

Т Р И Б У Н А М О Л О Д О Г О У Ч Е Н О Г О

УДК 631.6 : 631.432.3

МЕЛИОРАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ СУСПЕНЗИЕЙ САПРОПЕЛЯ

А.А. Боровиков, старший преподаватель

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Ключевые слова: стена в грунте, песок, сапропель, суспензия, смесь, водопроницаемость

Введение

Оценка естественной защищенности подземных вод от загрязнения относится к числу важнейших хозяйственных задач. В настоящее время процессы техногенного воздействия на подземные воды превратились из локальных в региональные, ведь расположение бассейна подземных вод не подчиняется административно-территориальному делению.

Постоянно растет антропогенная нагрузка на водосборы в результате интенсивного развития промышленного, коммунального и сельского хозяйств. Однако и на развитие производства влияет состояние водных ресурсов. Первостепенное значение при этом имеют ресурсы пресных подземных вод, сосредоточенных в верхней части осадочной толщи и являющихся основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения. Среди экологических задач на первое место выдвигается защита подземных вод от загрязнения и истощения.

Строительство крупных животноводческих комплексов с использованием гидросмыва создает проблемы хранения и использования животноводческих стоков. Жидкие стоки поступают в навозохранилище или резервуары очистных стоков (РОСы), откуда используются для орошения. При строительстве этих сооружений должны быть обеспечены условия, максимально снижающие загрязнение подземных вод животноводческими стоками, поступающими через ложе и борта накопителей стоков.

Типовыми проектами противодиффузионное экранирование РОСов и навозохранилищ предусматривается осуществлять с помощью стабилизированной полиэтиленовой пленки. Однако в начале 90-х гг. появились проблемы со снабжением мелиоративного строительства полиэтиленовой пленкой, а затем ее применение резко ограничили из-за возросшей стоимости. В связи с этим возникла проблема замены полиэтиленовой

пленки на более дешевый и менее дефицитный материал. Одним из возможных вариантов являются местные грунты, залегающие на месте строительства или в непосредственной близости от него.

Повсеместное распространение глинистых грунтов, низкая стоимость их разработки и, главное, малая водопроницаемость позволили широко использовать их для устройства противofильтрационных экранов. Считается, что глинистые экраны и подстилающие их слабопроницаемые глинистые грунты, залегающие как в зоне аэрации, так и в разделяющих водоносные горизонты слоях, их мощность и фильтрационные свойства служат основным препятствием для проникновения загрязняющих отходов в водоносные горизонты. Однако, как показывает обзор научной литературы, вопрос о проницаемости глинистых пород изучен недостаточно. Процесс фильтрации в них характеризуется большой сложностью, и долгое время они считались абсолютно водонепроницаемыми. Но уже в конце 40-х годов появились работы, свидетельствующие о том, что вертикальная фильтрация через глинистые толщи в определенных условиях может быть существенной [1].

Следует отметить, что жирных глин и суглинков, обычно используемых в гидротехническом строительстве при устройстве противofильтрационных устройств [2], в районе строительства обычно недостаточно. Степень проницаемости глинистых пород значительно различается при фильтрации через них пресных и минерализованных вод. Исследованиями ряда авторов установлено, что глины при одних и тех же градиентах напора практически могут не пропускать пресные воды и фильтровать соленые или рассолы. При этом в зависимости от состава рассолов и глинистых минералов также резко меняются фильтрационные свойства глин и суглинков. При фильтрации хлоридных натриевых рассолов изменение фильтрационных свойств песчано-глинистых отложений по сравнению с пресными водами значительно больше (в 5-10 раз), чем при фильтрации хлоридных кальциевых растворов (в 1,5-2 раза). Особенно резко возрастает проницаемость монтмориллонитовых глин (в 10 раз и более) и в меньшей степени (в 1,5-3 раза) – каолилитовых. Кроме того, и температура фильтрующейся воды влияет на проницаемость глин. Так, рост температуры от 20 до 30°C ведет к увеличению проницаемости монтмориллонитовых глин в 10, а иногда и в 100 раз [3].

При защите водных ресурсов (рек, озер, водоемов, подземных вод) от загрязнения животноводческими стоками, отходами вредных производств, нефтехимических производств, предприятий цветной и черной металлургии, других отраслей промышленности; для понижения уровня грунтовых вод, сокращения потерь воды в результате ее фильтрации из верхнего бьефа в нижний, а также обеспечения охраны природной среды в отдельно взятом регионе от технологически пагубных последствий применяются противofильтрационные завесы.

