

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ САПРОПЕЛЕЙ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ДЕГИДРАТАЦИИ

Р. Э. Дашко¹, Д. Ю. Власов², З. В. Пушина³,
Т. Г. Утенкова^{*,1}, и С. Л. Иванов¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга», Санкт-Петербург, Россия

Получено 21 января 2023 г.; принято 17 марта 2023 г.; опубликовано 28 апреля 2023 г.

Широкое использование сапропелей в различных областях производства продукции для сельского хозяйства, медицины, фармацевтической промышленности, изготовления энергоносителей и строительных материалов сопряжено с высокой гидрофильностью и влагоемкостью сапропелей и, соответственно, с технологическими трудностями их обезвоживания и доведения до кондиционной влажности в зависимости от их применения. В статье рассматриваются различные аспекты использования сапропелей, прежде всего как качественного удобрения почв посевных территорий, так и для рекультивации нарушенных земель в горном деле и других производствах. В работе на основе выполненных экспериментальных исследований раскрывается природа высокой гидрофильности сапропеля и возможностей ее снижения для производства удобрений на конкретном объекте – Савельевского месторождения Ярославской области.

Ключевые слова: сапропель, дегидратация, вещественный состав, гидрофильность, гранулометрический, силикатный состав, микробиологические методы, метод лазерной дифрактометрии, микроорганизмы.

Цитирование: Дашко, Р. Э., Д. Ю. Власов, З. В. Пушина, Т. Г. Утенкова, и С. Л. Иванов (2023), Многокомпонентный состав сапропелей как основа для совершенствования техники и технологии их дегидратации, *Russ. J. Earth. Sci.*, т. 23, ES2002, 10.2205/2023ES000840

ВВЕДЕНИЕ

Согласно энциклопедическому определению, сапропель – это отложения водоемов суши, состоящие, в основном, из органических веществ и остатков водных микроорганизмов, а также минеральных веществ [Козловский, 1984].

Исходя из существующей нормативной документации (ГОСТ Р 54000-2010) Российской Федерации, сапропели в зависимости от свойств и состава классифицируют на органические, органо-глинистые, органокремнеземистые, органоизвестковые и известковые. В зависимости от содержания тяжелых металлов выделяют сапропели первого и второго классов пригодности.

Классификация сапропелей в зависимости от вещественного состава, в том числе от содержания органики, степени ее разложения, минеральной составляющей, содержания остатков микроорганизмов, была разработана А. Я. Рубинштейном [Рубинштейн, 1986] (рис. 1).

Хотя классификация была предложена для оценки условий строительства, она может быть использована при анализе степени гидрофильности сапропеля. Гидрофильность сапропелей зависит, прежде всего, от содержания и состава органических соединений биогенного и абиогенного генезиса.

Вещественный состав сапропелей определяется условиями их формирования в водоемах с различной проточностью. Необходимо упомянуть, что чрезвычайно большое значение имеет характеристика грунтов, на которых расположен этот водоем, его глубина, особенности развития растительности, характер зарастания (сверху вниз,

Контакты:

*Т. Г. Утенкова, utenkova2310@gmail.com

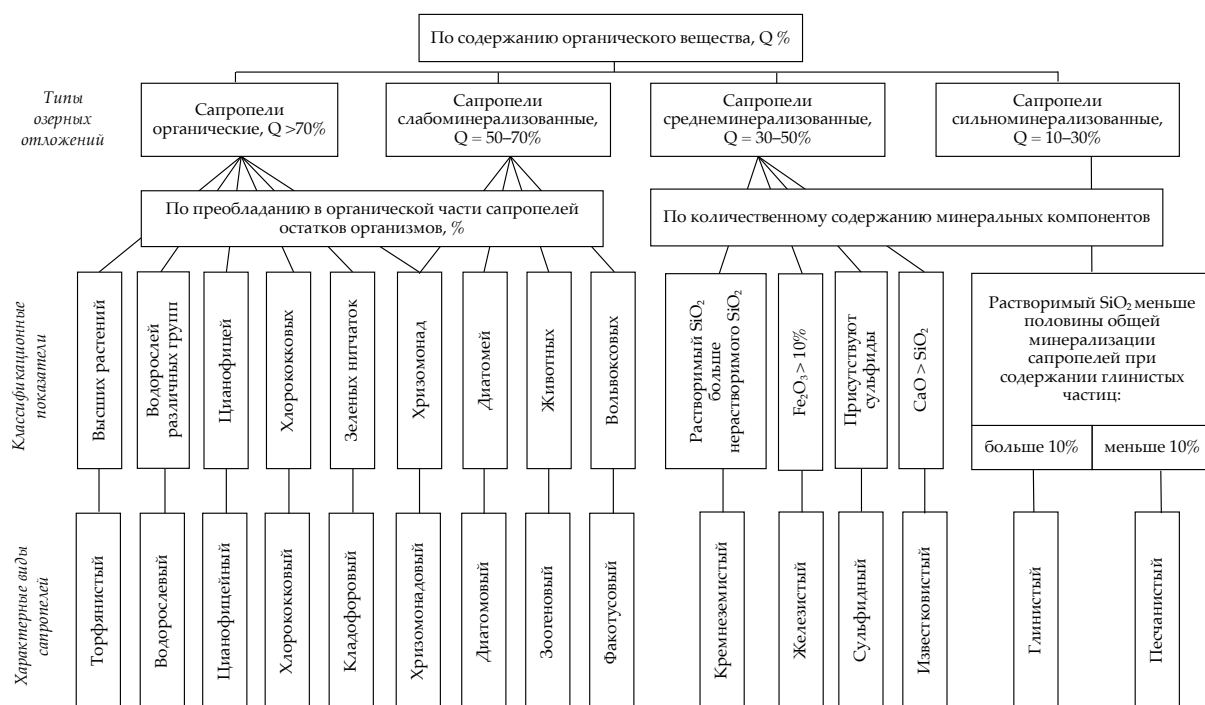


Рис. 1: Генетическая классификация сапропелей [Рубинштейн, 1986].

снизу вверх), степень анаэробности среды, в которой идет преобразование растительности. Большое влияние на формирование сапропелей имеет привнос твердой минеральной составляющей с водотоками, впадающими в озеро, эрозионными процессами в периоды снеготаяния и дождливые периоды. Следует отметить и антропогенные факторы, прежде всего контаминации [Bogush и др., 2022]. Кроме того, нужно сказать, что скорость и активность разложения органического материала при формировании сапропеля зависит от деятельности микроорганизмов (бактерий, актиномицетов, микромицетов, микроводорослей).

Согласно данным С. М. Штина [Штин, 2005], на Европейской части Российской Федерации и на территории стран СНГ насчитывается более 2 100 месторождений озерного сапропеля. Общий запас сапропелевого сырья естественной влажности составляет около 44 млрд м³. Месторождения озерного сапропеля Сибири и Дальнего Востока изучены слабо, исключение составляют лишь отдельно взятые озера: Духовое, Очки, малые озера Обь-Иртышского междуречья, Кобяйского улуса, водоемы Ханты-Мансийского автономного округа [Слепцова и Абрамов, 2022; Шпынова и др., 2020; Bogush и др., 2013; Leonova и др., 2015; Strakhovenko и др., 2014]. Нужно отметить, что особое внимание уделяется именно вещественному составу сапропелей.

По оценкам компании АО «Сапропелевые месторождения», которая создана с целью развития сапропеледобывающей отрасли, на всей территории Российской Федерации выявленные запасы сапропеля составляют около 225 млрд м³ естественной влажности, однако на сайте компании информация по каждому месторождению не приводится.

В настоящий момент на территории Российской Федерации не более 15 зарегистрированных предприятий, которые занимаются добычей и переработкой озерного сапропеля. Большая часть месторождений сапропеля не разрабатывается по причине трудностей, связанных с высокой гидрофильностью сапропелей, которые плохо поддаются обезвоживанию.

Наиболее технологичным и дешевым способом добычи сапропеля считается гидромеханизированный способ [Меламут, 1967; Фомин, 1969]. Чаще всего применяют земснаряд [Лопотко, 1978], однако, в зависимости от условий месторождения, можно использовать землесосную станцию, грейферный снаряд и экскаватор [Штин, 1997]. Транспортировка сапропеля обычно осуществляется с помощью напорного пульпопровода, редко – самотечного. Некоторые из самых распространенных способов обезвоживания сапропеля приведены в табл. 1.

