

УДК 622.794.3

Шевченко А.Е., аспирант
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ
ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОСАДКОВ ЧЕРНОГО МОРЯ МЕТОДОМ
ФИЛЬТРОВАНИЯ**

Шевченко О.Є., аспірант
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**ОСОБЛИВОСТІ ЗНЕВОДНЕННЯ ГЛИБОКОВОДНИХ
ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ВІДКЛАДЕНЬ ЧОРНОГО МОРЯ МЕТОДОМ
ФІЛЬТРУВАННЯ**

Shevchenko O. Ye., Doctoral Student
(State HEI «National Mining University»)

**FEATURES OF DEWATERING THE DEEP-SEA ORGANIC-MINERAL SE-
DIMENTS IN THE BLACK SEA BY METHOD OF FILTRATION**

Аннотация. Статья направлена на освещение результатов экспериментальных исследований по обезвоживанию органо-минеральных осадков Черного моря – кокколитовых и сапропелевых илов, методом фильтрации.

Экспериментальные исследования были проведены с использованием компрессионного прибора с фильтровальной перегородкой. Варьирование сжимающего давления производилось в диапазоне от 0,5 до 10 МПа. В результате исследований установлено, что сапропелевые и кокколитовые илы относятся к сильно сжимаемым осадкам. Процесс фильтрации сапропелевого ила, в отличие от фильтрации кокколитового ила, происходит с закупориванием пор фильтровальной перегородки. Приведены графики зависимости удельной производительности плоского фильтра от величины сжимающего давления и продолжительности процесса фильтрации. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании параметров машин для обезвоживания органо-минеральных осадков.

Ключевые слова: глубоководные органо-минеральные осадки, фильтрация, обезвоживание, обогащение.

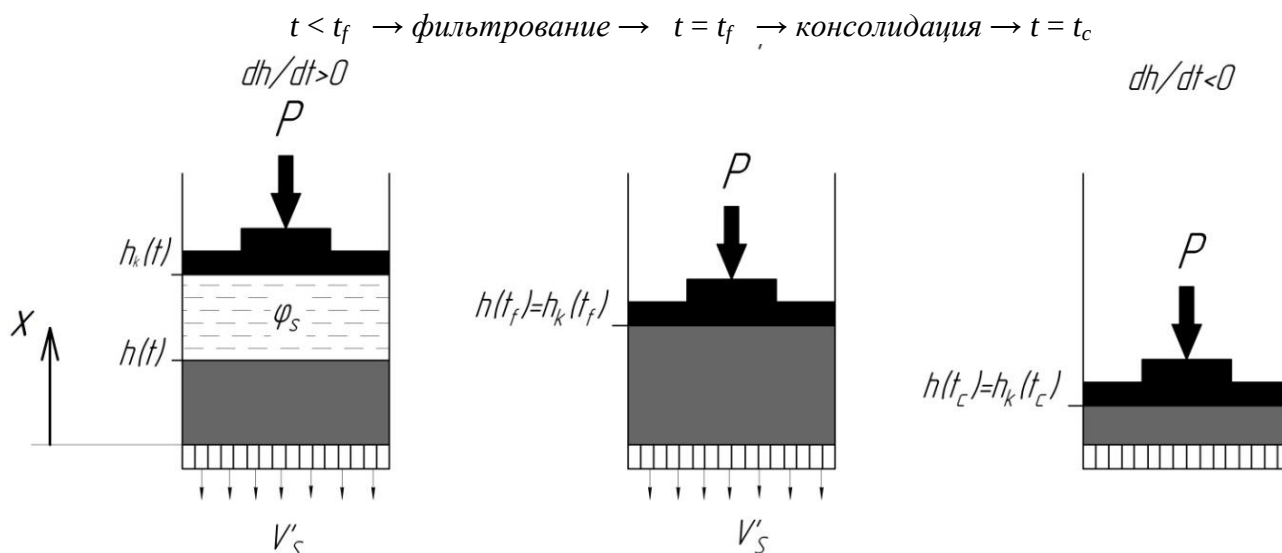
Введение

К глубоководным органо-минеральным осадкам (ГВОМО) Черного моря относятся глинистые илы, содержащие свыше 3% органического углерода и залегающие на глубинах свыше 500 м. Перспективной областью применения ГВОМО Черного моря является агрохимический комплекс [1]. В настоящее время также проводятся исследования по применению глубоководных донных отложений в медицине, косметологии, строительстве и других областях промышленности [2]. Особенностью морских органо-минеральных осадков является повышенная липкость, влажность, мелкодисперсная структура (80-85% составляют частицы размером менее 10 мкм), наличие органических веществ [3], что делает их трудно фильтруемым материалом. Кроме того, свойства ГВОМО могут изменяться в довольно широком диапазоне, что затрудняет расчеты па-

раметров обезвоживающих фильтровальных машин. Поэтому обоснование параметров оборудования для обезвоживания морских осадков требует проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Анализ последних исследований

В общем случае процесс обезвоживания материала методом фильтрования (фильтрование – процесс разделения неоднородных систем при помощи пористых перегородок, которые задерживают одни фазы систем и пропускают другие [5]) можно рассматривать как совокупность двух процессов [4]: фильтрования (первый этап) и консолидации (второй этап). На первом этапе обезвоживания материала при постоянном давлении P происходит процесс фильтрования с образованием осадка определенной влажности (рис. 1). После этого следует второй этап, при котором из образовавшегося осадка происходит выдавливание жидкости до полной усадки материала.