Завесы устраиваются путем забивки шпунтовых стенок, замораживания водона-

сыщенных грунтов, инъекции грунтов различными растворами и эмульсиями. Наиболее перспективным способом возведения вертикальных противofильтрационных преград является способ «стена в грунте», позволяющий возводить преграды в стесненных условиях, и, что немаловажно, позволяющий сократить до минимума использование под застройку сельскохозяйственных угодий.

Для возведения противofильтрационных завес способом «стена в грунте» используются самые разнообразные материалы (заполнители) [4, 5, 6]. Их выбор зависит от ряда факторов: глубины завесы, градиента напора, технологической схемы производства работ, наличия их на месте строительства, стойкости к агрессивности среды и др. Возведение завесы происходит под слоем тиксотропной суспензии в траншее, поэтому плотность материала должна быть выше плотности тиксотропной суспензии для обеспечения самопогружения материала.

Для приготовления суспензий применяют грунты, в которых мелкие частицы способны связывать и удерживать большое количество воды. Проведенные исследования показали, что многие биогенные грунты и композиционные составы на их основе могут быть успешно применены для приготовления суспензий [7].

Основная часть

Фильтрационная прочность грунтов противofильтрационных устройств должна обеспечиваться в местах выхода фильтрационного потока в более крупнозернистые грунты. Для завес, выполненных способом «стена в грунте», критическим местом является контакт тела завесы с окружающим грунтом.

Таблица 1 – Гранулометрический состав исходных грунтов и их смесей

Вид грунта	Содержание фракций, %										
	10...5	5...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	0,1...0,05	0,05...0,01	0,01...0,005	0,005...0,001	<0,001
Сапропель	–	–	–	0,1	0,2	0,8	1,0	42,1	5,5	19,1	31,2
Песок средний	–	–	3,4	17,1	63,6	10,2	5,7	–	–	–	–
Смесь 1	–	–	3,2	16,3	60,4	9,7	5,5	2,1	0,3	1,0	1,6
Смесь 2	–	–	3,1	15,4	57,3	9,3	5,2	4,2	0,6	1,9	3,1
Смесь 3	–	–	2,9	14,6	54,1	8,8	5,0	6,3	0,8	2,9	4,7
Песок средний с увеличенным содержанием пылеватых частиц	0,2	0,9	0,9	5,2	47,8	18,6	5,9	8	3,5	9	–
Смесь 4	0,2	0,9	0,9	4,9	45,4	17,7	5,65	9,71	3,58	9,56	1,56
Смесь 5	0,2	0,8	0,8	4,7	43	16,8	5,41	11,4	3,7	10	3,12
Смесь 6	0,2	0,8	0,8	4,4	40,7	15,9	5,17	13,1	3,8	10,5	4,68

Нами были проведены исследования песчано-сапропелевых смесей с содержанием 5 (смеси 1 и 4), 10 (смеси 2 и 5), 15% (смеси 3 и 6) сапропеля в смеси по массе.

В качестве исходных компонентов были использованы песок средний, сапропель, а так же песок средний с искусственно увеличенным содержанием пылеватых частиц. Составы 1, 2, 3 готовились из песка среднего и сапропеля, 4, 5, 6 – из песка с увеличенным содержанием пылеватых частиц и сапропеля. Гранулометрический состав исходных материалов и их композиций приведен в таблице 1.

Условия возникновения механической суффозии можно разделить на две категории: необходимые и достаточные. Необходимыми являются геометрические условия, достаточными – гидромеханические условия в порах грунта. При соответствующих гидродинамических условиях из толщи грунта могут выноситься частицы, максимальная величина которых определяется согласно геометрическому критерию выноса по зависимости [8, 9]

$$d_{ci} \leq 0,77 \cdot d_0^{\max} \quad (1)$$

где d_{ci} – диаметр выносимых частиц, мм;

d_0^{\max} – диаметр максимального фильтрационного хода, мм.

Если выполняется условие

$$0,77 d_0^{\max} > d_{\min} \quad (2)$$

то грунт следует отнести к суффозионным, так как из его толщи при определенных гидродинамических условиях по геометрическому критерию выноса могут выноситься все частицы с диаметрами d_{ci} .