Таблица 1: Способы обезвоживания сапропеля

Наименование способа	Краткое описание	Недостатки
Традиционная сушка с промораживанием.	Сапропель намывают на больших территориях [Тарасов и др., 2005], после чего обезвоживают в отстойниках до влажности 82–85%, промораживают в зимний период со снижением влажности до 75%, а после высушивают до влажности 60–70% [Фомин, 2000].	Длительность сушки, низкое качество обезвоженного сапропеля, необходимость в огромных площадях.
Обезвоживание в геотекстильных контейнерах Geotube и обезвоживание с предварительным промораживанием.	Геотекстильный контейнер заполняют сапропелем естественной влажности, после уменьшения первоначального объема производят последующие подкачки (от 1 до 5 раз). Для улучшения водоотдачи добавляют различные реагенты (состав реагента не сообщается). Основные производители контейнеров Geotube – голландская компания TenCate, индийская компания КК Enviro и китайская компания Geotrst [Аджиевко, 2009; Khachan и Bhatia, 2017], технология широко используется в США и Европе [de Souza и др., 2020; Jahan и др., 2018]. Иногда, после заполнения емкости сапропелем естественной влажности, следует его промораживание и оттаивание в естественных условиях в определенном диапазоне температур, затем сушка в сушильной камере до 60% влажности. Известно, что предварительное промораживание улучшает процесс водоотдачи [Бабенко и др., 2005].	Длительность процесса обезвоживания, необходимость в значительных площадях, ограниченная производительность.
Обезвоживание в фильтрующих центрифугах.	Обезвоживание в центрифуге происходит под действием центробежных сил. Степень обезвоживания сапропеля в фильтрующих центрифугах составляет порядка 85% [Тарасов и др., 2002; Хименков и Шестопалов, 2013].	Низкая производительность, высокие энергозатраты.
Обезвоживание сапропеля с помощью шнекового сепаратора.	Производительность шнекового сепаратора при обезвоживании сапропеля может достигать 10–12 м ³ в час, конечная влажность сапропеля – 75–30% [Алькав, 2023; Центр по сапропелю, 2023].	Высокие энергозатраты.

Издавна сапропель использовался в сельском хозяйстве жителями, живущими вблизи водоемов, как удобрение. Сапропелевые удобрения – единственные в своем роде почвообразующие удобрения, что имеет большое значение для рекультивации нарушенных земель [Guerreiro и др., 2019; Kovalenko и др., 2016]. Удобрения на основе сапропеля имеют ряд преимуществ перед другими удобрениями, и, в первую очередь, они спо-

собствуют росту гумусового слоя. При использовании таких удобрений увеличивается количество полезных микро- и макроэлементов в почве, вследствие чего повышается урожайность различных сельскохозяйственных культур. Нужно отметить, что наибольшая урожайность наблюдается при совместном использовании минеральных и сапропелевых (органических) удобрений [Семенова, 2011; Синявский и др., 2021; Bakšienė и

Janušienė, 2006]. Известковый сапропель используется в качестве источника углерода для культивирования фосфатмобилизирующих микроорганизмов, так как фосфор, наряду с калием и азотом, – важнейший биогенный компонент, необходимый для роста и развития растений [*Минаковский и др., 2020*].

При строительстве автомобильных дорог и аэродромов используют активированный сапропель (высушенный при 110 °С и далее подвергнутый механической активации) в качестве добавки в асфальтобетоны, что повышает их прочность в 1,5–3 раза по сравнению с другими композитными материалами без сапропелевых добавок [*Николаева, 2017*]. Активированный сапропель используют в качестве интегрального компонента для производства топливных брикетов, улучшающего их технические характеристики за счет повышения содержания углерода и связующего компонента [*Кусков и Бажин, 2016; Скрипченко и др., 2012*].

В медицине сапропель широко используют в качестве лечебных грязей, а в фармацевтической промышленности – при производстве биологически активных веществ. Выделенный из сапропеля гуминовый комплекс безвреден, стимулирует биологические процессы в организме человека и животных, обладает антисептическими и антимикробными свойствами [*Китапова и Зиганшин, 2015*]. Сапропель используют и при производстве стабильных гетерогенных биокатализаторов с требуемой ферментативной активностью. Производство таких биокатализаторов подразумевает использование сапропелевых илов пресноводных водоемов, прошедших термохимическую обработку путем отжига полукокс в инертной атмосфере при 600 °С. [*Бондаренко и др., 2022; Платонов и др., 2016; Савченко и др., 2014*].

В химической промышленности сапропель используют для производства никелевых катализаторов [*Terekhova и др., 2023*].

В нефтегазовой отрасли сапропелевые эмульсии используются при бурении скважин в глинистых и глинисто-карбонатных породах [*Кустышев и Леонтьев, 2016; Леонтьев и др., 2016*].

Отмечается также использование торфо-сапропелевых смесей для землевания и снижения пожарной опасности самовозгорающихся пород месторождений торфа [*Крупнов, 2011*] и бурого угля [*Gromyka и Gogolinskiy, 2022*].

В животноводстве сапропель успешно применяется в качестве кормовых добавок для различных животных. Например, в мясе гусей, получавших кормовые добавки на основе сапропеля, содержание белка было выше на 5,7%, а содержание жира – на 4% по сравнению с контрольными

ми аналогами. Отмечалось и улучшение вкусовых качеств мяса [*Григорьев и др., 2022*]. Использование кормовых добавок на основе сапропеля при откормке овец улучшило конверсию питательных веществ. Анализ показал увеличение конверсии протеина в пищевую белок примерно на 4% [*Алимов и др., 2022*]. При добавлении сапропеля в корма для уток улучшалось качество и вкус их мяса [*Шарипова и др., 2022*].

МЕТОДЫ

Как уже отмечалось выше, основная проблема, особенно при производстве удобрений, связана с дегидратацией сапропелей. При этом степень гидрофильности сапропелей, их высокая влагоемкость зависит от их вещественного состава. При разработке методов обезвоживания детальному изучению органического вещества и минерального состава не уделяется должного внимания. Достаточно детально изучение факторов, определяющих влагоемкость сапропелей, было выполнено для Савельевского месторождения, которое располагается в Ярославской области вблизи г. Переславль-Залесский, его запасы составляют около 2377 тыс. м³ (*рис. 2*). Согласно государственному каталогу географических названий и государственному водному реестру, площадь зеркала озера составляет 0,44 км², оно располагается на абсолютной отметке 165 метров, имеет почти идеальную форму круга с диаметром около 750 метров.

Названное месторождение разрабатывается предприятием ООО «Эковит», на котором производятся торфо-сапропелевые удобрения. Максимальная производительность предприятия составляет 20 000 т/год. В процессе добычных работ и последующей переработки сохраняются все полезные свойства сапропеля [*Дементьев и Штин, 2019*]. В едином непрерывном безотходном технологическом цикле получается расфасованная готовая экологически чистая продукция. Фасовка производится в мягкие контейнеры от 10 л до 1 тонны.

Добыча сапропеля ведется с помощью плавучего земснаряда (МЗС-800П) с погружным грунтонасосным агрегатом, далее по пульпопроводу заполняют приемный бункер-накопитель объемом 500 м³. Из бункера-накопителя сапропель с влажностью более 90% подается в смеситель, где его перемешивают с измельченным (максимальный размер частиц – до 100 мкм) и высушенным до 28% влажности торфом [*Дементьев, 2010*]. Главным недостатком технологии является сушка торфа. Влажность торфа, поступающего на сушку в кинематический дезинтегратор, должна



Рис. 2: Общий вид объекта: 1 – озеро Савельево; 2 – магистральный пульпопровод; 3 – приемный бункер-накопитель; 4 – технологический цех производства торфо-сапропелевого удобрения (Тентовый ангар 24 × 36 м).

находиться в определенном диапазоне (40–55%), если не соблюдается такое условие, то на выходе получают бракованную продукцию, или происходит возгорание торфа в кинематическом дезинтеграторе [Дементьев и Штин, 2019; Штин, 2009].

