – 7,0–8,2.

Для сапропеля характерен значительный уровень гидролитической кислотности – до 106,0 мг-экв/100 г. Уровень гидролитической кислотности при высокой степени насыщенности основаниями не оказывает существенного влияния на агрохимическую ценность сапропеля.

Сапропель характеризуются высоким уровнем емкости поглощения: в органическом – 46,4–114,0 мг-экв/100г, кремнеземистом – 5,7–78,9 мг-экв/100 г смешанном – 42,9–120,0 мг-экв/100 г.

Таблица 9 – Характеристика агрохимических свойств сапропеля Беларуси

Тип сапропеля	рН (КСI)	Гидролитическая кислотность	Емкость поглощения	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями, %
Органический	$\frac{4,6-7,4}{6,2}$	$\frac{17,5-106,0}{50,2}$	$\frac{46,4-114,0}{75,9}$	$\frac{44,9-188,5}{90,3}$	$\frac{29,7-93,1}{64,0}$
Кремнеземистый	$\frac{4,4-7,8}{6,3}$	$\frac{6,1-103,2}{39,0}$	$\frac{5,7-78,9}{63,4}$	$\frac{27,5-415,3}{115,5}$	$\frac{29,5-77,9}{69,7}$
Карбонатный	$\frac{7,0-8,2}{7,7}$	–	–	–	–
Смешанный	$\frac{5,5-7,8}{7,2}$	$\frac{6,3-69,0}{30,8}$	$\frac{42,9-120,0}{70,7}$	$\frac{24,9-490,6}{195,3}$	$\frac{30,1-98,6}{79,6}$

Поглотительная способность сапропеля обусловлена наличием органическими и минеральными соединениями высокой степени дисперсности и устанавливается в соответствии с содержанием суммы поглощен-

ных оснований. Сумма поглощенных оснований колеблется в пределах: в органическом сапропеле – 44,9–188,5 мг-экв/100 г, кремнеземистом – 27,5–415,3 мг-экв/100 г, смешанном – 24,9–49,6 мг-экв/100 г.

Поглощающий комплекс насыщен преимущественно основаниями  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Степень насыщенности основаниями находится в органическом сапропеле в интервале 29,7–93,1 %, кремнеземистом – 29,5–77,9 %, смешанном – 30,1–98,6 %.

Исследование агрохимических характеристик сапропеля показало, что подавляющее большинство сапропелевых осадков является хорошим сырьем для производства удобрений.

## 4. ОЦЕНКА РЕСУРСОВ САПРОПЕЛЯ

Оценка ресурсов полезных ископаемых, в том числе сапропеля, регулируется положениями Кодекса Республики Беларусь о недрах, инструкциями и методическими указаниями по разведке [21–23]. Разведанные ресурсы сапропеля классифицируются согласно положениям республиканского стандарта на промышленно-генетическую классификацию [8].

### 4.1. Классификация запасов сапропеля

В соответствии с классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, запасы сапропеля по их народнохозяйственному значению делятся на две подлежащие раздельному подсчету и учету группы:

– *балансовые*, использование которых, согласно установленным кондициям, экономически целесообразно при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике и технологии добычи с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

– *забалансовые*, использование которых, согласно установленным кондициям, в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые. К забалансовым относятся запасы кондиционного сапропеля, перекрытые толщей некондиционного сапропеля, если средние показатели в целом по шурфу превышают требования к балансовым запасам даже по од-

ному из показателей, а также запасы месторождений при средней глубине воды в озере более 6 м.

По степени изученности запасы сапропеля подразделяются на разведанные (категории А, В и С<sub>1</sub>) и предварительно оцененные (категория С<sub>2</sub>).

Прогнозные ресурсы сапропеля по степени их обоснованности подразделяются на категории Р<sub>1</sub>, Р<sub>2</sub> и Р<sub>3</sub>.

Запасы категории А и В должны удовлетворять следующим требованиям:

- установлены размеры, форма и условия залегания сапропелей, полностью выявлены виды сапропеля, их соотношение и пространственное положение;

- выделены и оконтурены некондиционные участки;

- изучены гидрогеологические, гидрологические и другие природные условия с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождений сапропеля.

Контур запасов сапропеля определен в соответствии с требованиями настоящей инструкции по результатам зондирования и опробования.

Запасы категории С<sub>1</sub> должны удовлетворять следующим требованиям:

- установлены размеры, характерные формы и основные особенности строения сапропелевой залежи;

- гидрогеологические, гидрологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;

- контур запасов сапропеля определен по результатам зондирования и опробования.

Запасы категории С<sub>2</sub> должны удовлетворять следующим требованиям:

- размеры, форма, внутреннее строение и условия залегания сапропелевой залежи оценены по геологическим данным, подтвержденным результатами зондирования и опробования по редкой сети;

- качество, технологические свойства видов сапропеля, а также их пространственное распространение определены по результатам исследования единичных проб с учетом геологических данных;

– гидрогеологические, гидрологические и другие природные условия оценены предварительно по аналогии с известными в районе месторождениями;

– контур запасов сапропеля определен в соответствии с требованиями по результатам зондирования и опробования по редкой сети.

Прогнозные ресурсы разделяются на три категории:

– категория  $P_1$  – ресурсы озерных сапропелевых отложений, выявленные при детальном поиске в результате выполнения комплекса полевых работ в соответствии с требованиями общераспространенной практики проведения работ на сапропель;

– категория  $P_2$  – ресурсы озерных сапропелевых отложений, выявленные при общих поисках в результате оценки по данным единичного зондирования и опробования ;

– категория  $P_3$  – ресурсы потенциально перспективных площадей, выявленные камеральным путем на основе изучения топографических карт, материалов земле- и лесоустройства, аэрофотоснимков и литературных источников, характеризующих естественнo-исторические условия района работ.

#### **4.2. Стадии проведения геологоразведочных работ на сапропель**

Выполнение геологоразведочных работ на сапропель осуществляется в соответствии с Методическими указаниями о порядке проведения геологоразведочных работ по стадиям на твердые полезные ископаемые.

Применительно к ним и с учетом специфики геологоразведочных работ на сапропель их выполнение делится на следующие стадии:

стадия 1 – поисковые работы:

а) общие поиски;

б) детальные поиски;

стадия 2 – поисково-оценочные работы;

стадия 3 – предварительная разведка;

стадия 4 – детальная разведка.

