УДАЛЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ ВОД НА СЛОЕ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА В НАСЫПНОМ ФИЛЬТРЕ

REMOVAL OF OIL PRODUCTS FROM THE MODEL WATER ON THE LAYER OF EXPANDED PERLITE IN A BULK FILTER

Представлены результаты исследований возможности использования вспученного перлита в насыпном фильтре в процессе очистки нефтесодержащих стоков. Проведены лабораторные исследования по изучению фильтрующе-сорбционных свойств этого материала с целью глубокой очистки нефтесодержащих вод. Определено влияние на степень очистки стоков фракционного состава вспученного перлита, концентрации и фазового состояния нефтепродуктов в воде, температуры воды, гидродинамических условий, а также времени контакта сорбента с очищаемой водой. Установлены области применения различных фракций вспученного перлита для грубой и для тонкой механической очистки. В динамических условиях определены значения нефтеемкости вспученного перлита смеси фракций 2...5 и 5...15 мм, причем часть нефтепродуктов была поглощена материалом необратимо. Определены исходные данные для разработки технологии очистки нефтесодержащих сточных вод, где в качестве загрузки промышленных фильтров грубой и тонкой очистки предложено использовать слой вспученного перлита соответствующих фракций.

Ключевые слова: нефтесодержащие воды, насыпной фильтр, вспученный перлит, динамическая нефтеемкость, остаточная концентрация.

The article presents the results of the author's long-termed research on the study of expanded perlite to be used in the pressure bulk filter in the process of oil containing wastewaters treatment. The laboratory investigations on filter-sorption properties of expanded perlite for the purpose of deep fine treatment of oil containing water were carried out. The effect of fractional composition of expanded perlite, concentrations and oil products phase state in water, water temperature, hydrodynamic conditions as well as sorbent contact time with feed water on the degree of extraction of oil products is identified. The application field for expanded perlite different fractions is defined both for rough and fine mechanical treatment. In dynamic conditions, values of oil capacity of expanded perlite are determined for the mixes of fractions 2 ... 5 and 5 ... 15 mm, and along with this, oil products were partly irreversibly absorbed by the material. Basic data for development of purification technology of oil-containing sewage are determined, where it is offered to use a layer of expanded perlite of relevant fractions as industrial filters loading for rough and fine mechanical treatment.

Keywords: oil containing wastewater, pressure bulk filter, expanded perlite, dynamic oil capacity, residual concentration.

На сегодняшний день одним из приоритетных направлений в области охраны окружающей среды является разработка эффективного и экономичного способа глубокой очистки сточных вод от нефтепродуктов. Острая необходимость

решения этой проблемы продиктована не только большим объемом нефтесодержащих стоков, но и малыми значениями ПДК нефтепродуктов.

Для всех нефтесодержащих сточных вод характерна такая важная особенность, как непо-

стоянство состава и концентраций входящих в их состав нефтепродуктов. По этой причине, а также из-за наличия в воде твердых взвешенных глинистых веществ, на которых, вероятно, селективно сорбируются нефтепродукты, для очистки стоков от нефтепродуктов традиционно применяется технология с последовательным использованием различных физико-химических процессов, конечной стадией которой является двухступенчатое фильтрование через зернистые материалы.

Как правило, на первой ступени используют фильтры, загруженные дробленным антрацитом, или фильтры с двухслойной загрузкой из песка и антрацита. Известны также случаи использования трех- и пятислойных загрузок из данных материалов. На второй ступени очистку проводят на намывных или насыпных фильтрах. В первом случае в качестве насадки используются такие материалы, как диатомит, асбест, целлюлоза, древесный уголь, кокс, полукокс, глины, цеолиты, тонкодисперсные золы, фильтроперлит и др., а во втором — активированный уголь [1–6]. Несмотря на то что данная технология применяется уже достаточно давно, до сих пор не разработаны эффективные и рациональные способы регенерации фильтров с активированным углем [7]. Кроме того, еще одним ее минусом является то, что отработанный материал с трудом выгружается пневмогидротранспортом, что влечет за собой определенные проблемы, связанные с его ручной выгрузкой. Таким образом, все это указывает на необходимость поиска приемлемого заменителя дробленого антрацита и активированного угля. С этой целью нами были исследованы порошковые, волокнистые и сыпучие материалы, способные извлекать нефтепродукты из сточных вод [7].