Не имея достаточного количества данных о свойствах сапропеля, о его вещественном составе, невозможно совершенствование технологий и техники его дегидратации. Как уже отмечалось ранее, сапрпель относится к биогенным грунтам, его вещественный состав представлен твердой составляющей (минеральная часть) и биогенной (органической). Органическая часть сапрпеля имеет принципиальное значение как удобрение и может быть разделена на абиотическую и биотическую. Абиотическая часть представлена гуматами и фульватами (коллоидная фракция), а биотическая – микроорганизмами: бактериями, актиномицетами, микромицетами, микроводорослями. Все перечисленные организмы имеют одноклеточное строение, однако клетки различны по строению и составу. Все клетки имеют

отрицательный заряд, нужно сказать, что заряд имеет как живая клетка, так и мертвая.

В работах по способам дегидратации сапрпелей не обращается никакого внимания на структурированность поровой воды, которая формируется под влиянием активных центров и зарядов на поверхности твердой минеральной составляющей, и особенно органической части сапрпелей. Чем выше содержание коллоидной фракции, тем выше влагоемкость и гидрофильность сапрпеля.

По некоторым данным, полученным на кафедре гидрологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета, впервые было выполнено определение микробного белка в разрезах сапрпелей на юге Литвы, которое составило 3 500–4 000 мкг/г. Определения выполнялись по биохимическому методу М. Брэдфорда. Микробный белок состоит из белка живых и мертвых клеток и продуктов их метаболизма.

Для сапрпеля Савельевского месторождения были проведены экспериментальные исследования, которые позволили установить гра-

нулометрический состав методом лазерной дифрактометрии в Научном центре «Экосистема» Санкт-Петербургского горного университета и силикатный состав в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского. Кроме того были выполнены современные микробиологические исследования с помощью метагеномного анализа 16S рРНК в ресурсном центре Санкт-Петербургского государственного университета [Современная микробиология. Прокариоты, 2005], также были выполнены посеы на питательные среды для установления таксонов микроорганизмов. Ископаемые диатомовые водоросли определялись в ФГБУ «ВНИИОкеангеология». Естественная влажность сапропеля Савельевского месторождения определялась методом термогравиметрического анализа и составила 93–97%.

Гранулометрический состав

Гранулометрический состав сапропеля естественной влажности определялся методом лазерной дифрактометрии на анализаторе модели LA-950 Laser Particle Size Analyzer [Болдырева и др., 2019], исследовались две параллельные пробы (1 и 2), содержание песчаной, пылеватой и глинистой фракции приведено в табл. 2.

Согласно классификации, которая разработана в инженерной геологии В. В. Охотиным (применима в настоящее время), сапропели относятся к пылеватым глинам, содержание глинистой фракции превосходит 30%, в условиях отсутствия органической составляющей и диатомовых водорослей влажность таких грунтов не превышала бы 40%.

Повышенная влажность обеспечивается органической составляющей биогенного и абиогенного генезиса. Содержание биогенной органики (по данным прокаливания) не превышает 32%. При этом необходимо отметить, что такая органика не образует свободной фазы в сапропеле, а присутствует в виде органических пленок на минеральных частицах, в противном случае, при использовании метода лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава, была бы выделена коллоидная фракция размером менее 0,0001 мм. Такие органические пленки на твердых частицах обычно формируются совместно с микробными (био пленки) и трудно отделяются от минерального зерна. Согласно исследованиям Д. Г. Звягинцева (профессора микробиологии МГУ), отделение пленок начиналось в центрифугах при ускорении свыше 5 000 г [Звягинцев и др., 2005].

Высокие адгезионные способности этих пленок предопределяют возможность их удаления с помощью микрофибры вместе с минеральной частью, что и было доказано опытами, проведенными Т. Г. Утенковой в лабораторных условиях. Было выполнено сравнение первоначального гранулометрического состава сапропелей естественной влажности (93–97%) и после их обезвоживания (61–65%) с помощью машины по обезвоживанию сапропеля (Патент RU 2 751 242 C1). Оказалось, что дегидратация сопровождалась изменениями гранулометрического состава в сторону его укрупнения (табл. 3).

Как известно, чем крупнее фракция, тем тоньше органические пленки. Удаление с водой тонких фракций, обогащенных наибольшим содержанием органической части, значительно обедня-

Таблица 2: Содержание различных фракций в образцах сапропеля естественной влажности Савельевского месторождения

Проба 1			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		содержание, %
	от	до	
Песчаная	0,05	2	—
Пылеватая	0,002	0,05	61,1
Глинистая	<0,002		38,9
Коллоидная	<0,0002		—
Проба 2			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		содержание, %
	от	до	
Песчаная	0,05	2	0,1
Пылеватая	0,002	0,05	58,1
Глинистая	≤0,002		41,8
Коллоидная	≤0,0002		—

Таблица 3: Содержание различных фракций в образцах сапропеля Савельевского месторождения после обезвоживания (влажность 61–65%)

Проба 1			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		содержание, %
	от	до	
Песчаная	0,05	2	27,38
Пылеватая	0,002	0,05	72,30
Глинистая	<0,002		0,33
Коллоидная	<0,0002		—
Проба 2			
Наименование фракции	Размер фракции, мм		содержание, %
	от	до	
Песчаная	0,05	2	20,58
Пылеватая	0,002	0,05	78,95
Глинистая	≤0,002		0,47
Коллоидная	≤0,0002		—

ет конечный продукт, за счет потери органического компонента, благоприятствующего плодородию почв.

Нужно сказать, что коллоидная фракция органического компонента обладает аномально высокой водоудержательной способностью и, соответственно, при таком способе обезвоживания происходит удаление не воды, а коллоидной суспензии.

Силикатный анализ

Для определения содержания оксидов в сапропеле пробы в течение 2–3 часов прогревались с постепенным повышением температуры до 500 °С (озоление). Потом температуру повышали до 960 °С и выдерживали 1 час. Результаты анализа приведены в табл. 4.

Микробиологический анализ

Профессором Д. Ю. Власовым были выполнены посевы на питательных средах образцов сапропеля для выявленных таксонов микроорганизмов и их численности. Определены аммонифицирующие бактерии в количестве 10^6 – 10^7 колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм субстрата, сульфатредуцирующие бактерии 10^4 – 10^5 КОЕ на грамм субстрата, железоредуцирующие – 10^4 – 10^5 КОЕ на грамм субстрата, микромицеты обнаружены единично, преобладали анаэробные микроорганизмы. Наличие аммонифицирующих бактерий весьма благоприятно для сельского хозяйства, так как генерация аммония способствует плодородию почв из-за хорошей усвояемости азота в форме NH_4^+ , которая входит в состав мочевины.

Метагеномный анализ (по 16S рРНК)

Исходя из результатов метагеномного анализа (по последовательности гена 16S рРНК), можно сделать вывод о том, что сапропель достаточно разнообразен по составу микробиома. Большую часть микробиома составляют бактерии, отмечается небольшое присутствие архей (3%). Среди бактерий преобладает класс Gammaproteobacteria (37%). Некоторые бактерии из этого класса имеют большое экологическое и медицинское значение. Среди представителей Gammaproteobacteria отмечены анаэробные формы – сульфатредуцирующие бактерии.