t – время; t_f – время фильтрования; t_c – время консолидации; h – высота осадка; h_k – высота слоя материала; V'_s – удельный расход фильтрата; φ_s – концентрация твердого в суспензии

Рисунок 1 – Схема протекания процесса фильтрование-консолидация при обезвоживании суспензии

Процесс фильтрование-консолидация описывается уравнением Тиллера-Ширато [4]:

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\varepsilon_s \frac{k}{\eta} \frac{\partial p_s}{\partial x} \right] - \frac{4}{\eta d_{eq}} \frac{\partial}{\partial x} [\varepsilon_s k \lambda_w \tan \varphi_w p_s] + V'_s \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x}, \quad 0 \leq x \leq h, \quad (1)$$

где ε_s – порозность материала; k – проницаемость осадка; P_s – давление, передающееся на частицы материала; η – вязкость жидкой фазы суспензии; d_{eq} – эквивалентный диаметр частиц материала; λ_w – относительное боковое давление; φ_w – угол трения о стенки фильтра; V'_s – удельный расход фильтрата, про-

ходящего через фильтр площадью S ; x – координата; h – высота слоя материала.

Приведенная математическая модель была использована Б. Райхманом и Ю. Томасом [4] для моделирования процесса фильтрования суспензий каолина и диоксида титана.

Одним из частных решений уравнения (1) является наиболее часто используемое в практике расчета фильтров уравнение Дарси [6]:

$$\frac{dV}{Sdt} = \frac{c}{\mu} \frac{\Delta P}{h}, \quad (2)$$

где c – проницаемость осадка; μ – вязкость жидкости; dV – объем жидкости, проходящей через колонку за время dt .

Уравнение (2) связывает основные конструктивные параметры фильтровальной машины: рабочее давление P , расстояние между фильтровальными поверхностями (рабочий зазор) H и время фильтрования t . Данную зависимость использовали в своих работах А. А. Березняк [7] при моделировании процесса фильтрования дистена, Е. Е. Гарковенко [8] при обосновании параметров процесса обезвоживания угольного шлама.

Г. Анлауф [9] исследовал процесс фильтрования тонкозернистых угольных шламов, а также суспензий каолина и целлюлозы с учетом сжимаемости осадка. В своих работах автор использовал модифицированное уравнение Дарси:

$$\frac{dV}{Sdt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{\Phi\Pi} + \alpha(1-\varepsilon)\rho_s kV)}, \quad (3)$$

где $R_{\Phi\Pi}$ – сопротивление фильтровальной перегородки; α – удельное массовое сопротивление осадка; ε – пористость; ρ_s – плотность твердых частиц; k – коэффициент пропорциональности; V – удельный объем фильтрата.

В работе [10] представлены результаты исследований движения жидкости в пористой среде. Предложенная авторами математическая модель может быть использована при моделировании процесса фильтрования шламов и других мелкодисперсных материалов.

Сжимаемость осадка учитывается при определении величин α и $(1-\varepsilon)$:

$$\alpha = \alpha_0 \left(1 + \frac{P_s}{P_{s,0}} \right)^n \quad (4)$$

$$(1-\varepsilon) = (1-\varepsilon_0) \left(1 + \frac{P_s}{P_{s,0}} \right)^\beta, \quad (5)$$

где $P_{s,0}$ – нормированное давление; α_0 – удельное массовое сопротивление осадка при $P_s = 0$; ε_0 – начальная пористость материала; n и β – коэффициенты сжимаемости.

В работе [11] приведены результаты исследований гранулометрического состава ГВОМО, которые согласуются с результатами исследований, проведенных автором (таблица 1) с использованием лабораторного оборудования Технического университета «Фрайбергская горная академия» (г. Фрайберг, Германия). Поскольку более 80% сапропелевого и кокколитового илов составляют глинистые частицы размером менее 10 мкм, данные осадки могут быть отнесены к сжимаемым материалам [9]. К сжимаемым относятся материалы с мягким скелетом, пористость которых изменяется во времени под действием постоянного давления фильтрования [12]. Однако степень их сжимаемости должна быть установлена по результатам экспериментальных исследований.

Таблица 1 – Результаты исследований гранулометрического состава кокколитового и сапропелевого илов на лазерном анализаторе HELOS (H0735) & QUIXEL, R3: 0.5/0.9...175µm

Тип материала	Фракция, мкм						
	0-100	0-51	0-10,5	0-5	0-2,2	0-1,1	<1
Кокколитовый ил	100%	98,4%	80,7%	59,9%	32,5%	13,6%	9,4%
Сапропелевый ил	100%	98,8%	84,9%	65,6%	35,74%	14,85	10,3%

Причины сжимаемости осадков мелкодисперсных суспензий могут быть различны (рис. 2). При воздействии на суспензию сжимающего давления в зависимости от формы, размеров и прочностных характеристик частиц суспензии может происходить перегруппировка (перестроение) частиц, их деформация или разрушение [13].

Согласно схеме разделения материалов по массовой концентрации твердых частиц в суспензии [5] ГВОМО можно отнести к высококонцентрированным суспензиям ($c_M > 0,15$), поскольку среднее значение концентрации твердых частиц c_M для кокколитового ила составляет около 0,347 кг/кг, для сапропелевого ила – 0,278 кг/кг.