В отдельных случаях, в зависимости от конкретных условий, (прежде всего от размеров, сложности и предполагаемой ценности месторождения), некоторые стадии могут исключаться из общей схемы геологоразведочного процесса или объединяться.

Для каждой стадии геологоразведочных работ различные их виды (топографические, изучение сапропелевой залежи, гидрогеологические и др.) при проектировании должны составлять рациональные комплексы в зависимости от изученности объекта работ и его сложности.

Общие поиски выполняются в районах, перспективных по своим естественноисторическим условиям для сапропеленакопления, но с практически неизученными сапропелевыми ресурсами. По результатам общих поисков ресурсы сапропеля оцениваются по категории  $P_2$  и  $P_3$ .

Детальные поиски выполняются в районах интенсивного сапропеленакопления, но со слабой изученностью сапропелевых ресурсов. По результатам поисковых работ ресурсы сапропеля оцениваются по категории  $P_1$ .

Поисково-оценочные работы проводятся на выявленных месторождениях сапропеля, имеющих перспективу использования. Поисково-оценочные работы выполняются на всей площади месторождения сапропеля, независимо от ее размера, начиная с минимальной площади озера 1 га. По результатам поисково-оценочных работ запасы сапропеля подсчитываются по категории  $C_2$ .

Предварительная разведка проводится на месторождениях сапропеля площадью свыше 20 га для определения целесообразности их освоения и выбора участка для детальной разведки. По результатам предварительной разведки запасы сапропеля подсчитываются по категории  $C_1$ . Как правило, предварительная разведка выполняется на всей площади месторождения сапропеля.

Для крупных месторождений со сложной конфигурацией размер участка предварительной разведки устанавливается проектом работ. На месторождениях сапропеля площадью менее 20 га на основании данных поисково-оценочных работ выполняется детальная разведка, минуя стадию предварительной разведки.

Детальная разведка производится на месторождениях сапропеля площадью свыше 1 га с целью получения данных для составления проекта строительства предприятия или схемы эксплуатации.

На месторождениях сапропеля детальная разведка выполняется на площади не более 100 га. Большая площадь детальной разведки обосновывается проектом при условии, если годовой масштаб добычи превышает 50,0 тыс. т. В результате детальной разведки запасы сапропеля подсчитываются по категории А и утверждаются в

установленном порядке в Республиканской комиссией по запасам Департамента по геологии.

На каждый объект геологоразведочных работ оформляется геологический отвод [21, п. 32], составляется отдельный проект и смета, которые проходят экспертизу и регистрацию в государственном предприятии «Белгосгеоцентр».

#### **4.2.1. Детальная разведка**

Детальная разведка проводится на месторождениях сапропеля, получивших положительную оценку по данным предшествующих стадий разведки и намечаемых к освоению в ближайшие пять лет. Объектом детальной разведки являются месторождения сапропеля в озерах и на выработанных торфоучастках в пределах границы водной поверхности, включая сплавину и выработанный торф.

Детальная разведка может проводиться как на месторождении в целом, так и на отдельной его части, намечаемой для первоочередного освоения.

Задачей детальной разведки является получение, материалов, необходимых для составления проекта эксплуатации.

Состав работ по детальной разведке:

- топографические работы;
- изучение сапропелевой залежи;
- гидрогеологические работы;
- изучение водного режима озера или торфоучастка.

В целях повышения качества работ и достоверности информации выполнение полевых работ по детальной разведке рекомендуется проводить в зимний период по установившемуся ледовому покрову.

#### **4.2.2. Предварительная разведка**

Предварительная разведка включает подготовительные и полевые работы, после которых выполняются лабораторные и камеральные работы, а также составление отчета о предварительной разведке.

В состав подготовительных работ входит: изучение объекта разведки по материалам ранее выполненных работ, сбор данных о топографической изученности района работ, получение топографических карт, сбор сведений по физико-географической и геологической изученности района работ, проектирование планово-высотного обоснования, определение плотности сети зондирования и опробо-

вания сапропелевой залежи, обоснование объемов гидрогеологических работ и изучения водного режима озера.

Предварительная разведка выполняется, как правило, на готовой топографической основе. Плотность зондировочной сети составляет 400 x 50 м, но не менее трех поперечников и не менее трех зондировочных точек на поперечнике в пределах контура промышленной глубины сапропелевой залежи. Плотность сети опробования составляет один пункт на 16 га, но не менее трех на месторождении.

При полевых работах выполняется: проложение магистрали месторождения сапропеля, ходов планового обоснования и их закрепление, поперечников зондировочной сети и зондирование сапропелевой залежи, отбор проб сапропеля, гидрогеологическое и гидрографическое обследование, бурение скважин и отбор образцов грунта.

Состав лабораторных работ: определение общетехнических свойств сапропеля, составление сборных проб по классам и видам сапропеля, выделенным при камеральной обработке материалов разведки и выполнение по сборным пробам комплекса специальных анализов, исследования физико-механических свойств грунтов.

Состав камеральных работ при предварительной разведке и методика их выполнения аналогичны детальной разведке. Отчет о работах по предварительной разведке, по составу и содержанию аналогичен отчету о детальной разведке.

### **4.2.3. Поисково-оценочные работы**

Поисково-оценочные работы выполняются на месторождениях сапропеля, выявленных по результатам проведения общих поисков.

При подготовительных работах осуществляется сбор сведений по физико-географической характеристике района расположения месторождения сапропеля и заказ крупномасштабных топографических и специальных карт. Плановой основой для проведения поисково-оценочных работ служат топографические, землеустроительные и лесоустроительные крупномасштабные карты. Плотность зондировочной сети составляет 800 x 50 м, но не менее двух поперечников и трех зондировочных точек на поперечнике в пределах контура промышленных глубин сапропелевой залежи. Начало и конец магистрали закрепляются деревянными столбами по типу временных реперов. Плотность опробования составляет I пункт на 32 га, но не менее двух пунктов на месторождении. Вы-

полняется также гидрогеологическое и гидрографическое обследование по упрощенной программе.

При полевых работах выполняется проложение магистрали месторождения сапропеля и ее закрепление, проложение поперечников зондировочной сети, зондирование сапропелевой залежи, отбор образцов и гидрографическое обследование.

В состав лабораторных работ входит определение общетехнических свойств сапропеля.

Состав камеральных работ

- установление границы промышленной глубины сапропелевой залежи и выделение границ технологических участков;
- определение объемов сапропелевой залежи и разделение их на классы с подсчетом запасов;
- оценка разведанных запасов сапропеля.