Следующий по численности класс Alphaproteobacteria (12%), который включает микроорганизмы с разными путями метаболизма. В него входят, например, уксуснокислые (ацетатные) бактерии, метилотрофы, а также бактерии, способные к спиртовому брожению. К подклассу Alphaproteobacteria относят Sphingomonadaceae (около 3% микробиома), которые способны развиваться в широком диапазоне условий (вода, почва, органические отложения), обладают высокой антагонистической активностью в отношении некоторых микроорганизмов. Некоторые виды сфингомонад известны способностью разлагать ароматические соединения, что делает их перспективными в биоремедиации. Выявленный в составе семейства род Sphingomonas выделяет во внешнюю среду экзополисахариды с высокой вязкостью. Это свойство имеет значение в формировании микробных биопленок. Благодаря этому свойству данные бактерии считаются перспективными для использования в промышленной микробиологии. Большинство представителей данной группы не является

Таблица 4: Содержание оксидов в сапропелях Савельевского месторождения

Определяемые оксиды, %	Проба		Примечания
	1	2	
SiO ₂	38,520	36,040	
CaO	22,340	23,610	Также было определено содержание V, Cr, Ba и ППП (потери при прокаливании). ППП характеризуют количественное содержание органического вещества и варьируются в узком интервале (31,4–32,4%)
Al ₂ O ₃	3,470	3,580	
Fe ₂ O ₃ общ	1,329	1,397	
MgO	1,088	1,164	
K ₂ O	0,928	0,924	
Na ₂ O	0,252	0,303	
P ₂ O ₅	0,105	0,104	
MnO	0,090	0,094	

патогенами. На долю неидентифицированных бактерий приходится около 18% микробиома сапропеля, кроме того в пробе присутствуют диатомовые и золотистые водоросли, наличие которых специально изучалось в ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

Диатомовый анализ

Наличие диатомовых водорослей было изучено в двух образцах сапропелей. В образце 1 были установлены единичные створки пресноводных диатомовых водорослей. В образце 2 определен пресноводный диатомовый комплекс, состоящий из 23 видов, также обнаружены цисты золотистых водорослей. Сохранность створок диатомей была неодинаковой, некоторые виды представлены фрагментами, поэтому их удалось определить только до рода (например, *Nitzschia* sp. 1). Диатомовые водоросли позволяют нам определить палеоэкологию формирования донных отложений, основываясь на анализе литературных источников [например, Демидова, 2013; Dam и др., 1994]

В диатомовом комплексе образца 2 доминируют планктонные диатомеи *Aulacoseira islandica* (43% от общего состава комплекса), субдоминанта – бентосный вид, обрастатель *Staurosira venter* (25%), в числе сопутствующих видов – бентосные виды, обрастатель *Cocconeis placentula* (7%), донный *Sellaphora pupula* (4%), донный *Navicula radiosa* (3%), обрастатель *Encyonema silesiacum* (2%), донный *Navicula cryptocephala* (2%) и другие (рис. 3) [Dam и др., 1994].

Результаты исследования диатомовых водорослей приведены в табл. 5.

В диатомовом комплексе численно преобладают бентосные виды – 57%, хотя количество планктонных видов, представленных фактически одним видом *Aulacoseira islandica* (43%), тоже до-

статочно высоко. Такой смешанный состав отражает, вероятно тот факт, что образец отобран в пресноводном водоеме, поскольку преобладают пресноводные диатомеи, в мелководных условиях с хорошо развитой бентосной флорой, что характеризует большое количество видов-обрастателей (например, *Staurosira venter*).

По отношению к активной реакции среды (рН) – условия нейтральные, возможно, слабощелочные, так как практически все виды предпочитают нейтральную или слабощелочную среду. Ацидофильные виды встречены единично (*Eunotia minor* – 1%).

По географической приуроченности практически все диатомовые виды – космополиты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании проведенных экспериментальных работ для оценки вещественного состава можно классифицировать сапропель Савельевского месторождения согласно ГОСТ Р 54000-2010 «Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия» как органо-глинистый с содержанием органического вещества ≈32%, а используя классификацию А. Я. Рубинштейна, в которой выделены разности биогенных грунтов, сапропель можно отнести к среднеминерализованному кремнеземистому типу, при этом часть кремнезема представлена биогенным SiO₂, который имеет максимальную водоудерживающую способность.

Микробиологические исследования, в которые входит диатомовый анализ, дают возможность объяснить повышенное влагосодержание сапропелей и их водоудерживающую способность.

Как отмечалось ранее в этом разделе, диатомовые водоросли, створки раковин которых состоят из биогенного кремнезема, обычно характеризуются весьма высокой влажностью, как, на-

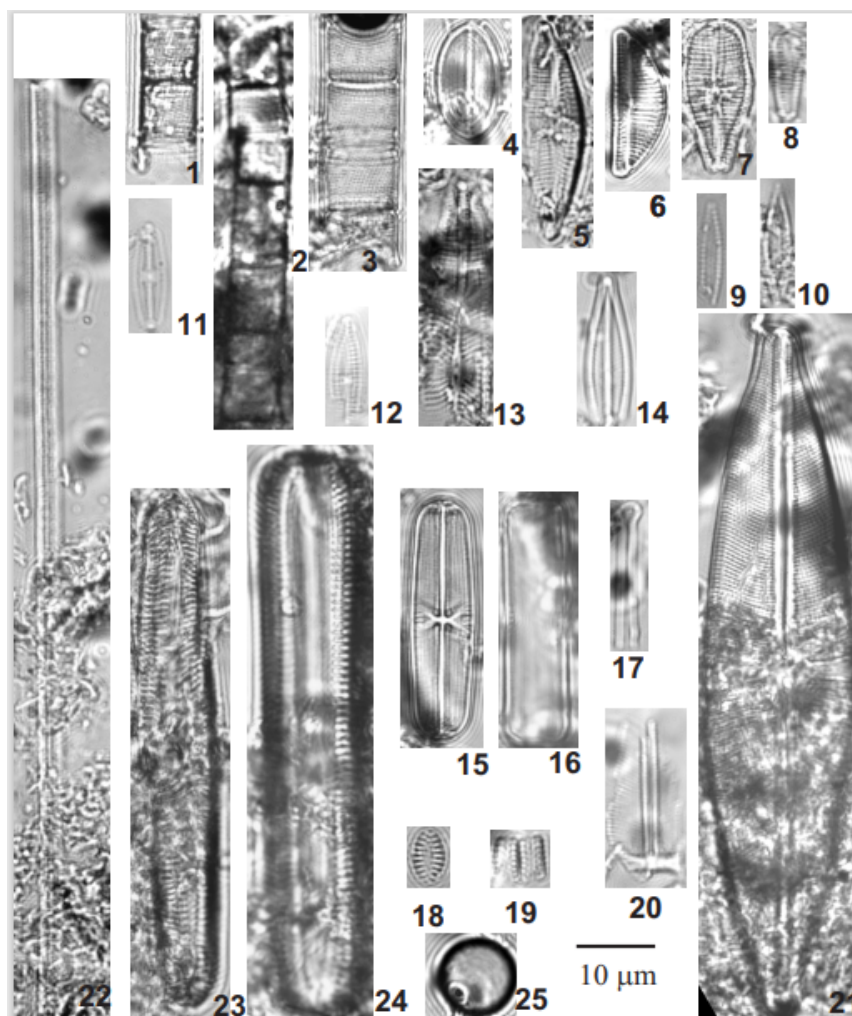


Рис. 3: Таблица микрофотографий диатомовых водорослей образца сапропеля 2. 1 – *Aulacoseira* sp., 2–3 – *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simons; 4 – *Cocconeis placentula* Ehrenberg; 5–6 – *Encyonema silesiacum* (Bleish) D. G. Mann; 7 – *Gomphonema constrictum* var. *capitata* (Ehrenberg) Cl.; 8 – *G.* sp.; 9 – *Pseudostaurosira* sp.1; 10 – *P.* sp. 2; 11 – *Psammothidium* sp.; 12 – *Navicula* sp.; 13 – *N. radiosa* Kützing; 14 – *N. cryptocephala* Kützing; 15–16 – *Sellaphora pupula* (Kützing) Mer.; 17 – *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kützing; 18–19 – *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cl. et Möller; 20 – *Stauroneis anceps* Ehrenberg; 21 – *S. phoenicenteron* (Nitzsch.) Ehrenberg; 22 – *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) P. Compère; 23–24 – *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cl.; 25 – циста золотистых водорослей.

пример, озерные диатомовые илы Кольского полуострова, имеющие аномально высокую влажность (5 000–6 000%). Если прибегнуть к методу аналогии и проанализировать влияние присутствия диатомей на влагосодержание, то в качестве примера можно привести сапропели пресного озера Имандра, в которых содержание тонкодисперсной части до 30% диатомей обеспечивало повышение влажности практически до 100%, что согласуется с влажностью сапропелей Савельевского месторождения [Николаева и др., 2015; Яковлев и Кашулин, 2012].

Следует отметить, что в образцах сапропеля присутствуют крупные створки диатомовых во-

дорослей, которые по размеру могут быть приравнены к песчаным частицам. Такие створки представлены бентосными формами, их суммарное содержание от общего состава диатомей составляет 5,6%.

Весьма интересные данные были получены по изучению бактериальной микрофлоры с помощью современного метагеномного анализа 16S рРНК, который хорошо дополняют посеы на питательные среды.

Особо следует коснуться влияния бактерий, причем бактерии относятся в основном к формам с анаэробным типом дыхания. Нужно обсудить их роль в формировании гидрофильности сапро-

Таблица 5: Характеристика диатомовых водорослей в сапропеле Савельевского месторождения

Таксоны	Место-обитание	Соленость	По отношению к рН	Геогр. приуроченность	% от общего состава комплекса
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simons	планктон	пресн.	алк., инд.	космополит	43
<i>Stauriosira venter</i> (Ehrenberg) Cl. et Möller	бентос, обр.	пресн.	инд.	космополит	25
Цисты золотистых водорослей		пресн.	инд.		9
<i>Cocconeis placentula</i> (Ehrenberg)	бентос	пресн.	инд.	космополит	7
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mer.	бентос, д.	пр-сол.	инд.		4
<i>Navicula radiosa</i> (Kützing)	бентос, д.	пресн.	инд.	космополит	3
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleish) D. G. Mann	бентос, обр.	пр-сол.	инд.	космополит	2
<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitata</i> (Ehrenberg) Cl.	бентос, обр.	пр-сол.			2
<i>Navicula cryptocephala</i> (Kützing)	бентос, пл.	пр-сол.	алк.	космополит	2
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cl.	бентос	пресн.	инд.	космополит	2
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	бентос	пресн.	ацид.	космополит	1
<i>Stauroneis anceps</i> (Ehrenberg)	бентос	пресн.	инд.	космополит	1
<i>S. phoenicenteron</i> (Nitzsch.) Ehrenberg	бентос	пресн.	инд.		1
<i>Gomphonema</i> sp.	бентос, обр.				0,6
<i>Psammothidium</i> sp.	бентос, обр.				0,6
<i>P.</i> sp. 2	бентос				0,6
<i>Synedra</i> sp.	бентос				0,6
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) P. Compère	бентос	пресн.	алк.		0,6
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Bréb.) Round et Bukht.	бентос, обр.	пресн.	алк.	космополит	0,3
<i>Pseudostaurosira</i> sp. 1	бентос				0,3
<i>Navicula</i> sp.	бентос, д.				0,3
<i>Nitzschia</i> sp. 1	бентос				0,3
<i>N.</i> sp. 2	бентос				0,3
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kützing	бентос, пл.	пресн.	инд.	космополит	0,3

Примечание: Экологические группы диатомей: по местообитанию: пл. – планктон; бентос, д. – донные, бентос, обр. – обрастатели; по солености: пресн. – пресноводные, пр-сол. – пресноводно-солонатоводные; по отношению к активной реакции среды (рН): ацид. – ацидофилы, инд. – индифференты, алк. – алкалифилы.

пелей. Как известно, размеры клетки бактерии обычно не превышают 2–5 мкм, их влияние с учетом отрицательного заряда подобно воздействию глинистых частиц. Однако при температуре 70 °C наблюдается денатурация (гибель клетки) и ее

обезвоживание. Большое влияние на плодородие почв оказывают аммонифицирующие бактерии, генерирующие аммиак, который при растворении в воде присутствует в форме отрицательно гидратирующего иона. Такие ионы способствуют раз-

рушению структуры воды, что важно для жизни растений, поскольку их корневая система может усвоить большее количество влаги.

На основании всего вышесказанного можно утверждать, что все трудности с обезвоживанием связаны с наличием органических пленок на поверхности твердых частиц различной степени дисперсности, в нашем случае это пылеватые и глинистые. Как уже было отмечено, наибольшее количество адгезированного органического материала находится на поверхностях глинистых и мелко пылеватых частиц.

Основные пути совершенствования техники и технологии механической дегидратации сапропелей (например, с помощью машины по обезвоживанию сапропеля, Патент RU 2 751 242 C1) должны быть направлены на укрупнение частиц с помощью флокулянтов. Известно, что с ростом размера агрегатов и флокул снижается гидрофильность грунта. При этом флокулянт должен обладать следующими свойствами:

1. Полное отсутствие токсичности не только для человека, но и для бактерий;
2. Возможность флокулирования органосодержащих грунтов;
3. По возможности должно быть содержание органических и неорганических компонентов, которые могут быть дополнительными составляющими, улучшающими плодородие почв.

Такие флокулянты следует искать среди энзимов (белков микробного и растительного происхождения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из определения сапропелей, рассмотрены различные классификации, предложенные как в нормативных документах, так и разработанные ранее специалистами по исследованию биогенных грунтов.

Отмечается, что гидрофильность сапропелей, определяющая возможность их дегидратации, зависит от вещественного состава, биогенного и абиогенного генезиса.

Кратко рассмотрено формирование вещественного состава озерных сапропелей, приведены основные сведения об их месторождениях и о современном состоянии разработки и использования в различных производствах, начиная от изготовления удобрений до применения в бальнеологических целях.

Особое внимание обращено на способы дегидратации сапропелей и трудности, с которыми связана дегидратация биогенных грунтов и изготовление необходимой продукции.

Изучение факторов, влияющих на высокую гидрофильность и на возможность совершенствования технологии переработки, рассмотрено на примере озерных сапропелей Савельевского месторождения.

Анализ результатов позволил установить, что основное внимание нужно уделить органической составляющей, которая представлена в виде биопленок на твердых частицах, а также содержанию диатомовых водорослей.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность генеральному директору предприятия ООО «Эковит», Большакову Валерию Юрьевичу, за помощь при опробовании сапропелей, а также ознакомлении с технологией их дегидратации и изготовления торфо-сапропелевых удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аджиенко В. Е. Технология и контейнеры Geotube – Новый процесс обезвоживания с известными преимуществами // Национальный каталог «Техника и технологии ЖКХ» приложение к журналу «ЖКХ: журнал для руководителя и главного бухгалтера». — 2009. — Т. 1. — С. 1.
- Алимов И. Ф., Ежков В. О., Ларина Ю. В. Дегустационная оценка и химический анализ мяса гусей, получавших в кормлении сапропель // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. — 2022. — Т. 249, № 1. — С. 6–9. — DOI: [10.31588/2413_4201_1883_1_249_6](https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_6).
- Алькар. Оборудование для переработки отходов. Сепаратор SEPRA для переработки сапропеля : Электронный ресурс. — 2023. — Дата обращения: 14.03.2023. https://bio.spbu.ru/science/scienceinfo/el_resource.php.
- Бабенко С. А., Семакина О. К., Бокуцова К. П. и др. Разработка технологии гранулирования органо-минеральных удобрений на основе озерных сапропелей // Известия ТПУ. — 2005. — Т. 1. — С. 119–122.
- Болдырева В. Э., Безуглова О. С., Морозов И. В. К вопросу об определении гранулометрического состава почв с использованием метода лазерной дифракции // Мелиорация и гидротехника. — 2019. — Т. 1, № 33. — С. 184–194. — DOI: [10.31774/2222-1816-2019-1-184-194](https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-1-184-194).