При обратном неравенстве грунт следует считать несуффозионным, так как в данном случае при любых скоростях или градиентах фильтрационного потока вынос самых мелких частиц невозможен.

Сапропели сложены минеральными, органическими и органо-минеральными образованиями [10, 11]. По данным [12] – основным минералом легкой фракции является кластический кварц. В глинистой фракции преобладает каолинит. Основную ее часть составляют органические (40–65%) и органо-минеральные соединения. Внешне сходные с глинистыми породами сапропели содержат в тонкодисперсной фракции глинистые минералы в количестве 3–6% по массе.

Важной особенностью органического вещества, входящего в состав грунтов, является его высокая активность по отношению к минеральной составляющей. Значительная часть органического вещества находится в гелифицированной форме. Чем больше такой гелифицированной массы, тем сильнее ее влияние на свойства грунта [13]. Плотность органического вещества не превышает 1,25–1,80 г/см³ [12]. Для практических целей согласно рекомендациям [14] плотность органического вещества можно принять 1,51 г/см³.

Для определения максимальной молекулярной влагоемкости были проведены лабораторные испытания в компрессионных приборах. Максимальная молекулярная

влагоемкость при этом составила от 31 до 121% для различных видов сапропелей. Стоит отметить, что значения максимальной молекулярной влагоемкости колеблются от 44% для бентонитовых глин до 14% для гидрослюдистых глин.

Во всех исследованных видах сапропелей максимальная молекулярная влагоемкость не ниже, а у многих из них и выше, чем у бентонитовых глин, что свидетельствует о наличии в их составе большого количества активных частиц, способных связывать значительное количество воды.

Для обоснования отсутствия явлений суффозии в песчано-сапропелевых смесях произведем следующие расчеты.

Образец полностью водонасыщенного сапропеля можно разделить на три составляющие: минеральную, органическую и жидкую, т.е.

$$V = V_m + V_o + V_w \quad (3)$$

Объем, занимаемый отдельными фазами в плотном состоянии, равен:

минеральной
$$V_m = \frac{P_m}{\rho_s^m} \quad (4)$$

где P_m – масса минеральной составляющей;

ρ_s^m – плотность частиц минеральной составляющей;

органической
$$V_o = \frac{P_o}{\rho_s^o} \quad (5)$$

где P_o – масса органической составляющей;

ρ_s^o – плотность частиц органической составляющей;

водой

$$V_w = \frac{P_w}{\rho_w} \quad (6)$$

где P_w – масса воды;

ρ_w – плотность воды.

Объем твердой фазы

$$V_{m\phi} = V_m + V_o \quad (7)$$

Масса твердой фазы (сухого грунта) состоит из массы минеральной и органической составляющих

$$P_{m.\phi.} = P_m + P_o \quad (8)$$

Масса твердой фазы в единице объема равна

$$P_{m.\phi.} = \rho_d \cdot V \quad (9)$$

где ρ_d – плотность сухого грунта.

Масса минеральной составляющей

$$P_m = P_{m.ф.} \cdot \frac{D_{ash}}{100} = \rho_d \cdot V \cdot \frac{D_{ash}}{100} \quad (10)$$

где D_{ash} – степень зольности, %.

Масса органической составляющей

$$P_o = P_{m.ф.} - P_m \quad (11)$$

Для водонасыщенных сапропелей, расположенных ниже уровня грунтовых вод и в зоне капиллярного насыщения, содержанием заземленного в них воздуха можно пренебречь, так как влияние его содержания на показатели водно-физических свойств меньше точности прямого определения показателей. Тогда масса воды

$$P_w = n \cdot V \cdot \rho_w \quad (12)$$

где n – пористость в долях единицы.

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (13)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта.

Предположим, что грунт состоит из одинаковых шарообразных частиц. Объем частицы

$$V_{ч} = \frac{V_{mф}}{p} = \frac{\pi}{6} \cdot D_{ч}^3 \quad (14)$$

где $V_{mф}$ – объем твердой фазы;

p – количество частиц;

π – 3,14;

$D_{ч}$ – диаметр частицы.

