

УДК 556.535.8

UDC 556.535.8

**ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

**THE FILTRATION PROPERTIES FEATURES OF TECHNOGENIC DEPOSITS**

Тихонов Владимир Павлович  
к.г.-м.н.

Tihonov Vladimir Pavlovich  
Cand.Geol.-Min.Sci.

Караваева Татьяна Ивановна  
к.г.-м.н.  
*Естественнаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Россия*

Karavaeva Tatyana Ivanovna  
Cand.Geol.-Min.Sci.  
*Natural Science Institute of Perm State National Research University, Perm, Russia*

Проведенные исследования техногенных песчаных отложений, образующихся после отработки драгами месторождений в долинах рек, позволили установить значительную неоднородность фильтрационных свойств элементарных слоев песка различного гранулометрического состава. Особенности строения массива техногенных образований создают большую емкость поглощения взвешенных глинистых частиц и условия для очистки воды за счет адсорбции

The studies of synthetic sand deposits formed after working dredges deposits in river valleys, have established significant heterogeneity of filtration properties of elementary layers of sand of different grain size distribution. The features of the structure of the array of man-made structures provide a large capacity of absorption of suspended clay particles and the conditions for water purification by adsorption

Ключевые слова: ПЕСЧАНЫЙ МАССИВ, ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, ОЧИСТКА ВОДЫ

Keywords: SANDS, FILTRATION PROPERTIES, WATER PURIFICATION

Разработка месторождений полезных ископаемых как сложнейший вид хозяйственной деятельности часто приводит к нарушениям целостности и качества лито- и гидросферы, негативным экологическим последствиям. Требования по рациональному использованию биологических и водных ресурсов, предотвращению их истощения и загрязнения относятся к важнейшим экологическим условиям разработки месторождений. Последствия разработки россыпных месторождений в долинах рек, характеризующихся, высокой глинистостью отложений, заключаются в загрязнении водотока взвешенными глинистыми частицами, уничтожении кормовой базы рыб, собственно ихтиофауны, рекреационных и туристских зон, ландшафтных визуальных доминант и распространяются далеко за пределы месторождения. Экологически безопасное недропользование во многом обеспечивается использованием эффективных систем очистки сточных вод. Анализ существующих в

горнодобывающей промышленности способов очистки сточных вод от взвешенных веществ показал, что применяемые при разработке россыпных месторождений в долинах рек системы очистки не позволяют соблюдать нормы допустимых концентраций взвешенных веществ в водотоках, либо являются экологически опасными или экономически неэффективными. Традиционный метод отстаивания не обеспечивает достаточную степень очистки воды. Существенными недостатками также являются необходимость отчуждения значительных площадей и затраты, связанные со строительством и эксплуатацией отстойных водоемов. Опасность химического загрязнения не позволяет использовать методы флокуляции и коагуляции на водоемах рыбохозяйственного назначения. Электрохимические методы очистки требуют значительного расхода электроэнергии. Большие объемы водопотребления и водоотведения при разработке месторождений в долинах рек (до 17 280 м<sup>3</sup>/сутки для 250-литровой драги) исключают возможность использования промышленных серийных фильтров. Альтернативой существующим способам очистки сточных вод от взвешенных веществ может быть использование особенностей состава и строения аллювиальных отложений, измененных в процессе извлечения полезного ископаемого [3, 5, 9, 10, 11].

В результате разработки драгой россыпных месторождений в долине реки образуются техногенные песчано-гравийные отложения, обладающие новыми свойствами. После отработки драгой аллювиальные и делювиальные отложения долины реки оказываются перераспределенными на крупные стачерные отвалы, сформированные частично над поверхностью воды дражного водоема и мелкие эфельные песчано-гравийные отложения. Среди техногенно-измененных образований наибольший практический интерес для сооружения фильтрационно-сорбционных систем представляют пески различной крупности. Свойства этих образований значительно отличаются от свойств

аллювиальных песков речных долин. Специфика заключается в существенном обогащении техногенных образований песчаными фракциями, в низкой плотности сложения и высокой пористости. Пески эфельных отвалов образуются в подводных условиях под влиянием гравитации и особенностей движения драги по рабочему водоему. Под водой возникают пологие, вытянутые в направлении движения драги куполообразные структуры с четко выраженной дифференциацией песков по крупности. Дифференциация проявляется в виде пологой, косой слоистости песков различного гранулометрического состава.

Проведенные опытно-фильтрационные исследования на полигоне работы драги в долине р. Б. Колчим в Пермском крае позволили установить особенности строения песчаного массива и его фильтрационных свойств. Задачи исследований заключались в очистке воды от взвешенных веществ за счет механического осаждения в поровом пространстве, при регулируемой фильтрации воды через песчаный массив.

Система очистки сточных вод от взвешенных веществ в фильтрационных полях представляет собой участок долины реки, сложенный переработанными драгой аллювиальными отложениями, расположенными между напорными и отводящими водоемами (рис. 1, 2) [4]. Напорные водоемы образованы подпорными фильтрующими дамбами. Напорная фильтрация загрязненных взвешенными веществами вод осуществляется из напорного водоема перпендикулярно долине реки на более низкие отметки в расположенный напротив отводящий водоем за счет разницы напоров. Величина напора и, соответственно, скорость фильтрации регулируется высотой подпорной дамбы.

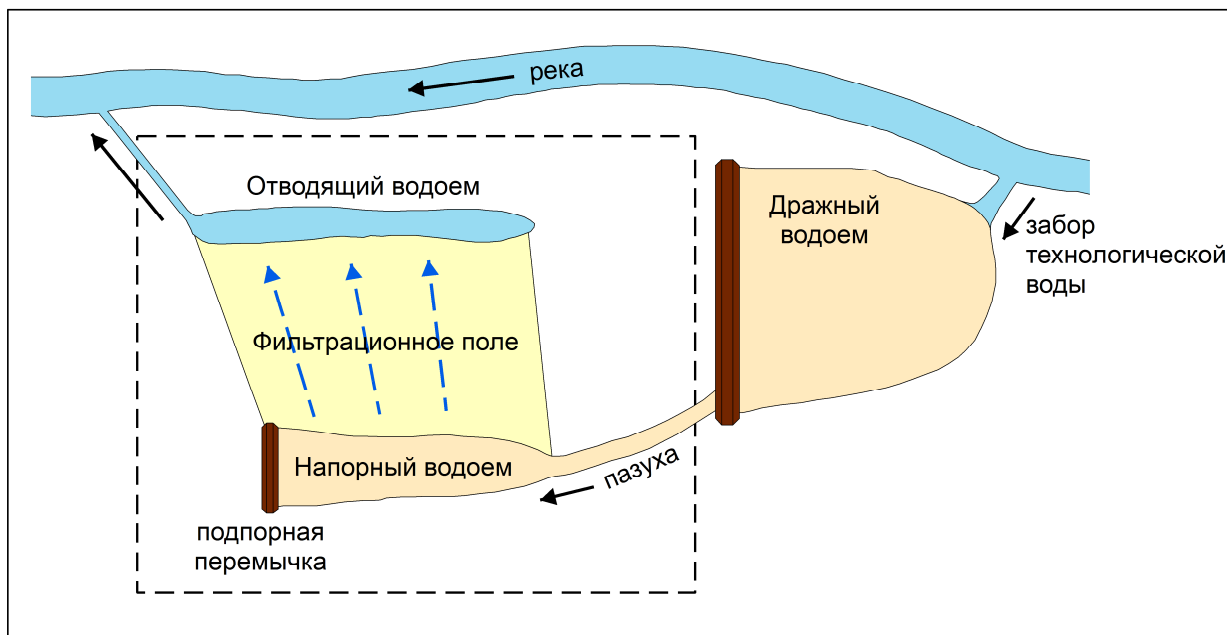


Рисунок 1. Схема очистки воды в фильтрационных полях.  
Пунктиром обозначен фрагмент системы очистки

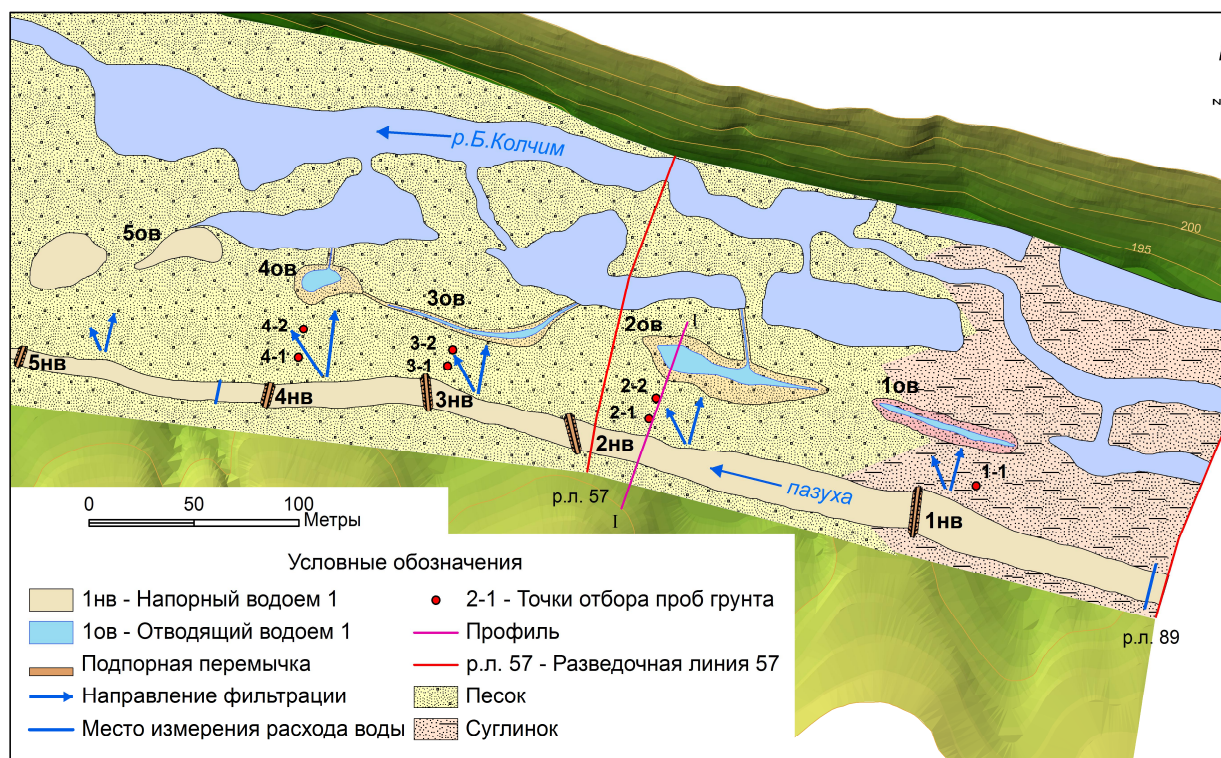


Рисунок 2. Структура системы очистки в фильтрационных полях

Достигнутая степень очистки воды от взвешенных веществ в фильтрационном поле составила 97-99 % [2]. Расход очищаемой воды изменялся от 0,323 до 0,368 м<sup>3</sup>/с.

Массив техногенных песчаных отложений работает как комплексная фильтрующая загрузка фильтров. Значительное увеличение площади контакта очищаемой воды с зернами песка и порового пространства в объеме массива значительно повышает его массообменные характеристики по сравнению с промышленными фильтрами. Различные фракции песка формируют зоны, отличающиеся пористостью и размерами пор. В этих зонах избирательно задерживают разные по крупности взвешенные вещества из сточных вод. Происходит их распределение в поровом пространстве на различном расстоянии и различной высоте фронта фильтрации.

Анализ проведенных исследований промышленных фильтров показывает, что сохранение требуемого эффекта фильтрования может быть достигнуто при различной крупности зерен фильтрующего материала [1]. Емкость массива из техногенных образований значительно превышает емкость любых промышленных фильтров, и массив не требует регенерации в течение срока разработки месторождения. Специальным образом обустроенный массив аллювиально-техногенных отложений в долинах рек может быть использован в качестве фильтра для очистки воды от взвешенных веществ в целях экологически безопасного недропользования.

В пределах песчаного массива было отобрано 19 проб на гранулометрический анализ с горизонтов 0,5, 1,0 и 1,5 м. Пески однородные, кварцевого состава, хорошо промытые. Содержание пылеватых и глинистых частиц составляет около 1,0 %. Пески представлены тремя классами фракций, закономерно чередующимися по разрезу: фракция 0,25-0,1 мм с содержанием 25 % по весу; фракция 0,5-

0,25 мм с весовым содержанием 30 % и фракции 2,0-0,5 мм со средним весовым содержанием 21 %. Каждая фракция является доминирующей в отдельном слое отложений, скорость и очередность осаждения которых из воды определяется законами гравитации.

Важным показателем фильтрационных свойств аллювиально-техногенных отложений является действительная скорость фильтрации. Определение скорости фильтрации проводилось аналогично индикаторному методу. В качестве индикатора использованы особенности сточных дренажных вод, заключающиеся в высокой концентрации взвешенных веществ (более 1000 мг/дм<sup>3</sup>). Уравнение распределения концентрации взвешенных загрязняющих частиц (мутность потока) по длине потока по А.В. Караушеву позволяет утверждать, что концентрация взвешенных веществ и мутность это синонимы [7], поэтому, используя понятие мутность, можно говорить об относительной величине концентрации взвешенных веществ. Это положение используется для определения действительной (истинной) скорости фильтрации, принимая мутность как индикатор степени выноса взвешенных веществ из фильтрационного поля. Действительная скорость фильтрации воды из напорных в отводящие водоемы изменяется от 19,0 до 22,0 м/час (табл. 1).

Таблица 1 – Действительная скорость фильтрации

Участок системы очистки	Длина пути фильтрации, м	Время появления максимальной концентрации взвешенных веществ, час	Действительная скорость фильтрации, м/час
НВ 2 – ОВ 2	28,5	1,5	19,0
НВ 3 – ОВ 3	26,5	1,3	20,4
НВ 4 – ОВ 4	39,6	1,8	22,0
<b>Система очистки (водоемы 2, 3, 4)</b>	<b>26,5-39,6</b>	<b>1,3-1,8</b>	<b>19,0-22,0</b>

Примечание: НВ – напорный водоем; ОВ – отводящий водоем

Фильтрация загрязненных вод через песчаный массив с такой скоростью обеспечивает задержание взвешенных веществ в поровом пространстве.

Гранулометрический состав песков является одним из основных факторов, определяющих фильтрационные свойства отложений. Состав и характер строения песчаной толщи определяют величину коэффициента фильтрации песков, которая может изменяться от нескольких сантиметров до десятков метров в сутки. Е.М. Сергеев [8] приводит данные В.А. Мощанского о величине коэффициента фильтрации отдельных гранулометрических фракций песка (табл. 2).

Таблица 2 – Значение коэффициента фильтрации отдельных гранулометрических фракций песка [8]

Размер частиц, мм	Коэффициент фильтрации, м/сутки
> 2,0	388,5
2,0 – 1,0	310,9
1,0 – 0,5	228,6
0,5 – 0,25	56,8
0,25 – 0,1	8,9
0,1 – 0,05	0,6
0,05 – 0,01	0,2

Исследованиями [6] установлено, что водопроницаемость песка изменяется в зависимости от их плотности. Коэффициент фильтрации при наиболее рыхлом сложении песка может быть в 1,5-2 раза больше, чем при наиболее плотном его сложении. Плотность песка изучаемого массива составила 1,11-1,15 г/см<sup>3</sup>, что подтверждает рыхлое сложение.

Водопроницаемость песка снижается с уменьшением диаметра песчаных зерен. Снижение коэффициента фильтрации происходит неравномерно, резкое его изменение наблюдается при переходе от фракции 0,25-0,1 мм к фракции 0,1-0,05 мм [8]. Снижение коэффициента фильтрации по мере уменьшения размера частиц связано с уменьшением

пор песка. Используя рассмотренные закономерности применительно к строению песчаного массива техногенных образований можно сделать следующие выводы.

1. В строении песчаного массива участвуют в основном три класса фракций, которые закономерно сменяют друг друга вниз по разрезу, залегая под углом около  $30^\circ$ . Мощность каждой фракции составляет 15-20 см. Весь разрез массива до глубины 4,8-5,5 м представлен чередованием этих фракций.

2. Водопроницаемость песчаного массива техногенных образований закономерно изменяется в соответствии с гранулометрическим составом песка. Коэффициенты фильтрации слоя песка с размером частиц 0,25-0,1 мм в среднем составляют около 9,0 м/сутки, слоя фракции 0,5-0,25 мм – около 50 м/сутки, слоя 2,0-0,5 мм – 200-300 м/сутки [8].

3. Существенные различия в величине коэффициентов фильтрации каждого элементарного слоя обуславливают ступенчатый характер водопроницаемости всего массива техногенных образований. Водопроницаемость резко увеличивается в каждом последующем элементарном слое песка от 9,0 м/сутки до 200-300 м/сутки. В нижележащей серии из трех аналогичных по гранулометрическому составу слоев водопроницаемость изменяется по такой же закономерности. С глубиной происходит некоторое общее уменьшение коэффициентов фильтрации в связи с возрастанием гидростатического давления в потоке подземных вод.

4. Различия в водопроницаемости песчаного массива техногенных образований значительно уменьшают скорость кольматации слоев с низкой проницаемостью, позволяют достаточно равномерно распределяться взвешенным в воде глинистым частицам по всему объему массива, что увеличивает его емкость поглощения.



5. Насыщение песчаного массива глинистыми частицами создает условия для появления адсорбционных свойств и более тонкой очистки воды.

6. В процессе эксплуатации системы очистки в аллювиально-техногенных отложениях степень механического осаждения взвешенных частиц в поровом пространстве снижается, но возрастают адсорбционные свойства отложений.

7. Степень очистки воды от взвешенных веществ в аллювиально-техногенных образованиях может достигать 97-99 % при соответствующем регулировании напорной фильтрации.

8. Создание систем очистки воды в техногенных образованиях является перспективным направлением не только в недропользовании, но и других отраслях хозяйственной деятельности, связанной с очисткой сточных вод.

Исследования свойств техногенных образований проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-96016).

#### Список литературы

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение / Н.Н Абрамов. Стройиздат, 1974.
2. Караваева Т.И. Геологическое обоснование использования аллювиально-техногенных отложений для очистки поверхностных вод от взвешенных веществ (на примере бассейна р. Вишера): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2010. 18 с.
3. Караваева Т.И. Принципы оценки воздействия на окружающую среду при разработке россыпных месторождений алмазов / Т.И. Караваева // Экология: проблемы и пути решения: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермь, 2005. С. 99-100.
4. Караваева Т.И. Система очистки сточных вод от взвешенных веществ в аллювиально-техногенных отложениях / Т.И. Караваева, О.Б. Наумова // Естественные и технические науки. 2010. № 4. С. 411-413.
5. Караваева Т.И. Технология очистки сточных вод при дражном способе разработки месторождения / Т.И. Караваева, В.П. Тихонов // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы пятой Международной конференции. Москва – Кызыл-Кия, 2006. С. 384-386.

6. Куприна Г.А. Кольматация песков / Г.А. Куприна. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 174 с.
7. Манилюк Т.А. Защита природных водных объектов от загрязнения взвешенными веществами при вводе в эксплуатацию земляных руслоотводных каналов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2007. 18 с.
8. Сергеев Е.М. Грунтоведение / Е.М. Сергеев. М.: Изд-во МГУ, 1959.
9. Тихонов В.П. Использование аллювиальных отложений для очистки сточных вод от взвешенных веществ / В.П. Тихонов, Т.И. Караваева // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: Материалы Международной научной конференции. Гольягти, 2005. С. 125-129.
10. Тихонов В.П. Очистка поверхностных вод от взвешенных веществ при разработке месторождений алмазов / В.П. Тихонов, Т.И. Караваева // Геоэкологические проблемы современности: Доклады II Международной научной конференции. Владимир, 2008. С. 229-230.
11. Тихонов В.П. Управление процессом очистки от взвешенных веществ в фильтрационных полях / В.П. Тихонов, Т.И. Караваева // Инновационный потенциал естественных наук: Труды Международной научной конференции. Пермь, 2006. С. 165-169.