Отчет содержит:

- описание месторождения сапропеля и оценку разведанных запасов;
- заключение о целесообразности проведения последующих стадий разведки.

Материалы отчета о поисково-оценочных работах оформляются в виде пояснительной записки, текстовых и графических приложений к ней.

В состав текстовых приложений входят следующие таблицы и ведомости:

- подсчета средних глубин и объемов сапропеля и воды;
- послойных и средних значений качественных показателей сапропеля;
- запасов и качественной характеристики сапропеля;
- лабораторного анализа общетехнических свойств сапропеля.

В состав графических приложений входят:

- план месторождения сапропеля, на который наносятся граница водной поверхности, нулевая граница месторождения и граница промышленной глубины сапропелевой залежи, поперечники с указанием глубины воды (торфа) и сапропеля, пункты отбора проб сапропеля, границы технологических участков.

#### **4.2.4. Поисковые работы**

Поисковые работы на сапрпель выполняются с целью выявления новых месторождений сапрпеля и обоснования выбора из их числа месторождений для проведения последующих стадий разведки и отбраковки объектов, не имеющих промышленного значения.

Поисковые работы имеют две самостоятельные подстадии:

- общие поиски, выполняемые в районах интенсивного сапрпеленакопления, но со слабой изученностью сапрпелевых ресурсов;
- детальные поиски, выполняемые в районах с развитым сельскохозяйственным производством и дефицитом торфяных ресурсов для покрытия потребности в органическом веществе.

В состав работ по общим и детальным поискам входят: подготовительные работы, полевые и лабораторные работы, камеральные работы и составление отчета по поискам.

## **5. ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ САПРПЕЛЯ**

Перспективы освоения месторождений сапрпеля определяются по критериям, которые учитывают данные по глубине воды или торфа, мощности и запасам сапрпеля, его качественному составу, положению месторождения в системе действующих или планируемых природоохранных территорий [24, 25].

В начале 90-х гг. прошлого века в республике действовало около 50 объектов с объемом добычи сапрпеля более 1 млн т в год. Объективные экономические причины переходного периода, установившие рыночные отношения в хозяйствовании и недостатки применявшихся способов извлечения сапрпеля привели к падению его добычи. В настоящее время работает 7 производственных участков, на которых в 2010 г. добыто 50 тыс. т сапрпеля. Однако, учитывая потребности республики в эффективных местных видах удобрений в связи с прогрессирующим истощением почв, в минерально-витаминных кормовых добавках для сельскохозяйственных животных, сапрпелевых лечебных грязях, косметических препаратах, буровых растворах, а также принимая во внимание интерес к сапрпелю в зарубежных странах, наша республика может стать крупным производителем потенциально востребованной и не имеющей аналогов на мировом рынке продукции. В связи с этим актуальной задачей является оценка известных, поиск и обоснование новых способов разработки озерных и залегающих под торфом месторож-

дений сапропеля, оптимизация выбора наиболее перспективных технических решений, адекватных задачам ресурсосбережения при добыче и полевой сушке сапропеля.

Добычу сапропеля производят гидромеханизированным, экскаваторно-грейферным, шнековым, ковшово-элеваторным и экскаваторным (на торфяных месторождениях) способами. Как показано ранее [26], технологичней извлекать сапропель с помощью поточного процесса при использовании средств гидромеханизации так называемым *гидромеханизированным способом*. В этом случае сапропель для транспортирования на берег по пульпопроводу в отстойник разбавляется дополнительным количеством воды и имеет влажность 97–98 %. Превращение сапропелевой пульпы в готовую продукцию сопровождается удалением дополнительного количества воды, что представляет собой известные трудности, особенно при высоком содержании органического вещества.

Гидромеханизированный способ добычи с помощью земснарядов ЗРС-2, ПЗУ-3М, ЗГМ-1-350А, 200–50 применяли в основном на больших озерах площадью 300 га и более, в том числе на самом крупном водоеме Полесья – озере Червоное (4360 га). Для малых по площади водоемов разработана и применялась установка АНБ-752. Преимущества гидромеханизированной технологии заключаются в непрерывности, малооперационности, низких трудовых затратах, возможности перекачивать сапропелевую пульпу на большие расстояния. Недостатки данной технологии заключаются в необходимости значительного разбавления сапропеля озерной водой для его эффективного транспорта по трубопроводу и, как следствие, отвод больших земельных участков под чеки-отстойники для удаления избытка воды (до 20 га на озерах Вечер, Червоное и др.), высокая металлоемкость и стоимость оборудования. При работе на сильно заросших озерах и извлечении плотных сапропелевых грунтов в случаях, когда залежь имеет терригенное или хемотерригенное строение и высокие прочностные характеристики, применяются специальные роторно-ковшовые грунтозаборные устройства различной конструкции и особые разрыхлители, что снижает производительность, приводит к увеличению энергоемкости процесса экскавации (более 0,05 кВт·ч/м<sup>3</sup>) и в конечном итоге делает разработку связных грунтов не рентабельной. Кроме того, гидромеханизированному способу свойственны существенные первоначальные капи-

таловложения, которые обусловлены значительными затратами на оборудование и обустройство полей сушки.

**Экскаваторно-грейферная технология** позволяет извлекать сапропель с помощью экскаватора с грейферным рабочим органом, установленным на понтоне. Сапропель загружается в баржу, которая с помощью катера подается к причалу для разгрузки в наземный транспорт и доставки на площадку сушки.

Достоинства грейферного способа заключаются в добыче сапропеля естественной влажности, снижении земельных отводов под поля сушки, простоте их устройства по сравнению с чеками-отстойниками. Недостатки технологии – цикличность операций, многозвенность, большие трудовые и энергетические затраты на крупных озерах, связанные с доставкой барж с сырьем к причалу и обратно к забою, наличие промежуточных операций по транспортировке и перегрузке сырья.

Преимущества добычи с использованием для извлечения сапропеля **шнекового рабочего органа**: непрерывность добычи сапропеля, высокая производительность. Недостатки: многозвенность операций, наличие промежуточного транспорта к месту разгрузки, неоправданно высокое диспергирование добываемого сапропеля, что приводит к трудностям его естественной сушки. Данная технология применялась в опытном варианте на озере Олтушское Малоритского района.