Объем частицы, покрытой пленкой воды, при влажности равной молекулярной

$$V_{ч}^m = \frac{V_{общ}^m}{p} = \frac{\pi}{6} \cdot D_{общ}^3 \quad (15)$$

где $V_{общ}^m = V_{mф} + V_w^m$ – объем твердой фазы, включая объем воды, при влажности равной молекулярной;

$D_{общ}$ – диаметр частицы, покрытой пленкой воды.

Коэффициент, учитывающий уменьшение диаметра пор

$$K_1 = \frac{D_{ч}}{D_{общ}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_{mф}}{\pi \cdot p}} / \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_{общ}^m}{\pi \cdot p}} = \sqrt[3]{\frac{V_{mф}}{V_{mф} + V_w^m}} \quad (16)$$

Коэффициент, учитывающий увеличение диаметра частиц, способных выноситься из грунта

$$K_2 = \frac{1}{K_1} = \frac{D_{общ}}{D_{ч}} = \sqrt[3]{\frac{V_{mф} + V_w^m}{V_{mф}}} \quad (17)$$

Объем воды при влажности равной молекулярной

$$V_w^m = \frac{W^m \cdot V_{m\phi} \cdot \rho_s}{100 \cdot \rho_w} \quad (18)$$

где W_m – молекулярная влажность грунта, %.

Тогда диаметр выносимых частиц

$$d_{ci}^I = 0,77 \cdot d_0^{\max} \cdot K_2 \quad (19)$$

Диаметр максимального фильтрационного хода

$$d_0^{\max I} = \chi \cdot C \frac{n}{1-n} d_{17} \cdot K_1 \quad (20)$$

По расчету средний песок является практически несuffозионным, т.е. частицы могут выноситься в количестве, не нарушающем прочности грунта, что подтвердилось в результате фильтрационных исследований. Песок с увеличенным содержанием пылевых частиц является suffозионным. Во время проведения исследований с момента начала фильтрации наблюдался вынос частиц.

Фильтрационные исследования песчано-сапропелевых составов выполнялись на специально изготовленной лабораторной установке, состоящей из фильтрационного прибора, напорного бака и щита со стеклянными пьезометрами. Опыты проводили по общепринятой методике [15, 16]. Напор прикладывали ступенями таким образом, чтобы увеличение градиента составляло 0,2-0,3 на каждой ступени. Расход определяли объемным способом до стабилизации его величины.

При сопоставлении диаметра максимального фильтрационного хода среднего песка с данными гранулометрического анализа составов 1, 2, 3 видно, что вынесенными могут оказаться частицы в количестве 5-15% по массе [8]. Для составов 4, 5, 6 эта величина еще больше и составляет 24-32%. Фильтрационные параметры смесей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Фильтрационные характеристики исследованных смесей

Состав	Градиент напора	Продолжительность градиента напора, сут	K_f , см/с
Смесь 1	9,5	30	$6,3 \cdot 10^{-5}$
Смесь 2	13	30	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Смесь 3	25	30	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Смесь 4	9	30	$5,5 \cdot 10^{-6}$
Смесь 5	12	30	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Смесь 6	25	20	$1,5 \cdot 10^{-6}$

На основании вышеизложенного видно, что песчано-сапропелевые смеси могут применяться для строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте» для низконапорных гидротехнических сооружений.

Республика Беларусь располагает большим количеством сапропелепродуктивных озер, запасы сапропелей которых предположительно составляют 2,6 млрд. м³, из них по областям: Брестская – 137,2 млн. м³, Витебская – 1879,4

млн. м³, Гомельская – 88,8 млн. м³, Гродненская – 187,2 млн. м³. Примечание: Величина градиента напора для составов 3 и 6 была ограничена возможностями фильтрационной установки, деформаций составов добиться не удалось.

ненская – 81,6 млн. м³, Минская – 394,1 млн. м³, Могилевская – 16,9 млн. м³ [17].

Разведанные запасы сапропелей в республике составляют 75%. Высокий процент разведанности объясняется тем, что оценка ресурсов выполнена преимущественно для крупных озер, в то время как в республике преобладают в основном малые по площади водоемы (до 20 га). Изученность малых водоемов невелика и колеблется по областям от 2,9 до 12,0%.

Территориальное распределение запасов сапропелей и результаты выполненных ранее исследований (тиксотропных, прочностных, фильтрационных) указывают на целесообразность использования сапропелей при строительстве противофильтрационных завес способом «стена в грунте» [18].