Процесс фильтрования мелкодисперсных суспензий может протекать с закупориванием пор фильтра, что приводит к резкому снижению производительности машины. Более того, при обезвоживании сильно сжимаемых осадков увеличение давления фильтрования сверх некоторого критического значения приводит к уменьшению скорости фильтрования [14]. Для таких материалов может быть определено рациональное давление фильтрования, при котором удельная производительность фильтра будет наибольшей.

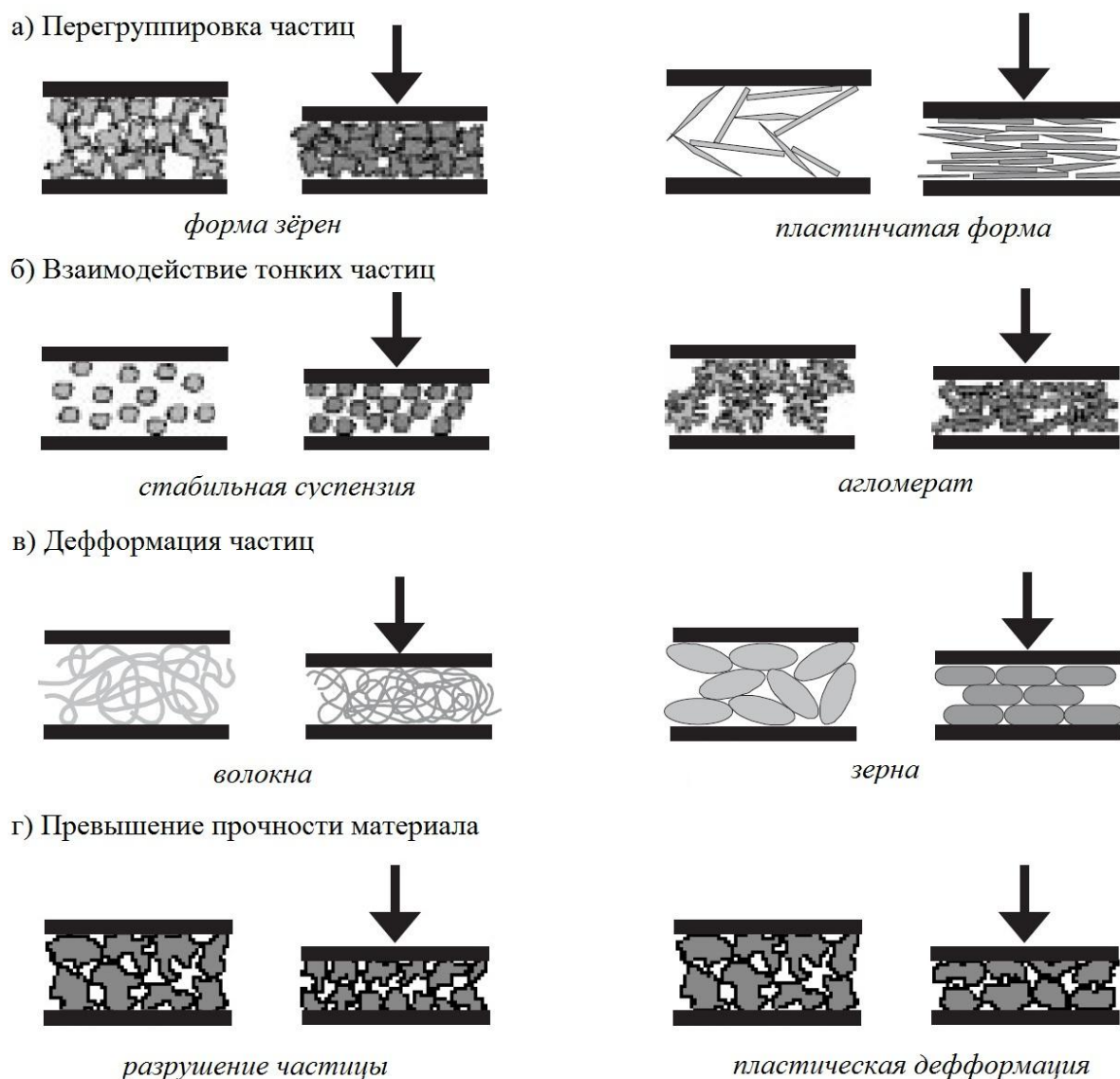


Рисунок 2 – Виды сжимаемости осадков

Таким образом, для обоснования параметров обезвоживающей фильтровальной машины с использованием математической модели (3) требуется провести экспериментальные исследования по фильтрованию сапропелевого и кокколитового илов, в результате которых должны быть установлены: характер процесса фильтрования (с закупориванием или без закупоривания пор фильтровальной перегородки), степень сжимаемости осадка, зависимость скорости фильтрования от давления и продолжительности процесса.

Целью настоящей работы является освещение и анализ результатов экспериментальных исследований по обезвоживанию кокколитового и сапропелевого илов методом фильтрования при постоянном давлении.

