

**ГЕОТЕХНОЛОГИИ.  
ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ  
GEOTECHNOLOGY.  
EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE  
OF SOLID FUEL MINERALS**

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2026-1-222-230>  
УДК 622.271.6

*Поступила в редакцию 23.04.2026  
Received 23.04. 2026*

**ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ДОБЫЧЕ САПРОПЕЛЯ  
ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ**

**В. Б. Кунцевич, О. М. Гайдукевич, Т. И. Макаренко, И. В. Агейчик,  
И. В. Кляуззе, Л. П. Калилец, С. М. Серая, А. Ю. Татков**

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В настоящее время при добыче озерного и погребенного под торфом сапропелей наиболее рационально применение гидромеханизированного способа экскавации с гидротранспортом полученной пульпы в места сушки. Основным недостатком указанного способа является сравнительно небольшое содержание сухого вещества в сапропелевой гидросмеси.

Попытки его повысить приводили к увеличению вязкости сапропелевой пульпы и, как следствие, к повышению энергозатрат на ее гидротранспорт по трубам. В статье по данным опубликованных источников выполнен анализ различных способов воздействия, позволяющих снизить вязкость извлеченного материала. Установлено, что наиболее перспективным направлением является создание технологии и средств механического воздействия на пульпу.

Показано, что перспективной альтернативой существующим способам обезвоживания пульпы является использование геотекстильных контейнеров Geotube в сочетании с химическими реагентами.

В работе представлены также результаты лабораторных исследований кинетики осаждения частиц пульпы из карбонатного и органического сапропелей под действием флокулянтов Бопак А и Аквакристалл+. Установлено, что для карбонатного сапропеля оптимальной является минимальная доза флокулянта Бопак А (0,09 г/л), обеспечивающая снижение концентрации взвешенных частиц в осветленной зоне с 30 до 0,26 г/л за 80 с (степень осветления 99,1 %). Чтобы достичь концентрации такого же значения за указанный период времени, доза введения флокулянта Аквакристалл+ составила 1,5 г/л. Для органического сапропеля оба флокулянта в исследуемом диапазоне доз не обеспечивают быстрого осаждения: концентрация сухого вещества в осветленной зоне снижается до 7–8 г/л только через 24 ч. Полученные результаты объясняются различиями в плотности и коллоидно-химических свойствах частиц разных типов сапропеля.

**Ключевые слова:** сапропель; вязкость; гидротранспорт; энергозатраты; обезвоживание; контейнеры Geotube; флокулянты.

**Для цитирования.** Кунцевич В. Б., Гайдукевич О. М., Макаренко Т. И., Агейчик И. В., Кляуззе И. В., Калилец Л. П., Серая С. М., Татков А. Ю. Пути снижения энергозатрат при добыче сапропеля гидромеханизированным способом // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 222–230.

**WAYS TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION IN SAPROPEL MINING  
BY HYDROMECHANIZED METHOD**

**V. B. Kuntsevich, O. M. Gaidukevich, T. I. Makarenko, I. V. Ageychik,  
I. V. Klyauzze, L. P. Kalilets, S. M. Seraya, A. Yu. Tatkov**

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** Currently, the most efficient method for extracting lake and peat-buried sapropel is hydromechanized excavation with hydraulic transport of the resulting slurry to drying sites. The main drawback of this method is the relatively low dry matter content of the sapropel slurry.

Attempts to increase it have resulted in increased viscosity of the sapropel pulp and, consequently, increased energy consumption for its hydraulic transport through pipes. This article, based on published sources, analyzes various methods for reducing the viscosity of the extracted material. It has been established that the most promising approach is the development of technology and means for mechanically affecting the pulp.

It is shown that the use of Geotube geotextile containers in combination with chemical reagents is a promising alternative to existing pulp dewatering methods.

This paper also presents the results of laboratory studies on the kinetics of pulp particle sedimentation from carbonate and organic sapropel using the flocculants Bopak A and Aquacrystal+. It was found that the minimum dose of Bopak A flocculant (0.09 g/L) is optimal for carbonate sapropel, reducing the suspended particle concentration in the clarified zone from 30 to 0.26 g/L in 80 seconds (clarification rate of 99.1 %). To achieve the same concentration over the specified period of time, the Aquacrystal+ flocculant was added at a dose of 1.5 g/L. For organic sapropel, both flocculants in the studied dose range did not provide rapid sedimentation: the dry matter concentration in the clarified zone decreased to 7–8 g/L only after 24 hours. These results are explained by differences in the density and colloidal chemical properties of particles of different sapropel types.

**Keywords:** sapropel; viscosity; hydrotransport; energy costs; dewatering; Geotube containers; flocculants.

**For citation.** Kuntsevich V. B., Gaidukevich O. M., Makarenko T. I., Ageychik I. V., Klyauzze I. V., Kalilets L. P., Seraya S. V., Tatkov A. Yu. Ways to reduce energy consumption in sapropel mining by hydromechanized method. *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 222–230.

**Введение.** Основной задачей добычи сапропеля гидромеханизированным способом является получение готовой продукции требуемого качества с максимально возможным уменьшением энергозатрат на транспортировку гидросмеси по трубопроводу и обезвоживание. В первом случае энергозатраты напрямую зависят от вязкости сапропелевой гидросмеси (пульпы).

В любой жидкости под влиянием внешней силы происходит перемещение молекул вещества относительно друг друга. Возникающее при этом трение между молекулами, т. е. внутреннее сопротивление этому перемещению, называется внутренним трением, или вязкостью. Для оценки вязкостных свойств жидкостей пользуются единицами динамической, кинематической и эффективной вязкости. Динамическая вязкость является свойством ньютоновских жидкостей и остается постоянной при любых условиях. Эффективная вязкость зависит от скорости сдвига, температуры, давления и других факторов [1–3]. Сапропелевая пульпа не принадлежит к числу ньютоновских жидкостей, и поэтому внутреннее сопротивление между молекулами в пульпе характеризуется эффективной вязкостью, для снижения которой предложены различные способы.

Важным звеном в технологическом процессе добычи сапропеля является обезвоживание сапропелевой пульпы до нормативных значений. Существующие способы и технологии удаления избыточной влаги из пульпы несовершенны, и поиск новых решений является актуальной задачей.

В настоящее время разработаны и внедрены в производство различные методы обезвоживания, среди которых наиболее часто встречаются центрифугирование и фильтрование. Причем для обезвоживания сапропелей наибольшее распространение получили центрифуги фильтрующего типа [4–6]. Обезвоживание в центрифугах происходит под действием центробежной силы, которая возникает при вращении ротора вокруг своей оси.

Проведенные поисковые исследования по обезвоживанию сапропелей показали, что техническое обеспечение процессов обезвоживания далеко от совершенства. Существующие технологии и устройства по механическому обезвоживанию сапропелевой пульпы не обеспечивают высокую эффективность процессов добычи сапропеля [7]. Зачастую предприятия, занимающиеся добычей и переработкой сапропеля, используют малоэффективную технологию сушки, процесс которой занимает весь летний сезон. Помимо того, что под сушку сапропеля отводятся значительные площади, во время длительной сушки происходит его загрязнение семенами растений, в результате чего происходит снижения качества готовой продукции [8].

Выполненный литературный и патентный поиск показал, что наименее энергозатратный процесс обезвоживания происходит при использовании геотекстильных контейнеров Geotube. Технология обезвоживания сильно обводненных суспензий в контейнерах Geotube широко применяется в Европе и США [9]. Суть технологии заключается в заполнении контейнеров пульпой и ожидании схода свободной воды, после чего производится последующее его заполнение.

В 2024 г. сотрудниками лаборатории выполнены полевые исследования по установлению эффективности использования геосинтетических контейнеров при обезвоживании пульпы, добытой скважинным способом из залежи сапропеля карбонатного и органического типов [10]. Выявлено, что в начальный период обезвоживания мутность в зоне отстаивания зависит от концентрации сухого вещества в гидросмеси и типа сапропелевой пульпы. По мере осаждения по высоте слоя пульпы образуются две зоны, отличные по концентрации: верхняя часть пульпы – осветленная, нижняя – сгущенная,

уплотняющаяся. Скорость расслоения по зонам для сапропелевой пульпы карбонатного и органического типов существенно различаются. Так, уже через 1–2 ч после разлива пульпа из карбонатного сапропеля четко разделяется на осветленную воду и осадок, средняя влажность которого составила 81,1 %. В пульпе органического типа из-за преобладания частиц с малой плотностью начало расслоения по зонам происходит только через 1–2 сут.

В настоящее время для интенсификации процессов обезвоживания различных суспензий, удаления примесей в комплексах водоснабжения, из канализационных и других стоков, технологических циклах для выделения ценных продуктов из отходов широко используются химические реагенты, так называемые коагулянты и флокулянты. С точки зрения химии, коагулянты и флокулянты – неорганические соли, при соприкосновении с водой, образующие элементы с зарядом, противоположным тому, который имеют частички присутствующей в жидкости взвеси [11]. Благодаря разности потенциалов, они притягивают взвешенные частицы, объединяя их в конгломераты. Визуально жидкость мутнеет, образуются хлопья и опускаются под собственной тяжестью на дно. В качестве коагулянтов используют соединения нескольких классов. Они разделяются по масштабу укрупнения осадка и скорости протекания реакций. Дополнительным преимуществом является безопасность полученной продукции, которая при малых концентрациях введения коагулянтов не оказывает негативного влияния на организм человека, животных и растительный мир. На производстве в качестве коагулянтов используются примитивные формы железа, алюминия и магния, характеризующиеся способностью объединяться с поляризационным отрицательным зарядом [12]. Обработка водных суспензий коагулянтами приводит к образованию крупных хлопьев. Однако эти хлопья вследствие рыхлой структуры имеют преимущественно малую плотность, близкую к плотности воды. Хлопья, полученные при коагулировании сапропелевой пульпы, вследствие низкой плотности ( $1,012\text{--}1,024\text{ т/м}^3$ ), оседают медленно, даже если их размер составляет сотни микрометров. Введение в водную суспензию флокулянтов в сочетании с коагулянтами и без них значительно увеличивает скорость осаждения взвешенных частиц, в результате в верхней зоне появляется свободная вода, которая хорошо фильтруется через стенки контейнеров Geotube.

Флокулянты представляют собой органическое соединение, характеризующееся наличием длинной цепочки [12]. Назначение флокулянтов заключается в укреплении образующегося осадка и обеспечение его устойчивости до момента удаления продукции из отстойника. Для промышленного использования в качестве флокулянтов применяются чаще всего полиакриламид, полидадамах и их разновидности. Если речь идет о простых органических флокулянтах, примером могут служить альгинаты, гуаровые смолы, крахмал.

Цель работы – изучить влияние различных способов воздействия на вязкость сапропелевой пульпы и исследовать кинетику осаждения частиц сапропелевой пульпы под воздействием флокулянтов для двух генетических разновидностей сырья (карбонатного и органического сапропелей).

**Материалы и методы исследований** включают анализ опубликованных материалов по влиянию различных способов воздействия на эффективную вязкость сапропелевой пульпы, экспериментальные работы по отстаиванию частиц твердой фазы сапропелевой пульпы, выполненных в лабораторных условиях с использованием флокулянтов Аквакристалл+ и Бопак А.

Опыты проводили в следующей последовательности. Из карбонатного и органического сапропелей приготовили лабораторные пробы гидросмеси, каждая объемом 1 л, с содержанием сухого вещества 3 и 2 % соответственно. Содержание сухого вещества в гидросмеси смоделировали из условия приближенности к реальной пульпе, соответствующей процессу гидромеханизированной добычи сапропеля. Для проведения лабораторных исследований выбрали карбонатный сапропель т. м. Гала-Ковалевское (исходная влажность  $w = 75,6\%$ , зольность  $A^c = 43,5\%$ ) и органический сапропель озера Жеринское (исходная влажность  $w = 93,4\%$ , зольность  $A^c = 17,1\%$ ). В приготовленные пробы гидросмеси вводили флокулянт в количестве 0,3; 0,5 и 5,0 % от массы сухого вещества в пульпе [13]. Через определенный промежуток времени на фиксированной высоте из верхней осветленной зоны отбирали пробы объемом 50 мл и высушивали до абсолютно сухого вещества, после чего определяли концентрацию сухого вещества в граммах в пересчете на объем 1 л. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности. Для каждого флокулянта подготавливали свой контрольный образец, в связи с тем, что эксперименты выполняли в разные дни и это могло повлиять на результаты.

**Результаты и их обсуждение.** В естественном состоянии сапропели представляют собой сложную полидисперсную систему, твердая фаза которой включает природные органические вещества и минеральные примеси. В процессах добычи и переработки сапропелей отмечается изменение степени дисперсности, что сказывается на формировании их структурно-реологических свойств, в том числе и вязкости. Проведенными опытами установлено, что изменение величины эффективной вязкости

с ростом содержания в пульпе фракции менее 50 мкм определяется генетическим типом сапропеля [14]. Органический сапропель представлен рыхлыми частицами, состоящими в основном из легко-гидролизующихся и гуминовых соединений при малом содержании минеральных примесей, поэтому заметно снижается их эффективная вязкость в процессе диспергирования. Кремнеземистый сапропель и карбонатный содержат значительное количество минеральных компонентов, более устойчивых к механическим воздействиям, поэтому уменьшение эффективной вязкости в процессе диспергирования происходит в меньшей степени. Авторы статьи [14] исследовали влияние ультразвука на сапропель применительно к условиям гидромеханизированной добычи и транспортировки полученной пульпы по трубопроводам. Установлено, что при действии ультразвука в течение 2–4 мин достигается существенное уменьшение эффективной вязкости. Поэтому для снижения затрат на прокачивание сапропелевой гидросмеси авторы считают целесообразным устанавливать ультразвуковые излучатели в начале трубопроводного гидротранспорта.

Повышение эффективности гидротранспорта сапропеля возможно также путем создания технологического процесса, основанного на перекачке сапропелевой пульпы с повышенной концентрацией. В настоящее время концентрация сухого вещества в пульпе составляет 2–3 % по массе, в то время как в естественной залежи сапропеля минимальное содержание сухого вещества – 7–9 %. Вязкость пульпы, полученной из такой залежи, даже при полностью разрушенной структуре, доходит до 1 Па·с, что создает повышенные гидравлические сопротивления при перекачке и требует установки дополнительных промежуточных насосных станций [13].

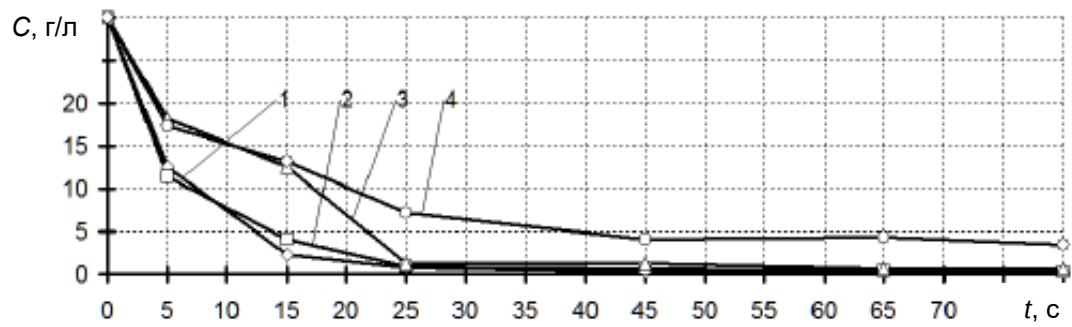
Наряду с механическим воздействием проводили также экспериментальные работы по влиянию на вязкость пульпы химических добавок [13]. В качестве последних использовали растворы полиакриламида, сернокислого алюминия, различных щелочей. Реагенты вводили в процессе механического диспергирования, что обеспечило их равномерное распределение в объеме гидросмеси. Наблюдалось уменьшение вязкости пульпы на 7–10 %, что существенно влияет на энергоемкость транспортирования пульпы по трубопроводу в отстойники. В то же время автор отмечает, что добавку реагента необходимо точно дозировать, так как при незначительном отклонении от заданной дозы вязкость пульпы может резко увеличиться. В связи с этим возникают трудности из-за необходимости подачи реагента в количестве 0,1–0,5 % от массы сухого вещества в гидросмеси. Учитывая концентрацию сухого вещества в гидросмеси 2–3 %, весьма сложно осуществить в непрерывном потоке равномерное перемешивание пульпы с реагентом, количество которого в абсолютных величинах составляет в среднем 150 г на 1 т гидросмеси. Добавлять химические реагенты к более жидкой пульпе не требуется, так как вязкость при концентрации 2–3 % мало отличается от вязкости воды и стоимость дополнительных мероприятий по уменьшению вязкости будет больше стоимости сэкономленной электроэнергии.

Помимо диспергирования, применения ультразвука, введения в гидросмесь химических реагентов ведется поиск и других методов снижения вязкости. Так, исследованиями, проведенными в Ярославском политехническом институте, установлено увеличение текучести сапропеля при воздействии на него вибрации в определенном диапазоне частот, а также использования в гидротранспорте потоков с искусственными пульсациями давления и расхода [15].

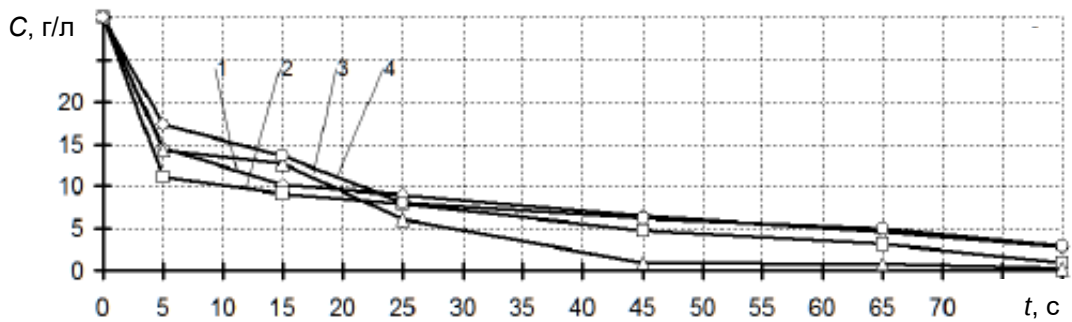
Результаты лабораторных опытов по исследованию динамики концентрации сухого вещества в пульпе из карбонатного и органического сапропелей в верхней осветленной зоне приведены на рисунке.

Исходная концентрация сухого вещества в пульпе из карбонатного сапропеля составила 30 г/л, органического – 20 г/л. Как видно из рисунка, лучший результат получен при использовании флокулянта Бопак А на гидросмеси, приготовленной из сапропеля карбонатного типа. После ввода флокулянта расслоение наступило практически мгновенно: за 5–15 с в лабораторном сосуде образовались хорошо структурированные хлопья, которые сгустились и выпали в осадок, а в верхней части сосуда появилась свободная вода без видимых признаков мутности. За это время концентрация сухого вещества в верхней осветленной зоне уменьшилась с 30,0 до 2,3 г/л при дозе внесения флокулянта 0,09 г/л. В дальнейшем концентрация сухого вещества в осветленной зоне продолжала снижаться и через 80 с приблизилась практически к нулевому значению (0,26 г/л). В контрольном сосуде она снизилась за это время до 3,4 г/л.

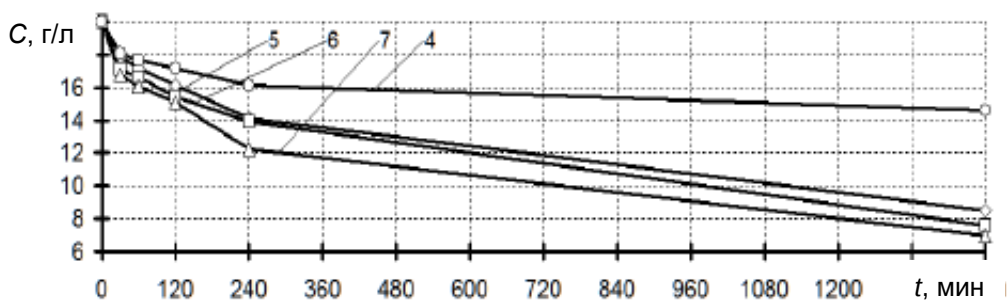
Эффективность применения флокулянта АкваКристалл+ значительно ниже. Причем при введении в пульпу флокулянта Бопак А лучший результат получен при минимальных дозах флокулянта (0,09–0,15 г/л), и наоборот, увеличение дозы введения флокулянта АкваКристалл+ до 1,5 г/л привело к интенсификации процесса образования хлопьев и выпадению их в осадок, на что указывает более интенсивное снижение концентрации сухого вещества в осветленной зоне.



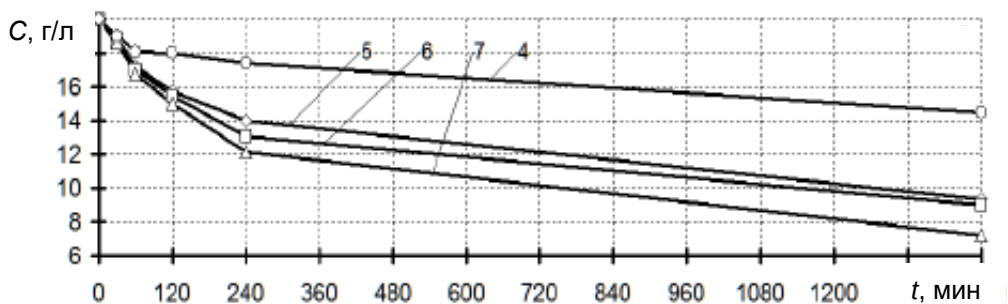
а (а)



б (б)



в (с)



г (д)

Изменение концентрации сухого вещества  $C$  (г/л) в пульпе на основе карбонатного (а, б) и органического сапропеля (в, г) в зависимости от времени осаждения  $t$ , типа и концентрации флокулянтов Бопак А (а, в) и АкваКристал+ (б, г) (г/л): 1 – 0,09; 2 – 0,15; 3 – 1,5; 4 – 0 (контрольный образец, без флокулянта); 5 – 0,06; 6 – 0,10; 7 – 1,00

Change in the concentration of dry matter  $C$  (g/l) in the pulp based on carbonate (a, b) and organic sapropel (c, d) depending on the sedimentation time  $t$ , the type and concentration of flocculants Bopak A (a, c) and AquaCrystal+ (b, d) (g/l): 1 – 0.09; 2 – 0.15; 3 – 1.5; 4 – 0 (control sample, without flocculant); 5 – 0.06; 6 – 0.10; 7 – 1.00

Использование флокулянтов Бопак А и АкваКристалл+ для осаждения взвешенных веществ гидросмеси, приготовленной из органического сапропеля, оказалось малоэффективным. Органический сапропель представлен рыхлыми частицами, состоящими в основном из легкогидролизуемых и гуминовых соединений при малом содержании минеральных примесей, поэтому взвешенные в пульпе вещества имеют малую плотность, а введение в гидросмесь флокулянтов указанных выше марок не столь заметно увеличило скорость образования крупных хлопьев и выпадения их в осадок. Необходимо отметить, что и в этом случае через 1–2 ч после введения флокулянтов в лабораторных сосудах появилась граница расслоения, которая разделила гидросмесь на две зоны: верхнюю осветленную и нижнюю осадочную. Причем в сосудах с флокулянтами в осветленной зоне свободная вода находилась без видимых признаков мутности. В контрольных образцах за это время также образовалась граница расслоения, но в верхних зонах наблюдалась заметная мутность, что подтверждено более высокой концентрацией взвешенных веществ. К концу опыта, через 24 ч, высота осветленных зон во всех образцах была практически одинаковой, однако в сосудах с флокулянтами вода в указанных зонах была прозрачной, в то время как в контрольных образцах мутность сохранилась, хотя и в меньшей мере.

Для количественного описания кинетики осаждения получены аппроксимирующие зависимости, представленные в таблице. Коэффициенты детерминации  $R^2$  для всех зависимостей находятся в диапазоне 0,65–0,92, что свидетельствует о хорошем качестве аппроксимации.

**Аппроксимирующие зависимости концентрации сухого вещества от времени осаждения сапропелевой пульпы**

**Approximating dependences of dry matter concentration on the sedimentation time of sapropelic pulp**

| Тип сапропеля,<br>на основе которого<br>приготовлена пульпа | Флокулянт     | Доза, г/л | Уравнения регрессии<br>$C = at^2 - bt + c$ и $C = -bt + c$ |        |        | $R^2$ |
|-------------------------------------------------------------|---------------|-----------|------------------------------------------------------------|--------|--------|-------|
|                                                             |               |           | $a$                                                        | $b$    | $c$    |       |
| Карбонатный                                                 | Бопак А       | Контроль  | 0,0074                                                     | 0,841  | 25,301 | 0,90  |
|                                                             |               | 0,09      | 0,0100                                                     | 1,033  | 22,008 | 0,77  |
|                                                             |               | 0,15      | 0,0095                                                     | 0,994  | 21,786 | 0,77  |
|                                                             |               | 1,50      | 0,0094                                                     | 1,042  | 26,037 | 0,91  |
|                                                             | АкваКристалл+ | Контроль  | 0,0062                                                     | 0,750  | 24,986 | 0,88  |
|                                                             |               | 0,09      | 0,0058                                                     | 0,694  | 23,203 | 0,79  |
|                                                             |               | 0,15      | 0,0058                                                     | 0,696  | 21,784 | 0,73  |
|                                                             |               | 1,50      | 0,0075                                                     | 0,887  | 24,487 | 0,89  |
| Органический                                                | Бопак А       | Контроль  | –                                                          | 0,0026 | 18,086 | 0,65  |
|                                                             |               | 0,06      | –                                                          | 0,0067 | 17,732 | 0,87  |
|                                                             |               | 0,10      | –                                                          | 0,0070 | 17,304 | 0,86  |
|                                                             |               | 1,00      | –                                                          | 0,0072 | 16,778 | 0,80  |
|                                                             | АкваКристалл+ | Контроль  | –                                                          | 0,0031 | 18,807 | 0,86  |
|                                                             |               | 0,06      | –                                                          | 0,0062 | 17,802 | 0,81  |
|                                                             |               | 0,10      | –                                                          | 0,0064 | 17,563 | 0,77  |
|                                                             |               | 1,00      | –                                                          | 0,0074 | 17,284 | 0,78  |

Для пульпы из карбонатного сапропеля кинетика осаждения описывается полиномами второй степени (параболический характер) ( $C = at^2 - bt + c$ ), что соответствует интенсивному осаждению в начальный период с последующим замедлением. Для пульпы из органического сапропеля выявляется зависимость линейного характера ( $C = -bt + c$ ), что свидетельствует о равномерном медленном осаждении без выраженной начальной стадии.

**Заключение.** Повышение эффективности гидротранспорта сапропеля по трубам до отстойника (контейнеров Geotube) возможно путем снижения эффективной вязкости пульпы. В статье по данным опубликованных источников рассмотрены различные способы, в том числе механическое воздействие и использование химических добавок, позволяющие снизить данный показатель. Анализ предложенных способов показывает, что предпочтение следует отдать механическим способам. Это обусловлено тем, что добавки необходимо вводить в количестве 0,1–0,5 % от массы сухого вещества в пульпе (в среднем 150 г реагента на 1 т пульпы), поэтому весьма сложно осуществить в непрерывном потоке равномерное перемешивание компонентов.

Анализ технологий и механических средств по обезвоживанию сапропелей показал, что техническое обеспечение процессов обезвоживания в настоящее время далеко от совершенства.

В Республике Беларусь предприятия, занимающиеся добычей и переработкой сапропеля, применяют малоэффективную технологию сушки, процесс которой занимает весь летний сезон. Между тем выполненный литературный и патентный поиск показал, что наименее энергозатратный процесс обезвоживания происходит при использовании геотекстильных контейнеров Geotube, которые имеют свойство пропускать через стенки свободную воду и задерживать взвешенные частицы сапропеля. Интенсивность сушки в контейнерах можно существенно ускорить, применяя коагулянты и флокулянты. Благодаря разности потенциалов они притягивают взвешенные частицы, объединяя их в конгломераты, которые под собственной тяжестью опускается на дно. По мере осаждения, по высоте слоя пульпы образуются две зоны: верхняя – осветленная, нижняя – сгущенная, уплотняющаяся. В верхней зоне находится практически свободная вода, которая хорошо удаляется через стенки контейнеров Geotube.