Заключение

Получена усовершенствованная методика оценки фильтрационной устойчивости противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте» путем обратной засыпки траншеи песчаным грунтом, извлекаемым при разработке траншеи под защитой тиксотропной суспензии на основе сапропеля. Отличие методики состоит в том, что предложено принимать при расчетах фильтрационной устойчивости размеры диаметров частиц, определяемых по результатам гранулометрического состава, с учетом толщины пленки прочносвязанной воды, то есть рассматривать частицу вместе с пленкой, как твердую частицу грунта. Получены зависимости, позволяющие уточнить расчетные диаметры частиц и пор.

Литература

1. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
2. Железняков, Г.В. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика / Г.В. Железняков [и др.]; под общ. ред. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
3. Бриллинг, И.А. Исследование переноса водных солевых растворов в порах глинистых грунтов /И.А. Бриллинг // Вестник МГУ. Сер. геол. – 1967. – №2. – С. 90-99.
4. Мещеряков, А.Н. Противофильтрационные и несущие стенки в грунте / А.Н. Мещеряков, В.Б. Хейфец. – М.: Энергия, 1969. – Вып. 10: Библиотека гидротехника и гидроэнергетика. – 94 с.
5. Руководство по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте» / НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1977. – 128 с.

6. Траншейные стенки в грунтах / Н.Н. Круглицкий [и др.]; под ред. Ф.Д. Овчаренко. – Киев: Наукова думка, 1973. – 304 с.
7. Боровиков, А.А. Исследование буровых суспензий на основе сапропеля для строительства противofильтрационных завес способом «стена в грунте» / А.А. Боровиков // Социально-экономические и экологические проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 150-летию закладки первого гончарного дренажа на террит. России, Горки, 29–31 мая 2003 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, – 2004. – С. 190–193.
8. Дрозд, П.А. Фильтрационная устойчивость грунтов и подбор обратных фильтров для мелиоративных сооружений / П.А. Дрозд, Ю.Ф. Буртыс. – Мн.: Урожай, 1967. – 51 с.
9. Патрашев, А.Н. Проект инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений / А.Н. Патрашев, Г.Х. Праведный. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963.
10. Рубинштейн, А.Я. Биогенные грунты / А.Я. Рубинштейн. – М.: Наука, 1986. – 87 с.
11. Рубинштейн, А.Я. Инженерно-геологические особенности сапропелевых отложений / А.Я. Рубинштейн. – М.: Наука, 1971. – 128 с.
12. Грунтоведение / Е.М. Сергеев [и др.]; под ред. Е.М. Сергеева. – М.: МГУ, 1983. – 392 с.
13. Лысенко, М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов / М.П. Лысенко. – 2-е изд. – М.: Недра, 1980. – 272 с.
14. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям болотных отложений под сооружениям / Сост. П.К. Черник [и др.]. / БелНИИМиВХ. – Мн., 1977. – 28 с.
15. Истомина, В.С. Фильтрационная прочность глинистых грунтов / В.С. Истомина, В.В. Буренкова, Г.В. Мишурова. – М.: Стройиздат, 1975. – 220 с.
16. Нестеров, М.В. Фильтрационная устойчивость пылеватых песков / М.В. Нестеров, Д.П. Коган, В.Ф. Ильиненко // Сб. науч. тр. / БСХА. – Горки, 1983. – Вып. 103: Мелиорация и гидротехника в БССР. – С. 61–68.
17. Лопотко, М.З. Сапропели в сельском хозяйстве / М.З. Лопотко, Г.А. Евдокимова, П.Л. Кузьмицкий; под ред. Н.Н. Бамбалова. – Минск.: Навука і тэхніка, 1992. – 216 с.
18. Нестеров, М.В. Применение противofильтрационных завес, возводимых методом «стена в грунте» с использованием сапропелей: рекомендации / М.В. Нестеров, А.А. Боровиков, Д.М. Лейко. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2002. – 80 с.

Summary

Borovikov A.A.

SANDY SOIL RECLAMATION BY SUSPENSIONS OF SAPROPEL

Sapropels are characterized by the ability to bind a large number of physically bound water and its amount in some types of sapropel is higher than in mineral soils. As a result of the calculations it is obtained the depending which takes into account changes in soil and pore size particles capable to be gone out of it, due to the formation of slicks around the bound water.

Поступила 1 февраля 2012 г.