Изложение основного материала исследований

Для определения свойств ГВОМО и проведения исследований по их обезвоживанию, в ходе 73-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (2013 г.) были отобраны пробы условно ненарушенного и нарушенного сложения. Исследования образцов органо-минеральных осадков были проведены в Национальном

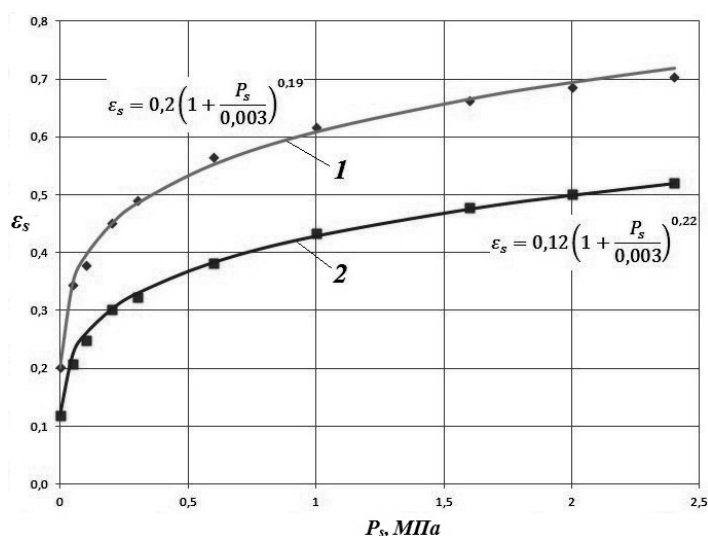
горном университете и Фрайбергской горной академии (Германия).

По результатам компрессионных испытаний сапропелевого и кокколитового илов были получены компрессионные зависимости [15], характеризующие изменение пористости материала при увеличении давления:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s,0} \left(1 + \frac{P_s}{P_a} \right)^\beta, \quad (6)$$

где P_a – нормированное давление (принимается равным 0,003 МПа). Для сильно сжимаемых материалов $0,1 < \beta < 1$. Коэффициенты $\varepsilon_{s,0}$ и β для каждого типа материала определяются из опытов.

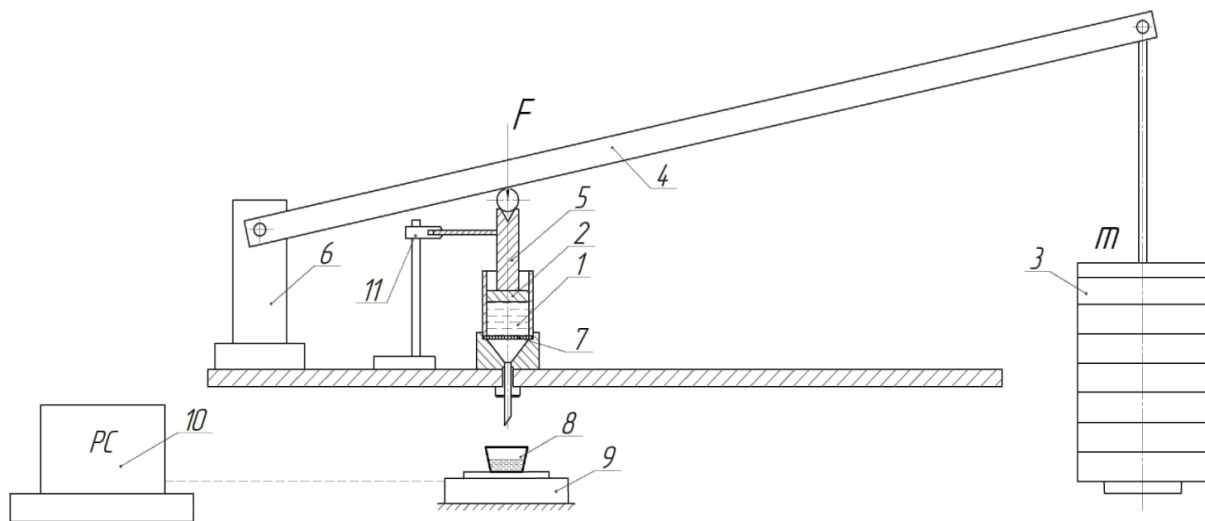
На рис. 3 представлены компрессионные зависимости для кокколитового и сапропелевого ила, установленные экспериментально по ГОСТ 12248-96. Полученные зависимости показывают, что кокколитовые и сапропелевые илы являются сильно сжимаемыми и коэффициенты их сжимаемости β равны соответственно 0,19 и 0,22. Компрессионные кривые также позволяют установить минимальное давление фильтрования, необходимое для получения требуемой конечной влажности осадка, пересчитываемой через его пористость.



1 – ил кокколитовый; 2 – ил сапропелевый

Рисунок 3 – Компрессионные кривые

Для определения основных зависимостей процесса фильтрования кокколитового и сапропелевого илов при постоянном давлении были проведены экспериментальные исследования с использованием фильтровальной установки показанной на рис. 4.