Требованиям, предъявляемым к материалам с фильтрующе-сорбционными свойствами, из всех изученных материалов удовлетворяет вспученный перлит, так как он устойчив к механическим нагрузкам и химическому разрушению, имеет низкую плотность и высокоразвитую поверхность: его пористость составляет 85...90 %, а удельная поверхность — $5 \cdot 10^5$ м²/кг. Каждая гранула вспученного перлита включает одну или несколько ячеек или частей ячеек, где ячейка является, по существу, полым пространством, ча-

стично или полностью окруженным стенками из стекла, обычно образовавшимися в процессе вспучивания при расширении газов, содержащихся в природном перлите. Наличие заполненных газом или пустых ячеек в данном объеме стекла приводит к меньшей плотности материала во влажном состоянии, чем в случае такого же объема твердого стекла. Если ячейки закрытые и в них содержится воздух, то частицы перлита могут всплывать на поверхность очищаемой жидкости. Разрушение перлита, например, путем измельчения может создать сложную ячеистую структуру с низкой плотностью во влажном состоянии и также обеспечить полезные свойства для его применения в процессе фильтрации. Однако избыточное измельчение может разрушить сложные ячеистые структуры, что приведет к повышенной плотности во влажном состоянии с одновременным снижением фильтрующей функции, полученной в силу структурных особенностей [8].

Вспученный перлит можно отнести к группе макропористых сорбентов, которые содержат открытые, закрытые и сообщающиеся поры [9]. При этом объем сообщающихся пор размером 0,5...1,0 мм составляет 10...25 %, что положительно сказывается на внутридиффузионном переносе извлекаемого вещества вглубь гранул сорбента. Значения удельной поверхности вспученного перлита составляют 1,33 м²/г по воде и 2,42 м²/г — по бензолу [10].

Указанные характеристики предопределяют адгезионные и сорбционные свойства вспученного перлита, что дает возможность использовать его для извлечения из воды таких крупномолекулярных загрязнений, как нефтепродукты.

В данной статье представлены результаты, полученные в ходе изучения поведения разных фракций вспученного перлита в насыпном фильтре (адсорбере) (рис. 1) в процессе очистки модельных вод от нефтепродуктов.

Предполагается, что на возможность применения вспученного перлита в качестве фильтрующе-сорбирующего материала оказывает влияние степень дисперсности [1]. Определенную роль при этом играют также размеры частиц нефтепродуктов, подлежащих удалению, и скорость движения потока. Известно, что с увеличением размера частиц фильтрующего

Рис. 1. Схема лабораторного фильтра (адсорбера):
1 — адсорбер; 2 — стержень; 3, 6 — крепление сетки;
4, 7 — сетка латунная; 5 — слой сорбента

материала и скорости потока жидкости фильтрующая способность материала снижается [11]. И, напротив, с уменьшением дисперсности загрузки и скорости протекания очищаемой жидкости степень очистки возрастает. Кроме того, на эксплуатационные свойства может оказывать влияние средний и максимальный размеры зерен вспученного перлита, а также их распределение по размерам. Так, например, в фильтрующей загрузке средний размер частиц может влиять на свободный объем, распределение частиц по размерам и, что немаловажно, на полученную в фильтре плотность засыпки. А максимальный размер частиц может быть причиной хрупкого повреждения или растрескивания [12].

Подготовку модельной воды осуществляли путем растворения в дистиллированной воде навески смеси нефтепродуктов (компрессорного, трансформаторного и турбинного масел). С учетом того, что содержание нефтепродуктов в модельной воде при хранении стихийно изменяется, очевидно, вследствие протекания процессов

осаждения и необратимой сорбции нефтепродуктов на внутренней поверхности стеклянной тары, их концентрацию в заранее приготовленном образце определяли непосредственно до очистки, а после очистки контролировали остаточное содержание. Применяли гравиметрический и фотоколориметрический методы анализа [13]. По разности исходной $C_{исх}$ и остаточной $C_{ост}$ концентраций рассчитывали степень извлечения нефтепродуктов A , %. Водородный показатель воды pH определяли потенциометрическим методом [13] при помощи иономера «Анион 4100» с точностью $\pm 0,2$ единицы pH . Учитывая влияние водородного показателя и температуры на эффективность очистки, значение pH поддерживали в диапазоне 6,9...7,1, а температуры — $+20^\circ C$.