Добыча сапропеля естественной влажности, залегающего под торфом производится с **помощью экскаватора**, оборудованного ковшом-драглайном или грейферным ковшом. Для обеспечения проходимости техники на обводненной торфяной залежи необходимо дополнительное водопонижение и сооружение насосной станции. На месте выработанных таким образом торфо-сапропелевых месторождений создаются искусственные водохранилища. Перечисленные способы экскавации оказывают значительное воздействие на природную структуру и капиллярную водопроводящую сеть разрабатываемого сапропеля, что затрудняет их дальнейшую сушку, особенно отложений органического типа. Кроме того, экскавация сапропеля с периодическим погружением грейфера в залежь и последующим подъемом вызывает взмучивание, приводящее к обогащению придонного слоя воды озера биогенными элементами. Наименьшее взмучивание наблюдается при использовании рабочих

органов всасывающего типа (земснаряд, шнек), действующих в замкнутом объеме [27]. Как показано выше, в пределах одного месторождения, в зависимости от сочетания природных факторов, формируются различные по составу и свойствам озерные осадки, что требует отработки селективных методов извлечения сапропеля из определенных горизонтов с необходимыми для производства конкретной продукции свойствами.

Современным экологическим и техническим требованиям при экскавации донных отложений из малых водоемов в наибольшей степени соответствуют *многоковшовые рабочие органы*. По сравнению с другими экскавирующими устройствами они менее энергоемки, более упорядоченно вырабатывают донные отложения с минимальным воздействием при экскавации на структуру материала и его капиллярную сеть [28]. Использование многоковшовых рабочих органов с изолирующим транспортирующую часть кожухом снижает взмучивание осадка и дает возможность вести добычу сырья селективно из нужного горизонта без удаления вышележащих слоев донных отложений повышенной влажности.

Разработанная и применяемая на озере Судобль ковшово-элеваторная установка для добычи сапропеля имеет производительность 20–40 т/ч при глубине экскавации 4–7 м. Металлоемкость и энергоемкость ее в 5–6 раз ниже по сравнению с грейферной такой же производительности. Предложен экскавирующе-транспортирующий агрегат, позволяющий совместить операции извлечения донных отложений, транспортировки их к берегу и погрузки в наземное транспортное средство. В этом случае дополнительно в 2,5–3 раза снижается металлоемкость технологического оборудования, уменьшаются энергозатраты и в 1,5–2 раза увеличивается выработка на одного работающего. Разработаны технологические схемы добычи сапропеля многоковшовыми экскавирующими рабочими органами с минимальными перегрузками из одного транспортного средства в другое [29].

Решение вопроса экскавации донных отложений естественной влажности и практически ненарушенной структуры позволяет по-новому подойти к приемам интенсификации сушки органического сапропеля. Низкая текучесть сапропелевой массы естественной влажности упрощает устройство полей сушки и позволяет распределить сапропель в виде бесчекового расстила. Другими важными

критериями выбора бесчековой организации расстила являются низкие затраты на строительство площадок сушки, рекультивацию земель после завершения работ.

Разнообразные горно-геологические обстановки залегания сапропеля в озерах, под торфяной залежью, минеральными осадками, в старицах рек, широкий диапазон характеристик физического состояния, большое различие по размерам площадей залегания и мощности отложений требуют применения принципиально различных технологий добычи, транспорта и подготовки сырья применительно к конкретным горно-геологическим условиям.

Весьма перспективным на современном этапе представляется широкое освоение залежей сапропеля, залегающего под маломощным слоем оставшегося торфа на выработанных и выбывших из эксплуатации торфоучастках. Этому способствует имеющаяся осушительная сеть на торфяном месторождении, технологическое оборудование по добыче торфа и квалифицированный производственный персонал.

Добыча сапропеля, залегающего под слоем торфа, часто затруднена из-за низких прочностных характеристик сильнообводненных торфяной и сапропелевой залежей. Расчетами установлено [30, 31], что удовлетворительная проходимость добывающего сапропель оборудования обеспечивается при понижении влажности надсапропелевого слоя торфа мощностью 1 м до 85 % и положения уровня грунтовых вод ниже 0,8–1,0 м. Для этого необходимо наличие на месторождении каналов осушительной сети глубиной 1–1,5 м, расположенных на расстоянии 20–25 м.

Поиск новых способов и средств добычи озерного сапропеля, особенно залегающего под торфяной залежью, показывает принципиальную возможность использования для этого канатных скреперов, позволяющих извлекать также оставшиеся на торфоучастке ресурсы торфа. Для разработки малых по площади (до 50 га) месторождений, прибрежных участков крупных озер и средних по площади месторождений удлинённой конфигурации нами предложен и обоснован канатно-скреперный способ добычи сапропеля естественной влажности [32, 33].

Принцип действия канатно-скреперной установки (КСУ) заключается в следующем: на противоположных сторонах объекта размещается оборудование и машины, называемые приводной и якор-

ной станциями и соединенные между собой тяговым и возвратным канатами с ковшовым, скреперным или иным экскавирующим рабочим органом (рисунок 8). Возвратно-поступательные движения рабочего органа с экскавацией материала к берегу осуществляются лебедкой на приводной станции. Якорная станция размещается на берегу или на акватории, закоренная для осуществления папильонирования. Выгрузка добываемого сапропеля естественной влажности производится непосредственно на береговой полосе или совмещается с погрузкой в транспортное средство.

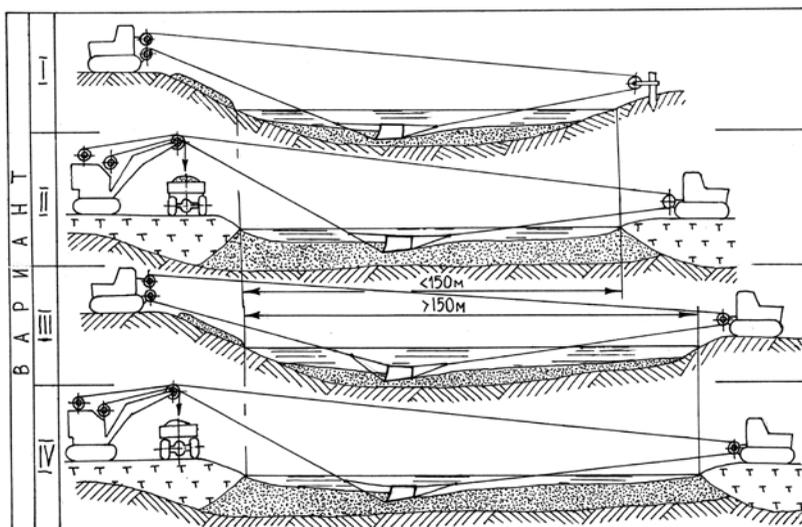


Рисунок 8 – Схемы добыча сапропеля канатным скрепером в зависимости от плеча экскавации: I и III – на озерах с минеральными берегами, II и IV – на торфяных месторождениях и озерах с торфяными берегами