1 – рабочая камера; 2 – поршень; 3 – набор грузов; 4 – коромысло; 5 – шток; 6 – опора;
7 – фильтровальная перегородка; 8 – сосуд для сбора фильтрата; 9 – лабораторные
электронные весы; 10 – компьютер, 11 – датчик перемещений

Рисунок 4 – Схема фильтровальной установки

Принцип работы установки состоит в следующем. Давление в рабочей камере 1 создается поршнем 2, нагружаемого набором грузов 3 посредством коромысла 4 и штока 5. Второй край коромысла шарнирно закреплен в опоре 6. Под действием давления P твердые частицы суспензии задерживаются на фильтровальной перегородке (ФП) 7, а жидкость (фильтрат) поступает в сосуд 8, установленный на электронных лабораторных весах 9. Значения массы образовавшегося фильтрата записывались на подключенный к весам персональный компьютер 10 через заданный промежуток времени Δt . Для определения осадки материала во времени на фильтровальной установке был использован датчик перемещений 11, показания которого записывались через равные промежутки времени в ходе проведения опыта.

Условия проведения опытов

Для кокколитового ила с исходной средней влажностью (определяемой, как отношение массы воды к массе навески грунта) 63,9%, исследования проводились при постоянном давлении фильтрования P от 1 до 10 МПа с шагом 0,5 МПа. При этом для каждого значения давления через одинаковые промежутки времени в течение 30 мин фильтрования записывались значения массы образовавшегося фильтрата. После окончания опыта измерялись конечная влажность образованного на фильтровальной перегородке уплотненного осадка и его высота. Аналогичные опыты были проведены для сапропелевого ила с исходной средней влажностью 75,5% при постоянном давлении фильтрования от 1 до 10 МПа с шагом 1 МПа. В качестве фильтровальной перегородки были использованы: фильтровальная бумага, фильтровальная ткань (05-1010-SK 006 STN) и жесткое перфорированное основание. Площадь фильтровальной поверхности установки (площадь фильтра) равна 10 см².

Для кокколитового ила была получена зависимость удельной производи-

тельности фильтра $dV/(Sdt)$ от давления P и времени фильтрования t (рис. 5). Для получения каждой точки графика праведно по три опыта при одних и тех же условиях.

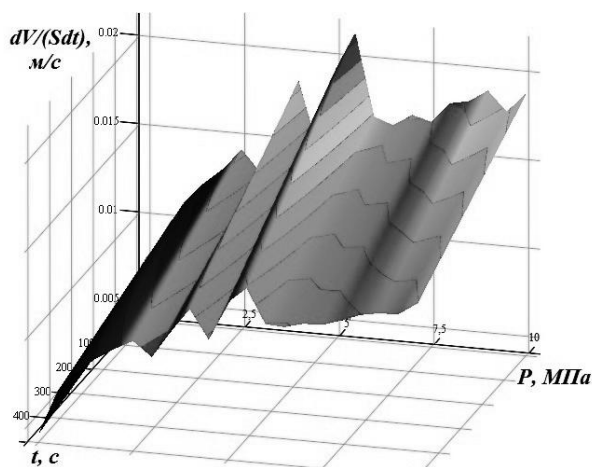
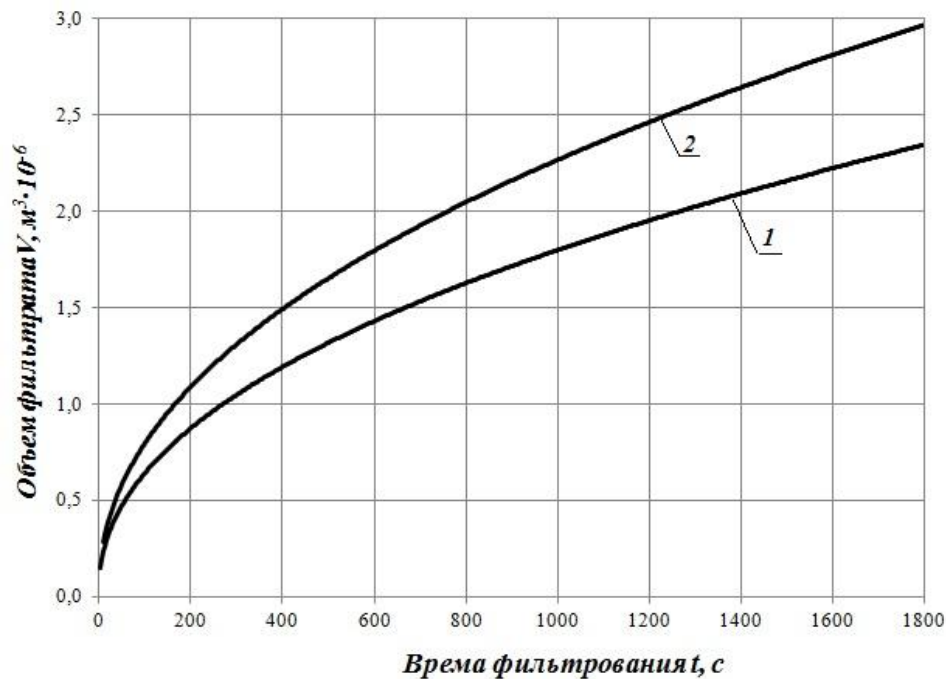


Рисунок 5 – Зависимость удельной производительности фильтра от давления и времени фильтрования для кокколитового ила

Из приведенного графика видно, что при фильтровании кокколитового ила при постоянном давлении наблюдается резкое увеличение удельной производительности фильтра при давлениях около 3,0 МПа и 4,0 МПа в течение первых 10-12 мин фильтрования. Наиболее интенсивно процесс обезвоживания происходит в течение первых 3-7 мин фильтрования при всех проведенных опытах. Конечная влажность осадка составила порядка 30-48% в зависимости от величины давления и продолжительности процесса фильтрования.