Процесс фильтрования модельной воды заключался в следующем: открывали воду на фильтр, устанавливали ее расход и уровень по маностату и при заданных параметрах снизу через фильтрующий слой пропускали загрязненную воду, сверху собирали очищенную и анализировали ее на содержание нефтепродуктов. Результаты анализов отражены на рис. 2.

Полученные в ходе лабораторного исследования результаты позволили сделать вывод о том, что степень очистки воды зависит от ее удельного расхода, причем немаловажную роль в данном случае играет фракционный состав фильтрующей загрузки. На основании опытов были выбраны оптимальные размеры загрузки. Так, при удельном расходе воды менее $7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и использовании загрузки высотой 120 мм, состоящей из смеси фракций 2...5 и 5...15 мм, количество нефтепродуктов в очищенной воде соответственно составило 0,1...0,3 и 1,1...1,9 мг/л, а значения степени очистки — 95,58 и 72,06 %.

Следует отметить, что приведенные выше показатели качества воды достигали своих значений лишь спустя некоторое время после начала работы фильтра, в то время как в начальный период фильтрования [7] показатели степени очистки были ниже. Это объясняется особенностями структуры вспученного перлита, являющегося гидрофильным материалом. Известно, что процесс очистки нефтесодержащих сточных вод основан на адгезии диспергированных и адсорбции растворенных нефтепродуктов на

поверхности загрузки [14]. Однако вследствие наличия пленки воды на поверхности зерен вспученного перлита последние не могут смачиваться гидрофобными частицами нефтепродуктов [7]. Так как гидрофильные свойства отдельных участков поверхности зерен перлита неодинаковые и составляют так называемую «мозаичность» [7] поверхности, то частицы нефтепродуктов задерживаются прежде всего на тех участках, где слабо выражены гидрофильные свойства и минимальна толщина гидратной оболочки [15]. Такими участками являются острые углы, выступы, мельчайшие трещины и неровности на поверхности перлитовых зерен; ребра, атомы которых имеют меньше связей, чем атомы, находящиеся на гранях; участки, на которых атомы и молекулы вследствие трения зерен при перемешивании перегруппируются в менее упорядоченную структуру с большой потенциальной энергией.

Далее частицы нефтепродуктов постепенно оттесняют пленку воды, покрывая поверхность вспученного перлита полностью. Поверхность материала становится олеофильной, в результате чего молекулы загрязнителей легко прилипают к ней [14]. С учетом того, что перенос массы вещества возникает между областями с разными химическими потенциалами, а в изотермических условиях их разность является однозначной функцией от разности концентраций, можно утверждать, что процесс сорбционной очистки представляет собой совокупность трех последо-

вательных стадий: внешнего переноса молекул нефтепродуктов из потока воды к поверхности зерен вспученного перлита, внутренней диффузии молекул от поверхности по порам различного сечения вглубь зерен и установления адсорбционного равновесия [7].

Также было определено, что с увеличением удельного расхода воды гидравлическое сопротивление фильтрующего слоя возрастает. Однако использование загрузок с разным фракционным составом существенно не влияет на перепад давления (табл. 1), очевидно, вследствие того, что при вышеуказанных расходах линейные скорости воды в адсорбере низкие, а гидродинамический режим потока — ламинарный. Для подтверждения этого была проведена количественная оценка режима движения жидкости в адсорбере с помощью числа Рейнольдса Re , характеризующего соотношение сил инерции и вязкости в потоке, действующих всегда на жидкие макрочастицы в его составе, возможно, вместе с внешними силами, например силами гравитации и давления. Для практических расчетов можно полагать, что при $Re < 2300$ — режим ламинарный и в потоке преобладают силы трения; при $Re > 2300$ — режим турбулентный, а в потоке преобладают силы инерции.