Различное конструктивное исполнение рабочих органов позволяет проводить работы под водой, на водной поверхности, на торфяном участке, а также обеспечивает повышение производительности канатно-скреперной установки за счет лучшего заполнения и опорожнения скрепера. Оборудование отличается низкой металлоемкостью. Залежь разрабатывается упорядоченно, без предварительного осушения и подготовки месторождения к экскавации, что требует незначи-

тельных инвестиций и сводит к минимуму вероятность возникновения пожаров. Работа оборудования не лимитируется глубиной воды и зарослостью озера, имеется возможность проведения работ в труднодоступных местах месторождений. Использование лебедки и стрелы экскаватора позволяет разгружать сапропель из скрепера прямо в транспортную емкость для доставки на площадку сушки (рисунок 8, вар. II и IV). Ранее технология канатного скреперования широко применялась для очистки от ила прудов и русел рек от топляка [34–36]. Имеются сведения об использовании канатно-скреперных установок при добыче сапропеля в Латвии [37].

Производительность установок данного типа пропорциональна скорости движения рабочего органа, которая ограничивается его объемом и конструкцией. Он является главным звеном данного способа разработки полезного ископаемого. Ковш для добычи сапропеля специальной конструкции, имеет специальные приспособления для забора породы и ее опорожнения [38].

Анализ существующих способов добычи сапропеля показывает эффективность гидромеханизированного способа добычи сапропеля на крупных (более 300 га), слабо заросших водной растительностью месторождениях с максимальными глубинами до 9 м, с залежами органического сапропеля и годовой программой добычи 150 и более тыс. т. На малых и средних по площади месторождениях наиболее целесообразно применение грейферных и ковшово-элеваторных экскавирующих устройств. Для разработки сапропеля на выбывших из эксплуатации торфоучастках, наряду с применением экскаваторной добычи, при обработке труднодоступных участков, следует использовать канатно-скреперную технологию, которая может применяться на малых и средних по площади озерах удлиненной конфигурации. Перспективно применение данной технологии также для очистки от ила, растительности и загрязнений прибрежных акваторий крупных озер при благоустройстве пляжных зон.

## 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ САПРОПЕЛЯ

**Органический сапропель.** Обогащенный природными витаминами и микроэлементами органический сапропель, приготовленный согласно технических условий [39], независимо от соотношения ГК и ЛГ, используются в животноводстве в качестве минерально-витаминной кормовой добавки, увеличивающей привесы живой массы и надой молока от 8 % до 20 % и более при введении в пищу животных в количестве 1–1,5 % от суточного рациона.

Кислотно-щелочные гидролизаты из органического сапропеля, несмотря на несколько более низкое содержание гуминовых веществ, превосходят по биологической активности торфяные: всхожесть семян ячменя составляла 114,2–119,8 % по сравнению с контролем, а энергия прорастания 113,4–118,9 % [40, 41]. Торфяные гидролизаты по активности заметно уступают сапропелевым – 110,5–113,4 % по всхожести и 107,5–111 % по энергии прорастания. Особенно высокой биологической активностью отличаются стимуляторы роста, полученные из торфосапропеля, для которого характерно отношение ГК к ЛГ более трех.

Все классы органического сапропеля, кроме отдельных видов торфосапропеля, обладают высокими тепловыми и вязкопластичными свойствами, гомогенной структурой, широким спектром макро- и микроэлементов, свободных аминокислот, витаминов, ферментов и рекомендуются для применения в медицине в качестве лечебных грязей и отжимов [42]. Согласно действующим техническим условиям [43], содержание ОБ в них не допускается ниже 50 %, а в грязевом растворе основные катионы и анионы должны находиться в оптимальном количестве:  $\text{NH}_4^-$  – 2–50 мг/л,  $\text{K}^+$  – 15–50 мг/л,  $\text{Na}^+$  – 2–120 мг/л,  $\text{Ca}^{2+}$  – 2–200 мг/л,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  до 25 мг/л,  $\text{HCO}_3^-$  – 5–400 мг/л,  $\text{Cl}^-$  – 10–125 мг/л,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 60–800 мг/л.

Исследования метаболической активности сапропеля позволили выявить ведущую роль преимущественно органических компонентов в их физиологическом и лечебном действии, причем заметное влияние отводится гуминовым кислотам. Данные исследования показали, что водорослевый органический сапропель целесообразно применять для грязелечения больных с заболеваниями желудка, торфосапропель – при лечении заболеваний периферической нервной системы. В последние годы, предложено и реализовано на практике использование органического сапропеля в составе косметических средств [44].

Особенности химического состава органического сапропеля позволяют использовать все имеющиеся его классы для производства удобрений органического вида, зольность которых может быть несколько повышена и составлять 50 % на СВ. Эффективность органических удобрений из сапропеля установлена в результате многолетней экспериментальной проверки во многих хозяйствах в составе ротационных севооборотов. Органический сапропель широко используется в качестве компонентов при выпуске сбалансированных органоминеральных удобрений (СОМУ) для непосредственного внесения под культуры, замены тепличных грунтов и выращивания рассады сельскохозяйственных культур. Сапропель органического типа является питательной средой, обогащенной углеродом, азотом, минеральными солями, ростовыми веществами, для выращивания клубеньковых бактерий [45]. Для приготовления препарата используется сапропель зольностью до 30 % с содержанием углеводов 52–56 %, азота 3,5–6 % на ОВ.

Проведенные эксперименты показали, что органический сапропель является хорошим углеродным сырьем для получения активных углей [46], которые отличаются высокой емкостью поглощения и низким содержанием минеральных компонентов. Более минерализованные типы сапропеля (кремнеземистый и карбонатный) пригодны для синтеза углеминеральных, весьма активных пористых материалов.

В промышленности строительных материалов малозольный сапропель с содержанием органического вещества более 85 % и азота более 3,3 % на СВ пригоден для приготовления клеев, которые способны заменить клей на основе альбумина при производстве древесно-волоконистых плит (ДВП) [47]. Проклеенные сапропелевым связующим ДВП не уступают по своим прочностным показателям изготовленным на альбуминовом клее, производство которого связано с дефицитным пищевым сырьем.

Обоснована перспективность применения малозольного сапропеля в качестве порообразующей добавки для получения дренажных труб, пористошелковых керамических камней, керамзита [48]. Достоинством сапропелевой крошки является то, что в сухом виде она не размокает и не разрушается в результате механической обработки глиномассы, создает после сгорания в керамическом изделии поры заданных размеров и конфигурации, а также полностью или на 50 % сокращает расход импортруемых видов технологического топлива.

Сапропель благодаря своему химическому составу, доступности, экологической безопасности и сравнительно низкой себестоимости находит широкое применение в буровой практике. Исследования убедительно показали, что самым подходящим сырьем для буровых растворов является органический сапропель [49]. Использование малозольного сапропеля в качестве сырья для приготовления буровых растворов определяется наличием в его составе необходимых компонентов: высокомолекулярных веществ и природных биополимеров, гуминовых соединений, углеводов, гемицеллюлозы и целлюлозы, лигнина, битумов и др.

**Органоминеральный сапропель.** Республика Беларусь обладает значительными запасами органоминерального сапропеля, которые составляют более 60 % общих ресурсов озерных отложений. Большинство разведанных озер включают только осадки данного типа, необходимость освоения которых диктуется прогрессирующими процессами заиления.

Согласно требованиям промышленно-генетической классификации [8] кремнеземистый, карбонатный и смешанный сапропель имеет обширные области использования. В земледелии сапропель зольностью 30–60 % применяется для производства удобрений, известковых материалов, сапропеле-навозных компостов, гранулированных удобрений в чистом виде и в смеси с минеральными туками, эффективность которых как местных видов агрохимического сырья доказана неоднократно [50].

В начале 90-х годов прошлого века в Беларуси производились сыпучие сапропелевые удобрения для обеспечения крупных сельскохозяйственных предприятий, объем выпуска которых достигал более 1 млн т в год. В настоящее время в республике ежегодно производится около 30–40 тыс. т сапропелевых удобрений и питательных смесей на основе сапропеля, которые выпускаются преимущественно в фасованном виде, предназначены для садоводства, овощеводства, тепличного хозяйства и реализуются через розничную торговую сеть. Для этих целей используются, кроме органического, кремнеземистый и смешанный сапропель. Применение в смесях торфа позволяет вводить в составы сапропель зольностью до 70 %, содержащий повышенные количества валовых и подвижных форм фосфора, калия и азота.

По нормам технических условий [51], кроме ограничений по зольности (не более 70 %), в удобрениях органо-кремнеземистого вида содержание общего азота должно составлять 1 % и более, оксида кальция – не более 17 %, железа – не более 10 %, серы – не более 3 %, pH в солевой суспензии – не менее 5. Сапропелевое сырье нормируется также по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов.

Карбонатный сапропель применяется для известкования кислых почв. Согласно техническим условиям [52] из озерного карбонатного сырья, которое не ограничивается по содержанию органических веществ и зольности, выпускается три категории известковых материалов, имеющих влажность не более 40 %. В материалах I категории сумма  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  должна составлять не менее 70 % СВ, в материалах II категории – 50–70 % и III категории – 30–50 %. Органо-известковистый вид сапропелевых удобрений должен содержать органического вещества не менее 15 %, азота – не менее 0,7 %, CaO – не менее 17 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – не более 10 %,  $\text{SO}_3$  – не более 7 %, а также соответствовать нормам по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов.

Для мелиорации малопродуктивных земель заслуживает внимания опыт внесения органо-минерального сапропеля непосредственно на поля в виде пульпы при гидромеханизованном способе добычи [53]. Согласно техническим требованиям зольность вносимой пульпы ограничивается 70 %, кислотность должна быть не менее 5,5, а содержание сухого вещества в пульпе 3 % и более.

Карбонатные разности органо-минерального сапропеля широко применяются для производства кормовых добавок, которые являются источником разнообразных минеральных и биологически активных веществ, так как включают набор необходимых животным и птице микро- и макроэлементов: кальций, магний, железо, фосфор, калий, натрий и др. До 20 % фосфора и более 20 % кальция входят в состав подвижных форм, легко усваиваются организмом животного. Результаты исследований показывают, что добавки карбонатного сапропеля способствуют повышению усвояемости жизненно необходимых микроэлементов кормов, включая железо, цинк, кобальт и др., что подтверждает высокую биологическую активность сапропеля [54]. Кроме того, являясь природным антиоксидантом из-за содержания поливалентных металлов и прежде всего железа, карбонатный сапропель, высушенный до влажности 25 %, является ингибитором окислительной порчи жиров и используется для предотвращения его окисления в составе комбикормов.

Органоминеральный сапропель с содержанием органического вещества до 50 % используется, при соответствии остальным нормативам [43], в грязелечении. Из трех работающих на бальнеологию месторождений в республике – два (Судобль и Святое) поставляют органические сапропелевые грязи. На озере Дикое Гродненской области добываются органоминеральные грязи зольностью 35–48 %.

Сапропель органоминерального типа как сырье для нужд бурения по универсальности возможного применения (буровые и тампонажные растворы, буферные жидкости, облегчающие и смазывающие добавки и т. д.) не имеет себе равных, так обладает высокой структурирующей способностью, содержит в своем составе, как указывалось ранее, такие ценные для этих целей компоненты, как природные поверхностно-активные вещества, гемицеллюлозу, целлюлозу, углеводные и белковые вещества, битумы, лигнин и др.

Из нетрадиционных путей использования предложено применение сапропеля в качестве основы технологических растворов при строительстве противofiltrационных завес методом «стена в грунте». Использование свойств сапропелевых растворов – низкая плотность, высокая пластичность, емкость обмена, влагоемкость, тонкий фракционный состав позволяет полностью заменять используемые в подземном строительстве и весьма дефицитные бентонитовые глины.

Выявлена возможность использования карбонатного сапропеля с содержанием  $\text{CaCO}_3$  более 20 % в качестве кондиционирующей добавки минеральных удобрений. Ввиду того что сапропель является активным ионообменником, он создает защитное гидрофобное покрытие, сорбируясь на поверхности частиц минеральных удобрений, вступает во взаимодействие с их компонентами, являясь дополнительным источником питательных элементов и органического вещества.