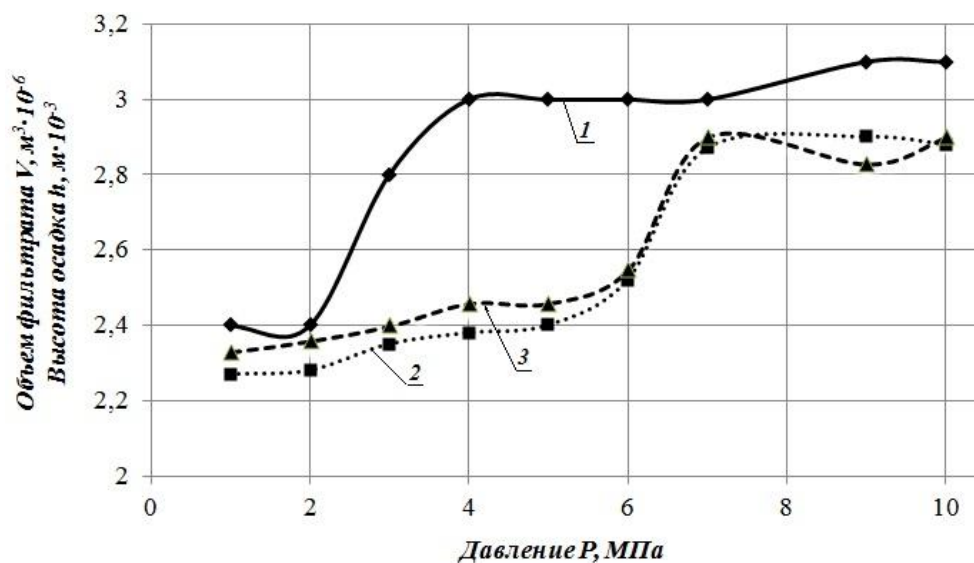
В результате проведенных опытов по обезвоживанию сапропелевого ила были получены зависимости объема фильтрата от времени фильтрования при разных значениях давления (рис. 6), а также зависимости высоты осадка и максимального объема фильтрата от давления при продолжительности процесса фильтрования 30 мин (рис. 7).

Поскольку при фильтровании сапропелевого ила при давлениях от 3 до 10 МПа на фильтровальной перегородке происходит образование слоя осадка относительно малой толщины, данный процесс может быть охарактеризован как таковой, протекающий с закупориванием пор фильтровальной перегородки (рис. 7). Кроме того, конечная влажность осадка при повышении давления от 1 до 10 МПа остается практически постоянной и составляет порядка 60-58%. При давлениях фильтрования 1 – 6 МПа не наблюдается повышение производительности фильтра (рис. 5) и максимальный объем образовавшегося фильтрата составляет 2,25 – 2,5 мл. При давлениях 7 – 10 МПа происходит ступенчатое повышение производительности фильтра по фильтрату. Максимальный объем фильтрата составил 2,83 – 2,9 мл. При этом высота слоя образовавшегося осадка увеличивается незначительно и составляет около 3,1 мм.



1 – средний объем фильтрата, образованный за время t при давлениях фильтрования 1...6 МПа; 2 – средний объем фильтрата, образованный за время t при давлениях фильтрования 7...10 МПа

Рисунок 6 – Производительность фильтра (по фильтрату) при обезвоживании сапропелевого ила



1 – высота осадка; 2 – усадка материала; 3 – образовавшийся фильтрат

Рисунок 7 – Зависимость высоты осадка, усадки материала и объема фильтрата от давления при фильтровании сапропеля

В ходе экспериментов по фильтрованию сапропелевого ила также были получены зависимости усадки материала во времени для уточнения данных по производительности фильтра. Установлено, что усадка ила пропорциональна объему вытесненного фильтрата для всех опытов, проведенных на фильтровальной установке. На рис. 7 представлена зависимость максимальной усадки

сапропелевого ила от давления. При давлениях 1 – 6 МПа объем образованного фильтрата почти не изменяется и равен 2,4 мл. В области давлений от 7 до 10 МПа наблюдается ступенчатое повышение объема фильтрата до 2,9 мл.

Выводы

Кокколитовый и сапропелевый илы относятся к сильно сжимаемым материалам, причем процесс фильтрования сапропелевого ила происходит с закупориванием пор фильтровальной перегородки, что ограничивает возможность использования существующих фильтровальных машин.

При обезвоживании кокколитового ила методом фильтрования рациональное давление фильтрования, при котором удельная производительность фильтра наибольшая, составляет 4 МПа. Наиболее интенсивно процесс обезвоживания кокколитового ила происходит в течение первых 3-12 мин фильтрования. В течение этого времени при давлении фильтрования 4 МПа удельная производительность фильтра изменяется от 0,0215 до 0,0124 м/с.