Критерии Рейнольдса Re_1 и Re_2 при удельных расходах воды 6,4 и 0,54 м³/(м² · ч), соответственно, характеризующие гидродинамический режим потока в заполненном вспученным перлитом адсорбере и рассчитанные по формуле

Рис. 2. Зависимость степени очистки A , %, от удельного расхода воды для фильтрующего слоя смеси различных фракций вспученного перлита

Таблица 1

**Показатели гидравлического
сопротивления фильтрующей массы
при различных расходах модельной
сточной воды**

Удельный расход воды, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Сопротивление, мм вод. ст., фильтрующего слоя сорбента смеси фракций	
	2...5 мм	5...15 мм
6,4	320	317
5,75	230	220
4,79	220	212
3,83	140	121
2,3	100	94
2,13	100	93
1,64	70	63
0,54	15	11

$$Re = WD\rho / \mu,$$

где W — линейная скорость воды, соответствующая данному расходу, м/с; D — диаметр фильтра, м; μ — динамический коэффициент вязкости воды при температуре 20 °С; ρ — плотность воды, кг/м³, имели следующие значения: $Re_1 = 384,42$; $Re_2 = 28,5$ [7]. Отсюда следует, что вода проходит через фильтрующий слой в ламинарном режиме [16].

В ходе лабораторных исследований также было выявлено, что на процесс фильтрования также оказывает влияние температура модельной воды: при ее понижении значительно повышается эффективность удаления нефтепродуктов (табл. 2). Так, при удельном расходе $7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, температуре воды 60 °С и исходной концентрации нефтепродуктов 6,80 мг/л значения степени очистки на сорбенте смеси фракций 2...5 и 5...15 мм составили 91,91 и 39,71 % соот-

Таблица 2

**Влияние температуры фильтруемой воды
на степень очистки**

Температура, °С	Степень очистки, %	
	Смесь фракций 2...5 мм	Смесь фракций 5...15 мм
60	91,91	39,71
40	94,41	63,23
20	95,41	72,06
10	95,12	71,78

ветственно, в то время как при температуре 20 °С данные показатели составляли 95,41 и 71,78 %.

Полученные результаты соответствуют литературным данным, согласно которым вязкость нефтепродуктов уменьшается при повышении температуры, в результате чего в процессе фильтрования они легче стекают в последующие по направлению движения воды слои сорбента. За счет этого более полно используется весь объем фильтрующего слоя, но снижается эффективность очистки [7].

Полученные данные свидетельствуют о том, что при удельном расходе модельной воды менее $7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и температуре 20 °С снижение концентрации нефтепродуктов в фильтрате с 0,30 мг/л до их полного удаления [7] может быть достигнуто за счет большего времени контакта загрязненной воды с перлитом или за счет увеличения высоты сорбирующего слоя.

Для определения оптимальной высоты фильтрующего слоя в адсорбере (см. рис. 1) сорбент был разделен [7] на шесть слоев латунными сетками. Загрузку адсорбера проводили сверху, по мере заполнения каждого слоя. Разборку и удаление слоев сорбента выполняли в обратном порядке. Содержание нефтепродуктов в заранее приготовленном образце модельной воды, определенное непосредственно до начала очистки, составило 100,0 мг/л. Фильтрование проводили через слой вспученного перлита смеси фракции 2...5 мм. Высота слоя составляла 115 мм. При удельном расходе $6...7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ [7] до проскока нефтепродуктов в фильтрат было отфильтровано 20 л модельной воды с температурой 20 °С. Перед разборкой слоев через адсорбер сверху вниз была пропущена водопроводная вода, анализ которой показал отсутствие частиц нефтепродуктов, что говорит о достаточной прочности их связывания со вспученным перлитом.

После того как установка была разобрана, слои сорбента были взвешены и подвергнуты экстракции. В качестве экстрагента использовали тетрагидрид углерода. Результаты экспериментов приведены в табл. 3 и на рис. 3.

Согласно данным табл. 3 первым слоем загрузки высотой 21 мм было поглощено 62 % нефтепродуктов. Исследования показали, что между частицами фильтрующей массы имеется 30 % свободного объема, часть которого занята

Таблица 3

Зависимость количества извлеченных нефтепродуктов от высоты фильтрующего слоя

Параметр	Показатель по слоям						
	1	2	3	4	5	6	Всего
Высота слоя сорбента H , мм	21	21	19	18,5	17,5	18	115
Масса слоя, г	5,4	5,4	3,51	2,79	1,91	2,51	21,52
Количество извлеченных нефтепродуктов, мг (удельное, мг/г)	46,54 (8,6)	11,34 (2,1)	6,58 (1,87)	5,01 (1,79)	3,05 (1,60)	2,54 (1,01)	75,06 (16,97)

связанной с перлитом водой и обновляется сравнительно медленно [7]. Остальная часть объема (не менее 20 %) занята несвязанной водой и представляет так называемое «живое сечение», по которому и происходит движение воды при фильтровании.

В процессе фильтрования нефтесодержащей воды частицы нефтепродуктов улавливаются первым по направлению потока слоем сорбента, заполняют часть его пор и насыщают этот объем [15]. Таким образом, данный слой сорбента уже не может удерживать дополнительное количество нефтепродуктов, и они в виде пленки стекают по стенкам каналов слоя в направлении потока воды. В какой-то момент времени в дан-

ном сечении слоя устанавливается равновесие между количеством нефтепродуктов, прилипающих к поверхности слоя, и количеством нефтепродуктов, стекающих из этого слоя в виде пленки в последующие слои, т. е. происходит максимальное насыщение слоя. С течением времени фронт максимальной насыщенности сдвигается к верхней границе насадки [7], вследствие чего концентрация нефтепродуктов в фильтрате увеличивается. Это является сигналом для отключения установки.

Предположим, что количество обратимо поглощенных перлитом или извлеченных тетрагидридом углерода нефтепродуктов пропорционально количеству связанного нефтепродукта, тогда можно рассчитать количество нефтепродуктов, поглощенных вспученным перлитом по слоям. Так, если через фильтр было пропущено 20 л воды с содержанием нефтепродуктов 100 мг/л, а в очищенной воде их концентрация составила 0,3 мг, то вспученным перлитом всего задержано $2000 - 6 = 1994$ мг нефтепродуктов, из них 62 % обратимо поглощено первым слоем высотой 21 мм. Тогда в среднем первом слое поглощено нефтепродуктов 22,89 % от его массы. Если учитывать, что в самом верху первого слоя удельное содержание нефтепродуктов падает снизу вверх, то окажется, что самой нижней его частью, несомненно, поглощено больше 62 %.

С использованием метода экстраполяции зависимости количества удельно извлеченных (поглощенных) сорбентом нефтепродуктов от высоты его слоя по ординате «0» было получено значение высоты слоя вспученного перлита, при котором в очищенной воде нефтепродукты отсутствуют. Эта высота составила 210 мм. Особого внимания заслуживает тот факт, что часть нефтепродуктов поглощается вспученным перлитом

Рис. 3. Зависимость количества удельно извлеченных (поглощенных) нефтепродуктов от высоты фильтрующего слоя

Рис. 4. Зависимость содержания нефтепродуктов в очищенной воде от объема отфильтрованной воды

необратимо [7]. Само по себе это не вызвало бы такого интереса, однако имеют место конкретные рекомендации [17], согласно которым количество нефтепродуктов в воде определяется путем адсорбции из нее перлитом, а затем их экстракцией из перлита тетрахлоридом углерода.

Сорбционная способность вспученного перлита смеси фракций 2...5 и 5...15 мм оценивалась в динамических условиях на модельных водах с содержанием 73,30 и 71,60 мг/л нефтепродуктов. Во избежание всплывания и уноса частиц сорбента, а также для равномерной подачи воды над фильтрующим слоем была закреплена латунная сетка. Аналогичная сетка была расположена на высоте 3 см от слоя сорбента и использовалась в качестве орошителя, способствующего равномерному поступлению воды сверху. Фильтрование загрязненной воды проводилось при средней объемной скорости 1 л/ч. Установка была отключена, когда содержание нефтепродуктов в очищенной воде составило 0,3 и 1,9 мг/л для сорбента смеси фракций 2...5 и 5...15 мм соответственно. Результаты анализов очищенной воды приведены на рис. 4.

Полученные экспериментальные данные сделали возможным определить расчетным путем значение динамической нефтеемкости вспученного перлита. Расчет был выполнен по формуле

$$E_{\text{динам}} = \frac{\tau V (C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}})}{M},$$

где τ — продолжительность фильтрации, дни; V — объем профильтрованной воды за сутки, л; $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{ост}}$ — соответственно средние концентрации нефтепродуктов в сточной воде до и после очистки, мг/л; M — масса сорбента, г.

В результате получены следующие значения динамической нефтеемкости: 0,40 и 0,39 г/г для смеси фракций вспученного перлита 2...5 и 5...15 мм соответственно. Аналогичные результаты были получены путем взвешивания образцов отработанного сорбента после сушки.

Таким образом, результаты проведенных исследований указали на возможность использования вспученного перлита в процессе очистки нефтесодержащих вод в насыпном фильтре. Кроме того, выявлено, что на степень очистки вод влияют такие факторы, как фракционный состав вспученного перлита, концентрация и фазовое состояние нефтепродуктов в воде, температура воды и гидродинамические условия. На основании проделанного были определены исходные данные для разработки технологии очистки нефтесодержащих сточных вод [18], где в качестве загрузки промышленных фильтров грубой и тонкой очистки предложено использовать слой вспученного перлита соответствующих фракций.

Библиографический список

1. Сироткина Е. Е., Новоселова Л. Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефте-

продуктов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 359–377.

2. Салахутдинова А. Р. Методы очистки производственных сточных вод с использованием различных сорбентов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2011. № 1 (1). С. 108–111.

3. Веприкова Е. В., Терещенко Е. А., Чесноков Н. В., Щипко М. Л., Кузнецов Б. Н. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2010. Т. 3. № 3. С. 285–304.

4. Климов Е. С., Бузаева М. В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.

5. Артемьев А. В., Пинкин А. В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: Химия и экология. 2008. № 1. С. 19–25.

6. Собгайда Н. А. Сорбционные материалы для очистки сточных и природных вод от нефтепродуктов // Вестник ХНАДУ. 2011. № 52. С. 120–124.

7. Варданыан М. А. Доочистка нефтесодержащих сточных вод сорбционным методом на вспученном перлите и разработка технологии: дис. ... канд. техн. наук. Ереван, 2001. 144 с.

8. Варданыан М. А., Вардересян Г. Ц., Сираканыан М. А. и др. Выбор местных фильтрующе-сорбционных материалов для очистки сточных вод от нефтепродуктов: тезисы докл. IV Междунар. конгресса «Вода: Экология и Технология» 30 мая — 2 июня 2000 г. М., 2000. С. 481.

9. Перлиты: сб. статей / отв. ред. В. В. Наседкин, В. П. Петров. М.: Наука, 1981. 296 с.

10. Крупа А. А. Физико-химические основы получения пористых материалов из вулканических стекол. Киев: Вища школа, 1978. 136 с.

11. Kadey F. L. Jr. Perlite // Industrial Minerals and Rocks. 5th ed. Vol. 2. Ed. by S. J. Lefond. New York: AIME, 1983. Pp. 997–1015.

12. Trivedi N. C., Hagemeyer R. W. Filters and coating // Industrial Minerals and Rocks. 6th ed. Ed. by D. D. Carr Littleton. CO: SME, 1994. Pp. 483–495.

13. Лурье Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. М.: Химия, 1974. 334 с.

14. Тарасевич Ю. И. Физико-химические основы и технологии применения природных и модифицированных сорбентов в процессе очистки воды // Химия и технология воды. 1998. Т. 20. № 1. С. 36–38.

15. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев.: Наукова думка, 1981. 207 с.

16. Жужиков В. А. Фильтрование. М.: Химия, 1971. 440 с.

17. Бродский Е. С., Савчук С. А. Определение нефтепродуктов в объектах окружающей среды // Журнал аналитической химии. 1998. № 12. С. 27.

18. Вардересян Г. Ц., Варданыан М. А., Сираканыан М. А., Тагмазян К. Ц. Разработка технологии для очистки сточных вод ГРЭС от нефтепродуктов сорбционным методом: сб. материалов годичной науч. конф. ГИУА 27–28 октября 1998 г. Ереван, 1998. С. 37.

References

1. Sirotkina E. E., Novoselova L. Yu. *Materialy dlya adsorbtsionnoy ochistki vody ot nefti i nefteproduktov* [Materials for sorption treatment of water of oil and oil products]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya – Chemistry in sustainable development interests*, 2005, no. 13, pp. 359–377.

2. Salakhutdinova A. R. *Metody ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod s ispol'zovaniem razlichnykh sorbentov* [Methods of treatment of industrial wastewater using various sorbents]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya – Engineering-Construction Bulletin of the Pre-Caspian Region*, 2011, no. 1 (1), pp. 108–111.

3. Veprikova E. V., et al. *Osobennosti ochistki vody ot nefteproduktov s ispol'zovaniem neftyanykh sorbentov, fil'truyushchikh materialov i aktivnykh ugley* [Features of purifying water of oil products, filtering materials, and active carbon materials]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya – Journal of the Federal Siberian University. Ser.: Chemistry*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 285–304.

4. Klimov E. S., Buzaeva M. V. *Prirodnye sorbenty i kompleksy v ochistke stochnykh vod* [Natural sorbents and complexons in waste water treatment]. *Ulyanovsk, UISTU Publ.*, 2011, 201 p.

5. Artemov A. V., Pinkin A. V. *Sorbtsionnye tekhnologii ochistki vody ot neftyanykh zagryazneniy* [Sorption water treatment technologies for purifying water of oil contamination]. *Voda: Khimiya i ekhologiya – Water: Chemistry and ecology*, 2008, no. 1, pp. 19–25.

6. Sobgayda N. A. *Sorbtsionnye materialy dly aochistki stochnykh i prirodnykh vod ot nefteproduktov* [Sorption materials for purifying water of oil products]. *Vestnik KhNADU – Bulletin of KhNADU*, 2011, no. 52, pp. 120–124.

7. Vardanyan M. A. *Doochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod sorbtsionnym metodom na vspuchennom perlite i razrabotka tekhnologii: dis. kand. tekhn. nauk* [Additional treatment of oil containing sewerage water by the sorption technique using expanded perlite and technology development. PhD in Sci. Tech. diss.], Erevan, 2001, 144 p.

8. Vardanyan M. A., et al. *Vybor mestnykh fil'truyushche-sorbtsionnykh materialov dlya ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov. Trudy IV Mezhdunar. kongres-*

sa «Voda: Ehkologiya i Tekhnologiya» [Selection of local filter-sorption materials for waste water treatment of oil products. Proc. of the IV Int. congress "Water: Chemistry and ecology"]. Moscow, 2000, 481 p.

9. *Perlity. Sb. Statey* [Perlite. Coll. of works]. Ed. by Nasedkin V. V., Petrov V. P. Moscow, Nauka Publ., 1981, 296 p.

10. Krupa A. A. *Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya poristyykh materialov iz vulkanicheskikh stekol* [Physical-chemical properties of producing porous materials from volcanic glass]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1978, 136 p.

11. Kadey F. L. Jr. Perlite. *Industrial Minerals and Rocks*. The 5th ed., vol. 2. Ed. by S. J. Lefond. New York, AIME Publ., 1983, pp. 997–1015.

12. Trivedi N. C., Hagemeyer R. W. Filters and coating. *Industrial Minerals and Rocks*. The 6th ed. Ed. by D. D. Carr Littleton. CO SME Publ., 1994, pp. 483–495.

13. Lur'e Yu. Yu., Rybnikova A. I. *Khimicheskiy analiz proizvodstvennykh stochnykh vod* [Chemical analysis of industrial waste water]. Moscow, Khimiya Publ., 1974, 334 p.

14. Tarasevich Yu. I. *Fiziko-khimicheskie osnovy i tekhnologii primeneniya prirodnikh i modifitsirovannykh*

sorbentov v protsesse ochistki vody [Physical-chemical basics and technologies of using natural and modified sorbents in the water treatment processes]. *Khimiya i tekhnologiya vody – Water chemistry and technology*, 1998, vol. 20, no. 1, pp. 36–38.

15. Tarasevich Yu. I. *Prirodnye sorbenty v protsessakh ochistki vody* [Natural sorbent materials used in water treatment process]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1981, 207 p.

16. Zhuzhikov V. A. *Fil'trovanie* [Filtering]. Moscow, Khimiya Publ., 1971, 440 p.

17. Brodskiy E. S., Savchuk S. A. *Opredelenie nefteproduktov v ob'ektakh okruzhayushchey sredy* [Defining oil products in the objects of the environment]. *Zhurnal analiticheskoy khimii – Analytical Chemistry Journal*, 1998, no. 12, p. 27.

18. Varderesyan G. Ts., Vardanyan M. A., Sirakan-yan M. A., Tagmazyan K. Ts. *Razrabotka tekhnologii dlya ochistki stochnykh vod GREhS ot nefteproduktov sorbtionnym metodom. Proc. of the annual sci. conf. of GIUA* [Development of technology of HPS waste water treatment from oil products with sorption method]. Erevan, GIUA Publ., 1998, p. 37.