**Высокозольный сапропель** имеет ограниченную возможность практического применения для кольматирования песчаных почв [55], используется при компостировании с отходами сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности, для посадки фруктовых деревьев.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соловьев, М.М. Сапропелевые изыскания в Белоруссии: экспедиции Всесоюзной академии наук / М.М. Соловьев. – М., 1932. – С. 342–345.
2. Соловьев, М.М. Типы и распространение сапропелевых отложений в северной части БССР: торф и его использование в народном хозяйстве / М.М. Соловьев. – Минск, 1935. – С. 279–287.
3. Курзо, Б.В. Сапропель: полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / редкол.: П.З. Хомич [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – С. 305–316.
4. Кадастр сапропелевых отложений озер Белорусской ССР: в 6 т. / М.З. Лопотко [и др.]; под ред. И.И. Лиштвана. – Минск: Наука и техника, 1981.
5. Курзо, Б.В. Принципы и критерии классификации месторождений сапропеля / Б.В. Курзо // Природопользование: сб. науч. тр. / Ин-т природопользования НАН Беларуси; гл. ред. А.К. Карабанов. – Минск: Изд. А.Н. Вараксин, 2009. – Вып. 15. – С. 250–259.
6. Курзо, Б.В., Принципы выделения и типизации отдельных стадий озерного осадконакопления / Б.В. Курзо, Н.Ю. Мурашко // Природопользование: сб. науч. тр. / Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси; под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск: ОКЖИ и ОП ИГН НАН Б, 1999. – Вып. 5. – С. 65–69.
7. Курзо, Б.В. Вещественный состав и ресурсы сапропеля на торфяных месторождениях Беларуси / Б.В. Курзо, Л.П. Пекач, О.П. Чубарева // Природопользование: сб. науч. тр. / под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск, 2001. – Вып. 7. – С. 97–102.
8. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация. СТБ 17.04.02-01–2010. – Минск: Госстандарт, 2010 – 6 с.
9. Vambalov, N. Problems of ecological rehabilitation of lake-mire complexes / N. Vambalov [et al.] // Acta Agrophysica, 2000. – Vol. 26. – P. 285–299.
10. Курзо, Б.В. Состав и седиментогенез отложений, история развития озера Слобода в голоцене / Б.В. Курзо, А.Л. Жуховицкая // Природопользование: сб. науч. тр. / под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск, 1997. – Вып. 3. – С. 37–41.

11. Исследование процесса гумусообразования в голоценовых сапропелях оз. Судобль / Б.В. Курзо [и др.] // Природопользование: сб. науч. тр. / под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск, 1999. – Вып. 5. – С. 72–76.

12. Геохимия озерного седиментогенеза в условиях техногенного влияния / В.А. Кузнецов [и др.] // 1996. – Вып. 5. – С. 161–171.

13. Курзо, Б.В. Экология водных организмов как фактор формирования свойств малозольных сапропелей / Б.В. Курзо // Каустобиолиты и экология: сб. науч. ст. / Ин-т торфа АН БССР. – Минск, 1988. – С. 120–126. – Деп. в ЦБНТИ Минтоппрома РСФСР 05.01.89, № 26-тп // Торфяная промышленность: Экспресс-информ, 1989. – Вып. 2. – С. 31–33.

14. Курзо, Б.В. Проточность водоемов БССР и ее влияние на геологические параметры и химические свойства сапропелевых залежей / Б.В. Курзо // Геология и свойства торфяных и сапропелевых месторождений. – Калинин, 1985. – С. 61–72.

15. Жуховицкая, А.Л. Геохимия озер Белоруссии / А.Л. Жуховицкая, В.А. Генералова. – Минск, 1991.

16. Сравнительная озерная седиментация в пространстве и времени: геолого-геохимические исследования голоценовых осадков Белоруссии / В.А. Кузнецов [и др.]. – Минск, 1991.

17. Фосфатное сырье республики Беларусь: структура, запасы, территориальное размещение / В.Е. Бордон [и др.] // Международный аграрный журнал. – 2001. – Вып. 12. – С. 16–20.

18. Тарантов, А.С. Минералого-геохимические особенности формирования сапропелевых отложений с активным проявлением сульфатредукции (на примере озера Беленец, БССР) / А.С. Тарантов, Б.В. Курзо // Изв. высш. учеб. заведений. геол. и разв. – 1989. – Вып. 3. – С. 40–45.

19. Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси: геохимические и биологические аспекты / А.Л. Жуховицкая [и др.]. – Минск., 1998.

20. Озеро Долгое: седиментогенез, стратиграфия донных отложений и этапы развития / В.П. Зерницкая [и др.]. – Минск, 2001.

21. Кодекс Республики Беларусь о недрах: в ред. 14 июля 2008 г. № 406-3.

22. Инструкция по разведке озерных месторождений сапропеля РСФСР. – М., 1988. – 93 с.

23. Методические указания по поискам и разведке озерных месторождений сапропелей БССР / М.З. Лопотко [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1986. – 119 с.

24. Курзо, Б.В. Критерии выделения сапропелевых месторождений при разработке комплексной схемы Белорусского Поозерья / Б.В. Курзо, И.С. Бракович, С.В. Богданов // Экологическое и социально-экономическое обоснование региональных схем рационального природопользования: тез. докл. Респ. науч. конф. – Минск, 1993. – С. 45–46.

25. Курзо, Б.В. Критерии выбора озерных месторождений сапропелей для промышленного освоения / Б.В. Курзо, Ю.Л. Бурак // Проблемы охраны геологической среды: тез. докл. I науч.-практ. конф. – Минск, 1995. – С. 118–119.

26. Лопотко, М.З. Рекомендации по технологии промышленной добычи сапропелей из открытых водоемов для удобрений / М.З. Лопотко, А.П. Лецко, С.К. Дубинин. – Минск: Наука и техника, 1981. – 78 с.

27. Власов, Б.П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б.П. Власов. – Минск: БГУ, 2004. – 207 с.

28. Гайдукевич, О.М. Влияние экскавирующих органов на физико-механические свойства сапропелей при восстановлении озер / О.М. Гайдукевич, Г.П. Вирысов, Н.А. Кот // Озера Белорусского Поозерья: современное состояние, проблемы использования и охраны: матер. Междунар. научн. конф., Витебск, 23–25 ноября 1999 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Витебск. гос. ун-т; редкол.: А.М. Дорофеев [и др.]. – Витебск, 1999. – С. 120–121.

29. Курзо, Б.В. Исследования в области генезиса, использования и охраны сапропелевых месторождений Беларуси / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич // Природопользование: сб. науч. тр./ Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси; под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск: ОДО «Тонпик», 2002. – Вып. 8. – С. 22–33.

30. Лиштван, И.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, В.И. Косов. – Минск: Наука и техника, 1985. – 240 с.

31. Мурашко, А.И., Осушение торфяно-сапропелевых болот / А.И. Мурашко, Г.А. Щербakov. – Минск: Ураджай, 1984. – 128 с.

32. New technologies of sapropels deposits development of Belarus / O. Gajdukevich [et al.] // Advanced methods and solutions in water engineering: selected papers of the conf., dedicated to the 60 year anniversary of the Faculty of Water and Land management, Birštonas, 12-13 oct. 2006 y. / Lithuanian Univer. of Agricul.; compil. A. Dumbrasukas [et al.]. – Birštonas (Lithuania), 2006. – P. 46–48.

33. Курзо, Б.В. Технология разработки торфа и сапропеля канатным скреперованием / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич // Природопользование: сб. науч. тр./ Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси; под ред. И.И. Лиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск: ОДО «Гонпик», 2006. – Вып. 12. – С. 103–107.

34. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов / под общ. ред. В.В. Ржевского, Г.А. Нурка. – М.: Недра, 1979. – 384 с.

35. Машины, суда и оборудование лесосплава / В.И. Пяткин [и др.] – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 336 с.

36. Радкевич, В.Т. Канатно-скреперная установка КСУ-180. / В.Т. Радкевич, К.Ф. Солеников // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хоз-ву (Минводхоз БССР). – 1977. – № 3. – С. 24.

37. Kronbergs, E. Small scale technology for sapropel extraction / E. Kronbergs // Mater. Intern. scientific confer. «Improvement of natural lakes and artificial water reservoirs», Kaunas, 9–10 october 1997 / Lithuan. Ministry of Agriculture and Forestry; chairman L. Katkevicius. – Kaunas, 1997. – P. 76–78.

38. Гайдукевич, О.М. Ковш канатного скрепера для добычи сапропеля: патент 2495 Респ. Беларусь на полез. модель, МПК 7 E 02F 3/54; заявитель ГНУ «ИПИПРЭ НАН Беларуси» / О.М. Гайдукевич, Б.В. Курзо, И.В. Кляузе. – № u20050352; заявл. 14.06.2005; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С. 193.

39. Сапропели кормовые: ТУ 10.02.000284493.345–93. – Введ. 01.07.93. – Минск: Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, 1993. – 8 с.

40. Ресурсосберегающая переработка торфо-сапропелевых смесей для получения экологобезопасных регуляторов роста растений / Г.В. Наумова [и др.] // Природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 92–97.

41. Биологическая активность гидролизатов сапропелей / Г.В. Наумова [и др.] // Весці АН Беларусі. Сер. біял. Навук. 1996. – № 3. – С. 27–30.
42. Минеральные воды и лечебные пелоиды Беларуси: ресурсы и современное использование / М.Г. Ясоев [и др.]. – Минск, 2005. – 346 с.
43. Грязи лечебные сапропелевые: ТУ РБ 100217946.001–2000. – Введ. 01.07.2000. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2000. – 13 с.
44. Пунтус, Ф.А. Лечебные сапропелевые грязи как сырье для получения лечебных и косметических компонентов / Ф.А. Пунтус, А.Ф. Пунтус // Косметические средства и сырье: безопасность и эффективность. – М., 1999. – С. 22–24.
45. Суховицкая, Л.А. Воздействие микроорганизмов-стимуляторов из озерных сапропелей на развитие семян и урожай некоторых овощных культур / Л.А. Суховицкая, Н.И. Мильто // Весці АН БССР. Сер. біял. навук. – 1990. – Т. 5. – С. 42–46.
46. Получение активных углей на основе органических сапропелей / В.С. Комаров [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хімічных навук. – 2001. – № 3. – С. 14–18.
47. Сухая, Т.В. Применение сапропеля в производстве древесноволокнистых плит / Т.В. Сухая, В.Б. Снопков, М.З. Лопотко // Проблемы переработки тверд. горюч. ископаемых. – Минск, 1980. – С. 98–99.
48. Жолнеровский, Д.А. Применение сапропелей в производстве пористой керамики / Д.А. Жолнеровский, М.З. Лопотко, В.В. Фадева // Торф. пром-ть. – 1972. – № 8. – С. 19–20.
49. Косаревич, И.В. Сапропелевые буровые растворы / И.В. Косаревич, Н.Н. Битюков, В.Ш. Шмавонянц. – Минск: Наука и техника, 1987. – 191 с.
50. Комплексное использование торфа и сапропелей в Республике Беларусь / Н.Н. Бамбалов [и др.] // Высокие технологии добычи, глубокой переработки и использования озерно-болотных отложений: матер. Междун. научно-практ. конф., Томск, 12–15 марта 2003 г. / Росс. акад. сельскохоз. наук; редкол.: Э.В. Титова [и др.]. – Томск, 2003. – С. 4–10.
51. Удобрения сапропелевые (с изв. об изм № 2): ТУ РБ 03535026.287–97. – Минск: Бел. национ. центр стандартизации и метрологии, 1997. – 9 с.

52. Сапропели карбонатные для известкования кислых почв: ТУ 46 БССР 12–76. – Введ. 01.07.76. – Минск: Гос. комитет стандартов СМ СССР, 1979. – 3 с.

53. Лопотко, М.З. Сапропели БССР, их добыча и использование / М.З. Лопотко – Минск: Наука и техника, 1974. – 208 с.

54. Сурмач, В.Н. Химический состав и прочность костной ткани у свиней при использовании в рационах сапропеля из разных озер / В.Н. Сурмач, А.М. Карабанов, В.К. Пестис // Биол. активн. вещества в комбикормах и белково-витамин. подкормки в рационах с.-х. животных. – М., 1988. – С. 43–47.

55. Сапропели для мелиорации малопродуктивных земель: ТУ БССР 51–82. – Введ. 01.05.82. – Минск: Гос. комитет СССР по стандартам, 1982. – 5 с.

Учебное издание

БЕРЕЗОВСКИЙ Николай Иванович  
КУРЗО Борис Валентинович  
СЛЫШ Валерий Михайлович

ТОРФЯНЫЕ И САПРОПЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»  
и 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства»

Редактор М.С. Гаращук  
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

---

Подписано в печать 25.10.2011.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 3,31. Уч.-изд. л. 2,59. Тираж 100. Заказ 466.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.