- Бондаренко А. М., Качанова Л. С., Челбин С. М. *и др.* Исследование процесса производства гуминовых органоминеральных удобрений в системе экономической безопасности страны // Дальневосточный аграрный вестник. — 2022. — Т. 1, № 61. — С. 95–103. — DOI: [10.24412/1999-6837-2022-1-95-103](https://doi.org/10.24412/1999-6837-2022-1-95-103).
- Григорьев М. Ф., Черноградская Н. М., Григорьева А. И. Биоконверсия протеина и эффективность использования энергии кормов овцами при включении в их рационы нетрадиционные кормовые добавки // Нива Поволжья. — 2022. — Т. 1, № 61. — DOI: [10.36461/NP.2022.61.1.008](https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.008).
- Дементьев В. А. Способы и средства добычи сапропелей естественной влажности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — Т. 1. — С. 24–28.
- Дементьев В. А., Штин С. М. Промышленная добыча сапропеля уже в России // Гидротехника. — 2019. — Т. 1, № 54. — С. 64–66.
- Демидова С. В. Диатомовая флора муравинского межледниковья Беларуси. — Минск : Экономпресс, 2013. — С. 199.
- Звягинцев А. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. — М. : Издательство Московского университета, 2005.
- Китапова Р. Р., Зиганшин А. У. Биологическая активность гуминовых веществ, получаемых из торфа и сапропеля // Казанский мед. ж. — 2015. — Т. 1. — С. 84–49.
- Козловский Е. А. Горная энциклопедия: В 5 т. Т. 4. — М. : Сов. энцикл., 1984. — С. 623.
- Крупнов Р. А. Снижение пожароопасности на выработанных торфяных месторождениях // Труды Инсторфа. — 2011. — Т. 3, № 56. — С. 27–32.
- Кусков В. Б., Бажин В. Ю. Использование различных видов углеродсодержащего сырья для получения тепловой энергии // Записки Горного института. — 2016. — Т. 220. — С. 582–586. — DOI: [10.18454/pmi.2016.4.582](https://doi.org/10.18454/pmi.2016.4.582).
- Кустышев А. В., Леонтьев Д. С. Исследование свойств торфощелочного раствора для бурения скважин в глинистых породах // Территория Нефтегаз. — 2016. — Т. 3.
- Леонтьев Д. С., Кустышев А. В., Цедрик Н. С. Перспективы применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте нефтяных скважин // Известия вузов. Нефть и газ. — 2016. — Т. 3.
- Лопотко М. З. Озера и сапропель // Минск: Наука и техника. — 1978.
- Меламут Д. Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве. — М. : Стройиздат, 1967.
- Минаковский А. Ф., Игнатовец О. С., Шатило В. И. Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизирующих микроорганизмов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2020. — Т. 2. — С. 101–106.
- Николаева Л. А. Разработка и структурные исследования окускованного топлива из угольных отходов // Отходы и ресурсы. — 2017. — Т. 4, № 4. — С. 1–12.
- Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С. *и др.* Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): Результаты палеолимнологических исследований // Труды Карельского научного центра РАН. — 2015. — Т. 5. — С. 34–47. — DOI: [10.17076/lim49](https://doi.org/10.17076/lim49).
- Платонов В. В., Ларина М. А., Дмитриева Е. Д. *и др.* Биологически активные медицинские препараты на основе сапропелевого гуминового комплекса, Вестник новых медицинских технологий. — 2016. — DOI: [10.12737/19646](https://doi.org/10.12737/19646).
- Рубинштейн А. Я. Биогенные грунты. — Москва: Наука, 1986. — 87.
- Савченко И. А., Корнеева И. Н., Погодин И. С. *и др.* Оценка специфической фармакологической активности гуминовых веществ сапропеля Омской области // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2014. — Т. 4, № 58. — С. 51–55.
- Семенова З. В. Потенциальные возможности сапропелей в решении продовольственных проблем // Вестник ИрГТУ. — 2011. — Т. 8, № 55. — С. 154–161.
- Синявский И. В., Плотников А. М., Созинов А. В. *и др.* Оценка зависимости урожайности зерновых культур в севообороте от применения сапропелей, извести, азотного и фосфорного удобрения // Вестник Курганской ГСХА. — 2021. — Т. Т. 3, 39. — С. 13–20.
- Скрипченко Е. В., Калашникова В. Ю., Кусков В. Б. Разработка технологии получения топливных брикетов из маловостребованного углеродсодержащего сырья // Записки Горного Института. — 2012. — Т. 196. — С. 147–149.
- Слепцова Т. В., Абрамов А. Ф. Оценка сапропелевого сырья озерных месторождений Кобяйского улуса республики Саха (Якутия) и перспективы его использования в сельскохозяйственном производстве // Вестник КрасГАУ. — 2022. — Т. Т. 7. 184. — С. 46–51.
- Современная микробиология. Прокариоты : в 2 т. / под ред. *Й. Ленгелера, Г. В. Дрекса, Г. Шлегеля.* — Москва : МИР, 2005. — С. 1192.
- Тарасов Ю. Д., Рыжих А. Б., Прялухин А. Ф. Патент РФ No 2002130104/12, 10.07.2004 // Филь-

- трующая центрифуга для обезвоживания сапропеля. — 2002.
- Тарасов Ю. Д., Рыжих А. Б., Прялухин А. Ф. Перспективы создания высокоэффективного комплекса для снижения влагосодержания тонко- и грубодисперсных сапропелей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2005. — Т. 1. — С. 278–279.
- Фомин А. И. Технология добычи местных удобрений (сапропелей). — М. : Высшая школа, 1969.
- Фомин В. Н. Определение теплофизических параметров сушки сапропеля, Биологические технико-экономические проблемы в с/х: XXXIII научно-практическая конференция 2–3 апреля 1998 // В. Луки. — 2000. — С. 106–107.
- Хименков И. А., Шестопалов И. С. Центрифуга для обезвоживания компонентов кормов // Вестник Курганской ГСХА. — 2013. — Т. 2. — С. 61–62.
- Центр по сапропелю. Оборудование. Минизаводы по производству продукции из сапропеля : Электронный ресурс. — 2023. — Дата обращения: 14.03.2023. <http://sapropex.ru/p125.htm>.
- Шарипова Д. М., Файзрахманов Р. Н., Ежкова А. М. Ветеринарносанитарная экспертиза мяса уток при применении комплексной кормовой добавки // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. — 2022. — Т. 249, № 1. — С. 255–258. — DOI: [10.31588/2413_4201_1883_1_249_255](https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_255).
- Шпынова Н. В., Сартаков М. П., Ананьина И. В. Макро- и микроэлементный состав сапропелей озер Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Инновации и инвестиции. — 2020. — Т. 10. — С. 159–162.
- Штин С. М. Опыт и перспективы разработки сапропеля // Горный журнал. — 1997. — Т. 3. — С. 21–23.
- Штин С. М. Озерные сапропели и их комплексное освоение. — М. : Московский государственный горный университет, 2005. — С. 373.
- Штин С. М. Гидромеханизированная технология разработки торфо-сапропелевых месторождений с получением органо-минеральных удобрений и биотоплива // ГИАБ. — 2009. — С. 12.
- Яковлев В. А., Кашулин Н. А. Об истории лимнологических исследований на Кольском Севере, Вестник Кольского научного центра РАН. — 2012.
- Bakšienė E., Janušienė V. The effects of calcareous sapropel application on the changes of Haplic Luvisols chemical properties and crop yield, Plant // Plant, Soil and Environment. — 2006. — Vol. 51, no. 12. — P. 539–544. — DOI: [10.17221/3629-pse](https://doi.org/10.17221/3629-pse).
- Bogush A. A., Leonova G. A., Krivonogov S. K., et al. Diagenetic Transformation of Sapropel from Lake Dukhovoe (East Baikal Region, Russia) // Procedia Earth and Planetary Science. — 2013. — Vol. 7. — P. 81–84. — DOI: [10.1016/j.proeps.2013.03.161](https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.161).
- Bogush A. A., Leonova G. A., Krivonogov S. K., et al. Biogeochemistry and element speciation in sapropel from freshwater Lake Dukhovoe (East Baikal region, Russia) // Applied Geochemistry. — 2022. — Vol. 143. — P. 105384. — DOI: [10.1016/j.apgeochem.2022.105384](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105384).
- Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands // Netherlands Journal of Aquatic Ecology. — 1994. — Vol. 28, no. 1. — P. 117–133. — DOI: [10.1007/bf02334251](https://doi.org/10.1007/bf02334251).
- de Souza S. F., Cherian B. M., Leão A. L. et al. Natural fibres for geotextiles // Handbook of Natural Fibres (Second Edition) / под ред. R. M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk. — Second Edition. — Woodhead Publishing, 2020. — С. 499–530. — (The Textile Institute Book Series). — DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818782-1.00015-8>.
- Gromyka D. S., Gogolinskiy K. V. Method of State and Residual Resource Assessment of Excavator Bucket Tooth Caps // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2022. — Vol. 58, no. 5. — P. 381–390. — DOI: [10.1134/S1061830922050035](https://doi.org/10.1134/S1061830922050035).
- Guerreiro R. L., Bergier I., McGlue M. M., et al. The soda lakes of Nhecolândia: A conservation opportunity for the Pantanal wetlands // Perspectives in Ecology and Conservation. — 2019. — Vol. 17, no. 1. — P. 9–18. — DOI: [10.1016/j.pecon.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.11.002). — ISSN 2530-0644.
- Jahan I., Wood M., Lake C. B., et al. Using a geotextile with flocculated filter backwash water and its impact on aluminium concentrations // Geotextiles and Geomembranes. — 2018. — Vol. 46, no. 6. — P. 759–769. — DOI: [10.1016/j.geotextmem.2018.07.008](https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2018.07.008).
- Khachan M. M., Bhatia S. K. The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance // Geotextiles and Geomembranes. — 2017. — Vol. 45, no. 4. — P. 280–293. — DOI: [10.1016/j.geotextmem.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2017.04.001).
- Kovalenko G. A., Perminova L. V., Rudina N. A., et al. Sapropel-based supports as novel macroporous carbon-mineral adsorbents for enzymatic active substances // Resource-Efficient Technolo-

- gies. — 2016. — Vol. 2, no. 4. — P. 159–167. — DOI: [10.1016/j.reffit.2016.09.001](https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.09.001).
- Leonova G. A., Bobrov V. A., Krivonogov S. K., *et al.* Biogeochemical specifics of sapropel formation in Cisbaikalian undrained lakes (exemplified by Lake Ochki) // Russian Geology and Geophysics. — 2015. — Vol. 56, no. 5. — P. 745–761. — DOI: [10.1016/j.rgg.2015.04.006](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.04.006).
- Strakhovenko V. D., Taran O. P., Ermolaeva N. I. Geochemical characteristics of the sapropel sediments of small lakes in the Ob'-Irtys' inter-fluve // Russian Geology and Geophysics. — 2014. — Vol. 55, no. 10. — P. 1160–1169. — DOI: [10.1016/j.rgg.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.09.002).
- Terekhova E. N., Belskaya O. B., Trenikhin M. V., *et al.* Nickel catalysts based on carbon-mineral supports derived from sapropel for hydroliquefaction of sapropel organic matter // Fuel. — 2023. — Vol. 332, no. 2. — P. 126300. — DOI: [10.1016/j.fuel.2022.126300](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126300).

MULTICOMPONENT COMPOSITION OF SAPROPELS AS A BASIS FOR PERFECTION OF TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF THEIR DEHYDRATION

Regina Dashko¹, Dmitry Vlasov², Zinaida Pushina³, Tatiana Utenkova^{1*},
and Sergey Ivanov¹

¹Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

³Federal State Budgetary Institution “All-Russian Scientific Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Academician I.S. Gramberg”, St. Petersburg, Russia

*Correspondence to: T. Utenkova, utenkova2310@gmail.com,

Received 27 May 2022; accepted 1 February 2023; published 14 April 2023

Sapropel is natural organic material, which is used in many industries, such as agriculture, medicine, pharmaceutical, manufacture of energy carriers and building materials. However, the widespread use of sapropel is associated with its high hydrophilicity and moisture capacity, leading to technological difficulties with sapropel dehydration to required humidity, depending on its further application. The article discusses various aspects sapropel beneficial application, primarily the advantages of the use of sapropel as a fertilizer for cultivated areas, and for the reclamation of industrial wastelands and mined lands. As a part of this study, experimental research of the qualitative and quantitative parameters of sapropel of Savelievskoye field of the Yaroslavl region was conducted. Based on the results of this research, the nature of the high hydrophilicity of sapropel of Savelievskoye field and the possibilities of reducing its humidity for the production of fertilizers is revealed.

Keywords: sapropel, dehydration, material composition, hydrophilicity, granulometric, silicate composition, microbiological methods, laser diffractometry method, microorganisms.

Citation: Dashko, Regina, Dmitry Vlasov, Zinaida Pushina, Tatiana Utenkova, and Sergey Ivanov, (2023), Multicomponent composition of sapropels as a basis for perfection of technique and technology of their dehydration, *Russ. J. Earth. Sci.*, v. 23, ES2002, 10.2205/2023ES000840

REFERENCES

- Adzhienko V. E. Geotube Technology and Containers – A New Dewatering Process with Known Benefits // National catalog “Equipment and technologies of housing and communal services” appendix to the journal “Housing and communal services: a journal for the head and chief accountant”. — 2009. — Vol. 1. — P. 1.
- Alcar. Equipment for recycling. SEpra separators for sapropel processing : electronic resource. — 2023. — Date of access: 03/14/2023. https://bio.spbu.ru/science/scienceinfo/el_resource.php.
- Alimov I. F., Ezhkov V. O., Larina Y. V. Tasting evaluation and chemical analysis of geese meat fed with sapropel // Scientific notes of KGAVM im. N. E. Bauman. — 2022. — Vol. 249, no. 1. — P. 6–9. — DOI: [10.31588/2413_4201_1883_1_249_6](https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_6).
- Babenko C. A., Semakina O. K., Bokutsova K. P., et al. Development of technology for granulation of organo-mineral fertilizers based on lake sapropels // *Izvestiya TPU*. — 2005. — Vol. 1. — P. 119–122.
- Bakšienė E., Janušienė V. The effects of calcareous sapropel application on the changes of Haplic Luvisols chemical properties and crop yield // *Plant, Soil and Environment*. — 2005. — Vol. 51, no. 12. — P. 539–544. — DOI: [10.17221/3629-pse](https://doi.org/10.17221/3629-pse).
- Bogush A. A., Leonova G. A., Krivonogov S. K., et al. Diagenetic Transformation of Sapropel from Lake Dukhovoe (East Baikal Region, Russia) // *Procedia Earth and Planetary Science*. — 2013. — Vol. 7. — P. 81–84. — DOI: [10.1016/j.proeps.2013.03.161](https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.161).
- Bogush A. A., Leonova G. A., Krivonogov S. K., et al. Biogeochemistry and element speciation in sapropel from freshwater Lake Dukhovoe (East

- Baikal region, Russia) // Applied Geochemistry. — 2022. — Vol. 143. — P. 105384. — DOI: [10.1016/j.apgeochem.2022.105384](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105384).
- Boldyreva V. E., Bezuglova O. S., Morozov I. V. On the issue of determining the granulometric composition of soils using the laser diffraction method // Melioration and hydraulic engineering. — 2019. — Vol. 1, no. 33. — P. 184–194. — DOI: [10.31774/2222-1816-2019-1-184-194](https://doi.org/10.31774/2222-1816-2019-1-184-194).
- Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Chelbin S. M., *et al.* Research on the process of production of humic organo-mineral fertilizers in the country's economic security system // Far Eastern Agrarian Bulletin. — 2022. — Vol. 1, no. 61. — P. 95–103. — DOI: [10.24412/1999-6837-2022-1-95-103](https://doi.org/10.24412/1999-6837-2022-1-95-103).
- Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands // Netherlands Journal of Aquatic Ecology. — 1994. — Vol. 28, no. 1. — P. 117–133. — DOI: [10.1007/bf02334251](https://doi.org/10.1007/bf02334251).
- de Souza S. F., Cherian B. M., Leão A. L., *et al.* Natural fibers for geotextiles // Handbook of Natural Fibers (Second Edition) / ed. by R. M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk. — Second Edition. — Woodhead Publishing, 2020. — P. 499–530. — (The Textile Institute Book Series). — DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818782-1.00015-8>.
- Dementiev V. A. Methods and means of extracting sapropels of natural moisture // Mining Information and Analytical Bulletin. — 2010. — Vol. 1. — P. 24–28.
- Dementiev V. A., Shtin S. M. Industrial production of sapropel already in Russia // Hydraulic engineering. — 2019. — Vol. 1, no. 54. — P. 64–66.
- Demidov C. V. Diatom Flora of the Muravinsky Interglacial in Belarus. — Minsk : Econompres, 2013. — P. 199.
- Fomin A. I. Technology for the extraction of local fertilizers (sapropels). — M.:high school, 1969.
- Fomin V. N. Determination of the thermophysical parameters of sapropel drying, Biological technical and economic problems in agriculture: abstracts of the XXXIII scientific and practical conference April 2-3, 1998 // V. Luke. — 2000. — P. 106–107.
- Grigoriev M. F., Chernogradskaya N. M., Grigorieva A. I. Protein Bioconversion and Feed Energy Efficiency in Sheep When Non-Traditional Feed Additives Are Included in Their Diets // Field of the Volga region. — 2022. — Vol. 1, no. 61. — DOI: [10.36461/NP.2022.61.1.008](https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.008).
- Gromyka D. S., Gogolinskiy K. V. Method of State and Residual Resource Assessment of Excavator Bucket Tooth Caps // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2022. — Vol. 58, no. 5. — P. 381–390. — DOI: [10.1134/S1061830922050035](https://doi.org/10.1134/S1061830922050035).
- Guerreiro R. L., Bergier I., McGlue M. M., *et al.* The soda lakes of Nhecolândia: A conservation opportunity for the Pantanal wetlands // Perspectives in Ecology and Conservation. — 2019. — Vol. 17, no. 1. — P. 9–18. — DOI: [10.1016/j.pecon.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.11.002).
- Jahan I., Wood M., Lake C. B., *et al.* Using a geotextile with flocculated filter backwash water and its impact on aluminum concentrations // Geotextiles and Geomembranes. — 2018. — Vol. 46, no. 6. — P. 759–769. — DOI: [10.1016/j.geotexmem.2018.07.008](https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.07.008).
- Khachan M. M., Bhatia S. K. The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance // Geotextiles and Geomembranes. — 2017. — Vol. 45, no. 4. — P. 280–293. — DOI: [10.1016/j.geotexmem.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.04.001).
- Khimenkov I. A., Shestopalov I. S. Centrifuge for dehydration of feed components // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. — 2013. — Vol. 2. — P. 61–62.
- Kitapova R. R., Ziganshin A. U. Biological activity of humic substances obtained from peat and sapropel // Kazan med. j. — 2015. — Vol. 1. — P. 84–49.
- Kovalenko G. A., Perminova L. V., Rudina N. A., *et al.* Sapropel-based supports as novel macroporous carbon-mineral adsorbents for enzymatic active substances // Resource-Efficient Technologies. — 2016. — Vol. 2, no. 4. — P. 159–167. — DOI: [10.1016/j.refffit.2016.09.001](https://doi.org/10.1016/j.refffit.2016.09.001).
- Kozlovsky E. A. Mining Encyclopedia: In 5 tons. Vol. 4. — M.:Sov. encycl., 1984. — P. 623.
- Krupnov R. A. Reducing Fire Hazard in Depleted Peatlands // Proceedings of Instorf. — 2011. — Vol. 3, no. 56. — P. 27–32.
- Kuskov V. B., Bazhin V. Y. Use of various types of carbonaceous raw materials for thermal energy production // Notes of the Mining Institute. — 2016. — Vol. 220. — P. 582–586. — DOI: [10.18454/pmi.2016.4.582](https://doi.org/10.18454/pmi.2016.4.582).
- Kustyshev A. V., Leontiev D. S. Study of the properties of a peat-alkaline solution for drilling wells in clayey rocks // Territory Neftegas. — 2016. — Vol. 3.