Повышенное содержание органических веществ и особенности физико-механических свойств значительно усложняют процесс фильтрования сапропелевых осадков. Одним из перспективных направлений интенсификации процесса их обезвоживания является фильтрование смеси сапропелевого и кокколитового илов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Димитров, Д.П. Некоторые результаты применения глубоководных органо-минеральных осадков дна Черного моря для агротехнических целей. / Д.П. Димитров, Г.Ц. Георгиев, П.С. Димитров // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006. – № 1. – С. 74-80.
2. Баклан, В.Ю. Исследование морского сапропеля как фильтрующего материала. / В.Ю. Баклан, И.П. Колесникова // Экология Черного моря [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eco-mir.net/show/549/>. – Загл. с экрана.
3. Бабинец, А.Е. Физико-механические свойства донных осадков Черного моря / А.Е. Бабинец, В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский. – Киев: Наукова думка, 1981. – 204 с.
4. Reichmann, B. and Tomas, J. (2001), "Expression behaviour of fine particle suspensions and the consolidated cake strength", *Powder technology 4309*, Mechanical Process Engineering, Department of Process Engineering and Systems Engineering, Otto-Xon-Guericke-University Magdeburg, Magdeburg, Germany.
5. Жужиков, В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков. – М.: Химия, 1980. – 398 с.
6. Основы теории фильтрации: Учебное пособие / Н.Е. Леонтьев. – М.: Центр прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. – 88 с.
7. Березняк, А.А. Исследование кинетики фильтрования через осадок дистена крупностью 40-50 мкм / А.А. Березняк, Е.О. Козырь, Е.А. Нестеренко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. / НГУ. – 2007. – Вып. 27(68)-28(69). – С. 126-132.
8. Гарковенко, Е.Е. Анализ условий работы ленточного вакуум-фильтра и разработка эффективных режимов обезвоживания продуктов обогащения // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1999. - Вып.15. - С. 16-19.
9. Anlauf, H. (2010), „Fest/Flüssig-Trennung durch Kuchenfiltration“, *Global Guide of the Filtration and Separation Industry 2008-2010*, pp. 150-156.
10. Надутый В.П. Математическая модель опускания слоя жидкости в пористой среде / В.П. Надутый, В.И. Елисеев, В.И. Луценко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./ ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 3–14.
11. Проблема сапропелей Черного моря. – Киев: ОМГОР, 2010. – 148 с.
12. Цитович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цитович. – М.: Гос. изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 638 с.

13. Alles C.M., Anlauf H. (2003), „Filtration mit kompressiblen Kuchen: effiziente Konzepte für eine anspruchsvolle Trennaufgabe“, *Chemie Ingenieur Technik*, no. (75) 9, pp. 25-32.
14. Белоглазов, И.Н. Основы расчета фильтрационных процессов / И.Н. Белоглазов, В.О. Голубев. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», Санкт-петербург, 2002. – 210 с., ил.
15. Tomas, J. (2001), „Preßfiltration/ Praktikum“, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik, Institut für Verfahrenstechnik, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik.

REFERENCES

1. Dimitrov, D.P., Georgiev, G.C. and Dimitrov, P.C. (2006), „Some results of using the deep-sea organic-mineral sediments of the Black Sea in the agriculture“, *Geologiya i polesnye iskopaemye mirivogo okeana*, no.1, pp. 76-80.
2. Baklan, V.Yu., Kolesnikova, I.P. (2015) „Investigation of marine sapropel as a filtering material“, *Ekologiya Chernoga morya*, available at: <http://www.eco-mir.net/show/549/>.
3. Babinets, A.E., Emelyanov, V.A. and Mytropol'skiy, A.Yu. (1981), *Fisiko-mekhanicheskie svoystva donnykh osadkov Chernogo morya* [Physicomechanical properties of the Black Sea seabed sediments], Kiev, Naukova dumka, SU.
4. Reichmann, B. and Tomas, J. (2001), „Expression behaviour of fine particle suspensions and the consolidated cake strength“, *Powder technology 4309*, Mechanical Process Engineering, Department of Process Engineering and Systems Engineering, Otto-Xon-Guericke-University Magdeburg, Magdeburg, Germany.
5. Zhuzhykov, V.A. (1980), *Teoriya i praktika rasdeleniya suspenziy* [The theory and practice of suspension separating], Khimiya, Moscow, SU.
6. Leontyev, N.V. (2009), *Osnovy teorii filtrazii: ychebnoe posobie* [Fundamentals of the filtration theory: Textbook], Izdatel'stvo zentra prikladnykh issledovaniy pri mekhaniko-matematicheskom fakultete MGU, Moscow, Russia.
7. Beresn'jak, A.A., Kozyr, Ye.O. and Nesterenko, Ye.A. (2007), „Investigation of kinetic at filtration through disten with grain size of 40-50 μm “, *Zbagachennyya korysnykh kopalyn*, n. 27(68)-28(69), pp. 126-132.
8. Garkovenko, Ye.Ye. (1999), «Analysis of work conditions of the band filter press and development of effective dewatering modes of preparation products», *Geo-Technical Mechanics*, no. 15, pp. 16-19.
9. Anlauf, H. (2010), „Fest/Flüssig-Trennung durch Kuchenfiltration“, *Global Guide of the Filtration and Separation Industry 2008-2010*, pp. 150-156.
10. Naduty V. P., Elisayev, V. I., Lutsenko, V. I. (2011), «Mathematical model of lowering of the liquid layer in porous medium», *Geo-Technical Mechanics*, no. 92, pp. 3-14.
11. *Problemy sapropelevykh osadkov Chernoga morya* [The problem of sapropel sediments in the Black Sea] (2010), OMGOR, Kiev, Ukraine.
12. Zytovich, N.A. (1963), *Mechanika gruntov* [Soil mechanics], Gos. izd. literatury po stroitel'stvu ark-hitekture i stroitel'nykh materialam, Moscow, SU.
13. Alles, C.M. and Anlauf, H. (2003), „Filtration mit kompressiblen Kuchen: effiziente Konzepte für eine anspruchsvolle Trennaufgabe“, *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 75, no. 9, pp. 25-32.
14. Beloglazov, I.N. and Golubev, V.O. (2002), *Osnovy rascheta filtrazionnykh prozessov* [Fundamentals of calculation the filtration processes], Izdatelskiy dom “Ruda i metally”, St. Petersburg, Russia.
15. Tomas, J. (2001), „Preßfiltration/ Praktikum“, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik, Institut für Verfahrenstechnik, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik.