Выполненные авторами статьи лабораторные опыты показали, что скорость расслоения сапропелевой пульпы на две зоны зависит от марки и дозы внесения флокулянта, типа сапропелевой пульпы, концентрации в пульпе сухого вещества.

#### Список использованных источников

1. Технический анализ торфа. – М. : Недра, 1992. – 431 с.
2. Исследование работы центробежного насоса на сапропелевой пульпе. Гидротранспорт сапропеля / Ю. Ф. Коротков, А. П. Пивоваров, Н. И. Бобин, А. В. Мельников // Сборник научных трудов. – М. : ВНИИПИ гидротрубопровод, 1987. – С. 87–96.
3. Лецко, А. П. Исследование напряжения сдвига сапропеля / А. П. Лецко // Тезисы докладов к совещанию по физике-химии торфа. – Мн. : Ин-т торфа, 1976. – С. 45–46.
4. Хименков, И. А. Центрифуга для обезвоживания компонентов кормов / И. А. Хименков, И. С. Шестопапов // Вестник Курганский ГСХА. – 2013. – № 2. – С. 61–62.
5. Патент № 202120558/05 РФ, 27.11.2012. Центрифуга / Фоминых А. В. – 2012. – Бюл. № 33.
6. Патент № 2002130104/12 РФ, 10.07.2004. Фильтрующая центрифуга для обезвоживания сапропеля / Тарасов Ю. Д., Рыжих А. Б., Прялухин А. Ф. – 2002.
7. Способы обезвоживания сапропеля / Т. Г. Утенкова, Э. А. Кремчеев, Д. С. Громыка, О. Ю. Короткова // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4 (150). – С. 45–52.
8. Дементьев, В. А. Промышленная добыча сапропеля уже в России / В. А. Дементьев, С. М. Штин // Гидротехника. – 2019. – № 1. – С. 64–66.
9. Аджиенко, В. Е. Технология и контейнеры Geotube – Новый процесс обезвоживания с известными преимуществами / В. Е. Аджиенко // Национальный каталог «Техника и технологии ЖКХ» – приложение к журналу «ЖКХ: журнал для руководителя и главного бухгалтера». – 2009. – № 1. – 1 с.
10. Разработка и апробация в опытных условиях элементов скважинной системы гидродобычи и гидротранспорта сапропеля и торфосапропеля, залегающих под торфом : отчет о НИР (промежуточный) / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; рук. Б. В. Курзо. – Мн., 2024. – 101 с. – № ГР20210174.
11. Отличия флокулянтов от коагулянтов // Интернет-портал инжиниринговой компании Asia Water Service. – URL: <https://waterservice.kz/blog/art34.html> (дата обращения: 02.04.2026).
12. Баран, А. А. Флокулянты в биотехнологии / А. А. Баран, А. Я. Тесленко – Л. : Химия, 1990 – 144 с.
13. Кшондзер, Э. Г. Изменение вязкости сапропелевой пульпы. Гидротранспорт сапропеля / Э. Г. Кшондзер // Сборник научных трудов. – М. : ВНИИПИ гидротрубопровод, 1987. – С. 41–43.
14. Лиштван, И. И. Влияние дисперсности на реологические и технологические свойства сапропелей / И. И. Лиштван, И. В. Косаревич // Торфяная промышленность. – 1986. – № 6. – С. 28–31.
15. Марченков, В. П. Гидравлический транспорт грунтов / В. П. Марченков, Б. М. Луговкин. – Ярославль : ЯПИ, 1985. – 46 с.

#### References

1. *Tekhnicheskij analiz torfa* [Technical analysis of peat]. Moscow, Nedra Publ., 1992, 431 p. (in Russian)
2. Korotkov Yu. F., Pivovarov A. P., Bobin N. I., Melnikov A. V. *Issledovanie raboty centrobezhnogo nasosa na sapropel'noj pul'pe. Gidrotransport sapropelya* [A study of the operation of a centrifugal pump using sapropel pulp. Hydrotransport of sapropel]. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific papers]. Moscow, VNIPI gidrotruboprovod Publ., 1987, pp. 87–96. (in Russian)
3. Letsko A. P. *Issledovanie napryazheniya sdviga sapropelya* [Study of shear stress of sapropel]. *Tezisy dokladov k soveshchaniyu po fizike-himii torfa* [Abstracts of papers for the meeting on the physics and chemistry of peat]. Minsk, Institut Torfa Publ., 1976, pp. 45–46. (in Russian)

4. Khimenkov I. A., Shestopalov I. S. *Centrifuga dlya obezvozhvaniya komponentov kormov* [Centrifuge for dehydration of feed components]. *Vestnik Kurganskij GSKHA = Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, 2013, no. 2, pp. 61–62. (in Russian)
5. Fominykh A. V. *Centrifuga* [Centrifuge]. Patent RF no. 202120558/05, 2012.
6. Tarasov Yu. D., Ryzhikh A. B., Pryalukhin A. F. *Fil'truyushchaya centrifuga dlya obezvozhvaniya sapropelya* [Filter centrifuge for dehydration of sapropel]. Patent RF № 2002130104/12, 2004.
7. Utenkova T. G., Kremcheev E. A., Gromika D. S., Korotkova O. Yu. *Sposoby obezvozhvaniya sapropelya* [Methods of dehydrating sapropel]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*, 2020, no. 4 (150), pp. 45–52. (in Russian)
8. Dement'yev V. A., Shtin S. M. *Promyshlennaya dobycha sapropelya uzhe v Rossii* [Industrial production of sapropel is already in Russia]. *Gidrotekhnika = Hydraulic Engineering*, 2019, no. 1, pp. 64–66. (in Russian)
9. Adzhienko V. E. *Tekhnologiya i kontejnery Geotube – Novyj process obezvozhvaniya s izvestnymi preimushchestvami* [Geotube Technology and Containers – A New Dewatering Process with Well-Known Benefits]. *Nacional'nyj katalog "Tekhnika i tekhnologii ZHKKH" – prilozhenie k zhurnalu "ZHKKH: zhurnal dlya rukovoditelya i glavnogo buhgaltera"* [The National Catalogue "Equipment and Technologies for Housing and Public Utilities" is a supplement to the journal "Housing and Public Utilities: A Journal for Managers and Chief Accountants"], 2009, no. 1, 1 p. (in Russian)
10. Razrabotka i aprobatsiya v opytnykh usloviyakh elementov skvazhinnoj sistemy gidrodobychi i gidrotransporta sapropelya i torfosapropelya, zalegayushchih pod torfom [Development and testing in experimental conditions of elements of a borehole system for hydraulic extraction and hydraulic transport of sapropel and peat-sapropel located under peat]. *Otchet o NIR (promezhutochnyy)* [Research report (intermediate)]. Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, supervisor B. V. Kurzo. Minsk, 2024, 101 p., St. Reg. no. 20210174. (in Russian)
11. *Otlichiya flokulyantov ot koagulyantov* [Differences between flocculants and coagulants]. *Internet-portal inzhiniringovoy kompanii Asia Water Service* [Internet portal of the engineering company Asia Water Service]. URL: <https://water-service.kz/blog/art34.html> (accessed April 2, 2026). (in Russian)
12. Baran A. A., Teslenko A. Ya. *Flokulyanty v biotekhnologii* [Flocculants in biotechnology], Leningrad, Himiya Publ., 1990, 144 p. (in Russian)
13. Kshondzer E. G. *Izmenenie vyazkosti sapropelevoj pul'py. Gidrotransport sapropelya* [Changes in the viscosity of sapropel pulp. Sapropel hydrotransport]. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific papers]. Moscow, VNIPI gidrotruboprovod Publ., 1987, pp. 41–43. (in Russian)
14. Lishtvan I. I., Kosarevich I. V. *Vliyanie dispersnosti na reologicheskie i tekhnologicheskie svoystva sapropelej* [The influence of dispersion on the rheological and technological properties of sapropels]. *Torfyannaya promyshlennost' = Peat Industry*, 1986, no. 6, pp. 28–31. (in Russian)
15. Marchenkov V. P., Lugovkin B. M. *Gidravlicheskij transport gruntov* [Hydraulic transport of soils], Yaroslavl, YAPI Publ., 1985, 46 p. (in Russian)

#### Информация об авторах

**Кунцевич Виктор Болеславович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

**Гайдукевич Олег Михайлович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

**Макаренко Татьяна Ивановна** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [makarenko.IP@mail.ru](mailto:makarenko.IP@mail.ru)

**Агейчик Инна Валерьевна** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [ageichik.iv@mail.ru](mailto:ageichik.iv@mail.ru)

**Кляуззе Ирина Валентиновна** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

#### Information about the authors

**Victor B. Kuntsevich** – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

**Oleg M. Gaidukevich** – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

**Tatiana I. Makarenko** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [makarenko.IP@mail.ru](mailto:makarenko.IP@mail.ru)

**Inna V. Ageychik** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [ageichik.iv@mail.ru](mailto:ageichik.iv@mail.ru)

**Irina V. Klyauzze** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)

*Калилец Людмила Петровна* – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

*Серая Светлана Михайловна* – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

*Татков Антон Юрьевич* – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

*Lyudmila P. Kalilets* – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

*Svetlana M. Seraya* – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

*Anton Yu. Tatkov* – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by