- Leonova G. A., Bobrov V. A., Krivonogov S. K., *et al.* Biogeochemical specifics of sapropel formation in Cisbaikalian undrained lakes (exemplified by Lake Ochki) // Russian Geology and Geophysics. — 2015. — Vol. 56, no. 5. — P. 745–761. — DOI: [10.1016/j.rgg.2015.04.006](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.04.006).
- Leontiev D. S., Kustyshev A. V., Tsedrik N. S. Prospects for the use of sapropel solutions in drilling and workover of oil wells // News of universities. Oil and gas. — 2016. — Vol. 3.
- Lopotko M. Z. Lakes and sapropel // Minsk: Science and technology. — 1978.
- Melamut D. L. Hydromechanization in irrigation and agricultural construction. — M.:Stroyizdat, 1967.
- Minakovskiy A. F., Ignatovets O. S., Shatilo V. I. Use of sapropel to activate soil phosphate mobilizing microorganisms // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. — 2020. — Vol. 2. — P. 101–106.
- Modern microbiology. Prokaryotes : in 2 vols. / ed. by J. Lengeler, G. V. Drews, G. Schlegel. — Moscow : WORLD, 2005. — P. 1192.
- Nikolaeva C. B., Lavrova N. B., Tolstobrov D. S., *et al.* Reconstruction of Holocene paleogeographic settings in the area of Lake Imandra (Kola region): Results of paleolimnological studies // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 5. — P. 34–47. — DOI: [10.17076/lim49](https://doi.org/10.17076/lim49).
- Nikolaeva L. A. Development and Structural Studies of Particulate Fuel from Coal Waste // Waste and resources. — 2017. — Vol. 4, no. 4. — P. 1–12.
- Platonov V. V., Larina M. A., Dmitrieva E. D., *et al.* Biologically active medicines based on sapropel humic complex, Bulletin of new medical technologies. — 2016. — DOI: [10.12737/19646](https://doi.org/10.12737/19646).
- Rubinshtein A. Y. Biogenic soils. — Moscow:Science, 1986. — P. 87.
- Sapropel Center. Equipment. Mini-factories for the production of products from sapropel : electronic resource. — 2023. — Date of access: 03/14/2023. <http://saprex.ru/p84.htm>.
- Savchenko I. A., Korneeva I. N., Pogodin I. S., *et al.* Evaluation of the specific pharmacological activity of humic substances in sapropel from the Omsk region // Pacific Medical Journal. — 2014. — Vol. 4, no. 58. — P. 51–55.
- Semenova Z. V. Potential possibilities of sapropels in solving food problems // Bulletin of ISTU. — 2011. — Vol. 8, no. 55. — P. 154–161.
- Sharipova D. M., Fayzrakhmanov R. N., Ezhkova A. M. Veterinary and sanitary examination of duck meat when using a complex feed additive // Scientific notes of KGAVM im. N. E. Bauman. — 2022. — Vol. 249, no. 1. — P. 255–258. — DOI: [10.31588/2413_4201_1883_1_249_255](https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_249_255).
- Shpynova N. V., Sartakov M. P., Ananyina I. V. Macro- and microelement composition of sapropels from the lakes of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra // Innovation and investment. — 2020. — Vol. 10. — P. 159–162.
- Shtin C. M. Experience and prospects for the development of sapropel // Mining journal. — 1997. — Vol. 3. — P. 21–23.
- Shtin C. M. Lake sapropels and their integrated development. — M.:Moscow State Mining University, 2005. — P. 373.
- Shtin C. M. Hydromechanized technology for the development of peat-sapropel deposits with the production of organo-mineral fertilizers and biofuels // GIAB. — 2009. — P. 12.
- Sinyavsky I. V., Plotnikov A. M., Sozinov A. V., *et al.* Assessment of the dependence of grain crop yield in crop rotation on the use of sapropels, lime, nitrogen and phosphate fertilizers // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. — 2021. — Vol. T. 3, 39. — P. 13–20.
- Skripchenko E. V., Kalashnikova V. Y., Kuskov V. B. Development of technology for obtaining fuel briquettes from low-demand carbon-containing raw materials // Notes of the Mining Institute. — 2012. — Vol. 196. — P. 147–149.
- Sleptsova T. V., Abramov A. F. Evaluation of sapropel raw materials from lake deposits of the Kobyaysky ulus of the Republic of Sakha (Yakutia) and the prospects for its use in agricultural production // Vestnik KrasGAU. — 2022. — Vol. t. 7.184. — P. 46–51.
- Strakhovenko V. D., Taran O. P., Ermolaeva N. I. Geochemical characteristics of the sapropel sediments of small lakes in the Ob'-Irtysh interfluvium // Russian Geology and Geophysics. — 2014. — Vol. 55, no. 10. — P. 1160–1169. — DOI: [10.1016/j.rgg.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.09.002).
- Tarasov Y. D., Ryzhykh A. B., Pryalukhin A. F. RF Patent No. 2002130104/12, 07/10/2004 // Filter centrifuge for sapropel dehydration. — 2002.
- Tarasov Y. D., Ryzhykh A. B., Pryalukhin A. F. Prospects for creating a highly effective complex for reducing the moisture content of fine and coarse sapropels // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). — 2005. — Vol. 1. — P. 278–279.

Terehova E. N., Belskaya O. B., Trenikhin M. V.,
et al. Nickel catalysts based on carbon-mineral
supports derived from sapropel for
hydroliquefaction of sapropel organic matter //
Fuel. — 2023. — Vol. 332, no. 2. —
P. 126300. — DOI:
[10.1016/j.fuel.2022.126300](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126300).

Yakovlev V. A., Kashulin N. A. On the history of
limnological research in the Kola North, Bulletin
of the Kola Scientific Center RAS. — 2012.
Zvyagintsev A. G., Babieva I. P., Zenova G. M.
Soil Biology. — M. : Moscow University
Publishing House, 2005.