Об авторе

Шевченко Александр Евгеньевич, аспирант кафедры горных машин и инжиниринга, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (Государственный ВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, alex.shevche@gmail.com

About the author

Shevchenko Oleksandr Yevgenievich, Doctoral Student, State Higher Educational Institution “National Mining University” (State HEI “NMU”), Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: alex.shevche@gmail.com

Анотація. Стаття направлена на висвітлення результатів експериментальних досліджень зі зневоднення органо-мінеральних осадів Чорного моря – коколітових та сапропелевих му-

лів, методом фільтрування.

Експериментальні дослідження було проведено з використанням компресійного приладу з фільтрувальною перетинкою. Варіювання стискуючого тиску проводилося в діапазоні від 0,5 до 10 МПа. В результаті досліджень встановлено, що сапропелеві та коколітові мули відносяться до дуже стискуваних осадов. Процес фільтрування сапропелевого мулу, на відміну від фільтрування коколітового мулу, відбувається з закупорюванням пор фільтрувальної перегородки. Наведено графіки залежності питомої продуктивності плоского фільтру від величини стискуючого тиску та тривалості процесу фільтрування. Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні параметрів машини для зневоднення органо-мінеральних осадов.

Ключові слова: глибоководні органо-мінеральні відкладення, фільтрування, зневоднення, збагачення.

Abstract. The paper covers experimental findings on dewatering the deep-sea organic-mineral sediments by method of filtration. The deep-sea sediments – coccolith and sapropel silts - were sampled in the Black Sea.

The tests were carried out with the help of compression equipment. Compression pressure variation was at a range of 0,5...10 MPa. It was found that sapropel and coccolith sediments could be referred to the strongly compressible soil. The filtering process of sapropel silts, unlike filtering of coccolith sediments, occurs with filter medium clogging. The dependencies between specific productivity of the plane filter and pressure rate and duration of filtration are shown in the diagrams. The obtained data may be used for justifying parameters of machines used for dewatering the organic-mineral sediments.

Keywords: organic-mineral sediments, filtration, dewatering, processing.

Стаття поступила в редакцію 30.11. 2014

Рекомендовано к публикации д-ром геол. наук В.А. Барановым

УДК 622.648.6:621.867.8

Пономаренко С.Н., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНОЙ
ПОРОДЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ЕЕ
ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЮ ТРУБОПРОВОДНЫМИ
СИСТЕМАМИ**

Пономаренко С.М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ИГТМ НАН України)

**ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКОЇ
ПОРОДИ НА ОПІР ЇЇ ПНЕВМОТРАНСПОРТУВАННЮ
ТРУБОПРОВІДНИМИ СИСТЕМАМИ**

Ponomarenko S.N., Ph.D. (Tech), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

**INFLUENCE OF ROCK PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ON
THE ROCK RESISTANCE TO PNEUMATIC TRANSPORTATION BY THE
PIPELINE SYSTEMS**

Аннотация. Статья направлена на исследование влияния физико-механических свойств горной породы на сопротивление ее движению в системах трубопроводного пневмотранспорта. Сопротивление движению горной породы в пневматических трубопроводных системах исследовано через интегральный коэффициент сопротивления, в котором обобщено сопротивление твердой и воздушной фазы аэросмеси при ее движении по транспортному трубопроводу. Получена зависимость интегрального коэффициента сопротивления движению от режима транспортирования, характеристик транспортного трубопровода и аэросмеси, которая перемещается по данному трубопроводу. Приведены результаты исследований влияния коэффициента скольжения фаз аэросмеси на сопротивления движению горной породы с различными физико-механическими свойствами по конкретному виду транспортного трубопровода. Анализ полученных результатов показал, что объемная плотность горной породы оказывает менее существенное влияние на сопротивление пневмотранспортированию этой породы по трубопроводу, чем форма частиц породы и ее разрыхление. Результаты исследований могут быть использованы при определении удельной энергоемкости трубопроводных систем пневмотранспорта для технологий горного производства.

Ключевые слова: интегральный коэффициент сопротивления, аэросмесь, горная порода, пневмотранспорт, трубопровод, коэффициент скольжения фаз.

Процесс пневмотранспортирования по трубопроводу аэросмеси, состоящей из частиц горной породы и воздуха, характеризуется тем, что механическая работа затрачивается на преодоление силы сопротивления движению воздуха и транспортируемого материала. Величина этой интегральной силы оценивается через интегральный (обобщенный) коэффициент сопротивления движению аэросмеси в транспортном трубопроводе, который в общем случае определяется как совокупность [1 - 5]: