

УДК 502.6

**М.В. Висков, Т.В. Воронкова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ ГРУНТОВ КАК ГЕОХИМИЧЕСКИХ  
БАРЬЕРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ  
И ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПАХ  
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ТБО**

Рассмотрена возможность применения противofильтрационных экранов полигонов захоронения ТБО, состоящих из природных материалов, как геохимических барьеров, позволяющих производить очистку фofильтрационных вод на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах жизненного цикла.

**Ключевые слова:** полигон ТБО, геохимические барьеры, противofильтрационная защита.

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду при проектировании и строительстве полигона предусматриваются специальные организационные, технологические, технические мероприятия и природоохранные сооружения, такие как: противofильтрационный экран, система сбора и отвода фofильтрата, очистные сооружения, окончательное водозащитное покрытие.

Все природоохранные сооружения, применяемые на полигоне ТБО, достаточно дороги (стоимость очистных сооружений, обеспечивающих необходимую степень очистки на участок захоронения отходов площадью 2 га составляет около 20 млн руб.). Кроме того, при закрытии полигона очистные сооружения также прекращают свою эксплуатацию, хотя образование фofильтрата не прекращается.

Таким образом, возникает необходимость разработки иных методических и технологических основ процессов очистки фofильтрата и биогаза.

Одним из вариантов предотвращения попадания загрязненных фильтрационных вод в подземные горизонты может быть их самоочистка в глинистых и иных материалах, обладающих высокой сорбционной емкостью, используемых в строительстве противофильтрационного основания участка захоронения отходов полигона ТБО. Противофильтрационный экран, расположенный в основании полигона, возможно будет работать как геохимический барьер, снижая концентрации загрязняющих веществ в фильтрационных водах.

Первоначально необходимо проверить предположение о возможности фильтрации образующихся объемов фильтрата через слой противофильтрационного экрана.

Согласно нормативным требованиям Инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (1996 г.) толщина экрана в основании полигона должна составлять не менее 0,5 м, коэффициент фильтрации должен быть не менее 0,0086 м/сут.

Для расчетов примем стандартный участок захоронения отходов (УЗО) площадью 2 га, разделенный на 2 очереди эксплуатации. Срок эксплуатации первой очереди составит 5 лет, второй – 15 лет. (Площадь участка выбрана из-за возможности более наглядно показать распределение объемов образования фильтрата по очередям.)

Результаты расчета объемов фильтрата по очередям представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Объем образуемого фильтрата

Номер очереди (карты) УЗО	Расчетная площадь, м <sup>2</sup>			Среднегодовой слой фильтрата, м/год		Отвод (вывоз) фильтрата	
	водосбора	эксплуатируемая	рекультивированная	Эксплуатируемая поверхность	Рекультивированная поверхность	м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup> /сут
1-я очередь	9870	9870	–	0,282	0,028	2783,34	7,62
2-я очередь	20 000	10 130	9870	0,282	0,028	3133,00	8,58
После закрытия	–	–	20 000	0,282	0,028	560,00	1,5

Как показали расчеты, максимальное образование фильтра-та составит  $8,58 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Для объемной скорости фильтрации  $V_{об}$  ( $\text{см}^3/\text{с}$  или  $\text{м}^3/\text{сут}$ ) закон Дарси имеет вид

$$V_{об} = k_{\phi} \cdot S \cdot \text{grad } I,$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения,  $\text{м}^2$ ;  $\text{grad } I$  – градиент напора.

Величины скорости объемной фильтрации через основание изменяются в зависимости от градиента напора (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость скорости объемной фильтрации через основание от градиента напора на площади 2 га

Величина напора выше экрана ( $H1$ )	Градиент напора ( $\text{grad } I$ )	Скорость объемной фильтрации ( $V_{об}$ , $\text{м}^3/\text{сут}$ )
1,0	1,98	340,56
0,9	1,78	306,16
0,8	1,58	271,76
0,7	1,38	237,36
0,6	1,18	202,96
0,5	0,98	168,56
0,4	0,78	134,16
0,3	0,58	99,76
0,2	0,38	65,36
0,1	0,18	30,96
0,09	0,16	27,52
0,08	0,14	24,08
0,07	0,12	20,64
0,06	0,10	17,20
0,05	0,08	13,76
0,04	0,06	10,32
0,03	0,04	6,88
0,02	0,02	3,44
0,01	0	0

*Примечания:*

1. При проведении расчетов величина напора на  $H2$  выходе из противофильтрационного слоя принята  $0,01 \text{ м}$ .
2. Толщина глинистого экрана в соответствии с нормативными требованиями составляет  $0,5 \text{ м}$ .

С учетом результатов расчетов (см. табл. 1, 2) при постоянстве всех величин, зависящих от конструктивных параметров полигона (коэффициент фильтрации материала основания, площадь участка захоронения отходов), для создания условий полной фильтрации стоков через толщу противофильтрационного барьера необходимо обеспечить требуемый градиент напора: для полигона, представленного в расчетах, он более 0,04. При этих условиях фильтрационные стоки не будут накапливаться в котловане основания УЗО, а будут отфильтровываться в подземные горизонты через слой материала противофильтрационного экрана.

Требуемый градиент напора в основном обеспечивается напором фильтрационных вод выше противофильтрационного экрана или толщиной слоя фильтрата на участке захоронения отходов полигона.

Зависимость скорости объемной фильтрации от толщины слоя фильтрата на карте представлена на рисунке. Расчет произведен для площади участка  $1 \text{ м}^2$ , величина напора ниже слоя противофильтрационного материала принята  $0,01 \text{ м}$ .

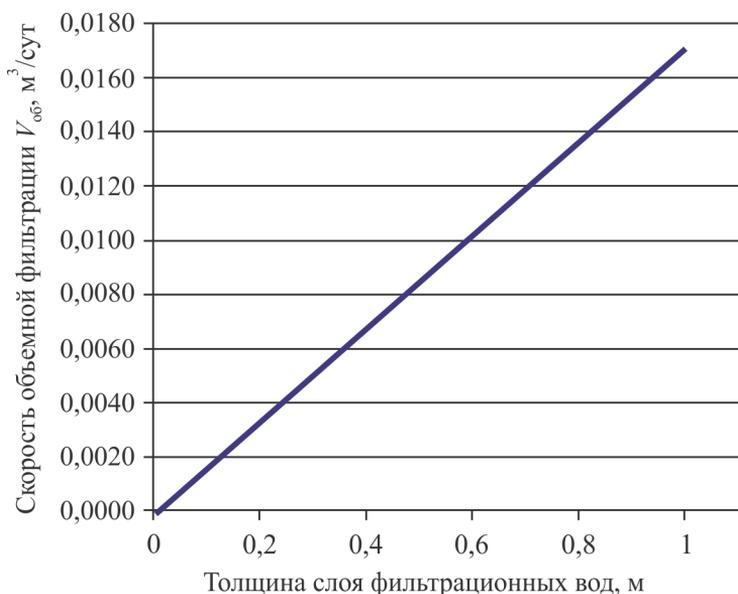


Рис. Зависимость скорости объемной фильтрации от толщины слоя фильтрата

Представленная зависимость имеет линейный характер, но в реальных условиях возможно изменение характера зависимости, поскольку может изменяться напор фильтрационных вод ниже фильтрационного экрана.

Анализ полученных данных показал, что необходимо более достоверно определить скорость объемной фильтрации теоретическими и экспериментальными методами с целью выявления истинного значения напора ниже противofильтрационного экрана.

Второй вопрос, возникающий при оценке возможности использования природных естественных материалов в противofильтрационном экране полигона ТБО в качестве геохимического барьера, связан со степенью очистки фильтрационных стоков.

Миграция веществ при проникновении через экран из природных материалов происходит двумя путями: в результате конвекции (перемещение веществ с водной средой) и в результате диффузии.

В процессе происходит диффузионное и фильтрационное рассеивание вещества, т.е. его дисперсия. Фильтрационная дисперсия обусловлена ветвлением элементарных струек воды в результате неоднородности поля скоростей потока внутри порового пространства (микродисперсия) и неоднородности пор в водовмещающих породах (макродисперсия). Таким образом, при миграции вещества в подземных водах образуется ореол его рассеивания с уменьшением концентраций к его краям [1, 3].

Самоочищение подземных вод от неорганических веществ происходит, как правило, вследствие осаждения компонентов раствора на геохимических барьерах. Понятие о геохимических барьерах впервые было дано А.И. Перельманом [1]. Геохимический барьер – это зона, в которой на коротком расстоянии происходит резкая смена гидрогеохимических условий миграции химических элементов, что вызывает осаждение этих элементов в твердую фазу. Геохимические барьеры возникают не только на границе разных фаз, но и в однородной среде, например, при изменении Eh – pH условий подземных вод или концентраций отдельных компонентов раствора. Основными геохимическими барьерами, приводящими к самоочищению пресных подземных вод, являются окислительный (кислородный), восстанови-

тельный, щелочной (гидролитический и карбонатный), сульфидный, сорбционный гидроксидный и сорбционный глинистый [1, 3, 6, 7].

Кислотный геохимический барьер (тип E) характеризуется изменением среды в сторону увеличения концентрации ионов водорода (снижение pH среды). Идут процессы образования малорастворимых кислот и солей.

Восстановительный барьер характеризуется преобразованием более растворимых окисленных форм элементов с переменной валентностью в менее растворимые – восстановленные. Например, Cr в околонейтральных кислородсодержащих водах находится в виде анионов  $\text{HCrO}_4^-$  и  $\text{CrO}_2^{4-}$  ( $\text{Cr}^{6+}$ ). При снижении Eh происходит образование малорастворимых соединений  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $\text{Cr}^{3+}$ ).

Щелочной геохимический барьер (тип D) характеризуется изменением среды в сторону снижения концентрации ионов водорода (увеличение pH среды). Идут процессы образования нерастворимых гидроксидов и карбонатов металлов.

Сорбционный геохимический барьер (тип G) возникает в тех местах биосферы, где воды соприкасаются с сорбентами – веществами, способными поглощать (сорбировать) из растворов газы, ионы и молекулы. В качестве природных сорбентов обычно выступают почвы, глины, торф, илы.

Сорбционный глинистый барьер обусловлен наличием отрицательного заряда на поверхности глинистых минералов. В результате катионного обмена здесь могут осаждаться Li, Be, Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, Co, Ni, Tl и др.

Следует также отметить, что преимущественно одновременно образуется несколько видов барьеров в одном геометрическом пространстве.

В соответствии с нормативными требованиями в качестве противодиффузионного экрана в основании участка захоронения отходов применяют глиняный экран. Сорбционная и ионообменная способность глинистых грунтов определяется их составом. Преимущественно высокие показатели емкости катионного обмена и сорбционной емкости показывают монтмориллонитовые материалы.

В табл. 3 приведен состав фильтрата согласно данным [5].

Таблица 3

## Состав фильтрационных вод

Загрязняющие компоненты	«Молодой» фильтрат	«Старый» фильтрат
БПК <sub>полн</sub>	–	–
БПК <sub>5</sub> (мг O <sub>2</sub> /л)	10636,7	671,01
ХПК (мг O <sub>2</sub> /л)	26802,0	2277,20
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3366,8	264,92
Кальций (катион)	314,0	130,54
Магний (катион)	847,5	88,54
Железо общее (Fe)	60,7	15,04
Марганец (Mn)	5,0	1,56
Цинк (Zn <sup>2+</sup> )	4,68	0,59
Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	4319,7	1239,48
Нитрат-ион (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	56,46	19,16
Нитрит-ион (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	2,18	2,90
Аммоний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	599,4	362,78
Калий + натрий	3183,3	1193,38
Свинец (Pb)	0,218	0,194
Кадмий (Cd)	0,030	0,023
Медь (Cu <sup>2+</sup> )	0,100	0,207
Никель (Ni <sup>2+</sup> )	1,120	0,167
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	0,387	0,184
Нефтепродукты	–	5,00
Взвешенные вещества	1000,00	1000,00

Необходимо отметить, что представленный состав является усредненным, а точные значения показателей загрязнений фильтрационных вод изменяются в больших пределах во время различных этапов жизненного цикла полигона.

На основе литературных данных можно сделать вывод о достаточной степени очистки фильтрационных вод природными материалами, играющими роль противофильтрационного барьера только на стадии стабильного метаногенеза (30–100 лет с момента эксплуатации полигона). Возможность очистки фильтрационных

вод на ранних стадиях жизненного цикла полигона требует дополнительных исследований [6, 7]. Но и полученные результаты показывают, что материалы, служащие для строительства противодиффузионного экрана, можно использовать как средство долгосрочной защиты грунтовых подземных вод от негативного воздействия полигона ТБО в постэксплуатационный период.

Проведенные исследования и анализ литературных данных позволили прийти к следующим выводам:

1. Несмотря на низкие коэффициенты фильтрации природных материалов, применяемых для строительства противодиффузионных экранов, через них может отфильтровываться весь объем загрязненных вод, образующихся на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах жизненного цикла полигона ТБО.

2. В слое природного противодиффузионного материала в основании УЗО возможно образование геохимического барьера с созданием условий для самоочистки фильтрационных вод.

3. Подтверждается эффективность очистки сточных фильтрационных вод на природных материалах в постэксплуатационный период жизненного цикла полигона ТБО.

4. Можно предположить, что эффективна очистка фильтрационных вод на техногенных геохимических барьерах, состоящих из глин с высокой ионообменной способностью и сорбционной емкостью на более ранних этапах жизненного цикла полигона ТБО, но данное предположение требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

### **Библиографический список**

1. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
2. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. – М.: Недра, 1988. – 349 с.
3. Гольдберг В.М., Газда С.В. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
4. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 519 с.
5. Управление отходами. Полигоны захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, В.Ю. Петров, А.М. Зомарев. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2007. – 464 с.
6. Максимович Н.Г. Создание геохимических барьеров для улучшения экологической обстановки при разработке россыпных месторождений // Вестник Перм. ун-та. Геология. – 2011. – № 4. – С. 97–104.

7. Изучение свойств искусственных комбинированных материалов для проницаемых геохимических барьеров / Н.Н. Данченко, М.Л. Кулешова, З.П. Малашенко, Е.В. Петрова, В.И. Сергеев // Вестник Моск. университета. – Сер. 4. Геология. – 2011. – Т.4. – № 5. – С. 54–60.

### References

1. Perelman A.I. Geokhimiya [Geochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 528 p.
2. Gavich I.K. Gidrogeodinamika [Hydrogeodynamics]. Moscow: Nedra, 1988. 349 p.
3. Goldberg V.M., Gazda S.V. Gidrogeologicheskie osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya [Hydrogeological framework for the protection of groundwater against pollution]. Moscow: Nedra, 1984. 262 p.
4. Mironenko V.A. Dinamika podzemnykh vod [Dynamics of groundwater]. Moskovskiy gosudarstvennyi gornyi universitet, 2001. 519 p.
5. Vaisman Y.I., Korotaev V.N., Petrov V.Y., Zomarev A.M. Upravlenie otkhodami. Poligony zakhroneniya tverdykh bytovykh otkhodov [Waste Management. Landfills of municipal solid waste]. Permskiy gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007. 464 p.
6. Maksimovich N.G. Sozdanie geokhimicheskikh barerov dlya uluchsheniya ekologicheskoi obstanovki pri razrabotke rossypnykh mestorozhdeniy [Create geochemical barriers for environmental improvement in the development of placer deposits]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2011, no. 4, pp. 97–104.
7. Danchenko N.N., Kuleshova M.L., Malashenko Z.P., Petrova E.V., Sergeev V.I. Izuchenie svoystv iskusstvennykh kombinirovannykh materialov dlya pronitsaemykh geokhimicheskikh barerov [Study of the properties of artificial combined materials for permeable geochemical barriers]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4:Geologiya*, 2011, vol. 4, no. 5, pp. 54–60.

Получено 30.05.2014

**M. Viskov, T. Voronkova**

## **THE POSSIBILITY OF USING SOIL AS NATURAL GEOCHEMICAL BARRIERS AT THE OPERATIONAL AND POST-OPERATIONAL PHASES OF THE LIFE CYCLE OF MSW LANDFILL**

This article examines the opportunity of using of natural liners as a geochemical barriers. Geochemical barriers are defined as one of the mechanism for leachate purification at landfill operation period and at the after care period.

**Keywords:** landfill, geochemical barriers, impervious protection.

**Висков Михаил Владимирович** (Пермь, Россия) – инженер кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).

**Воронкова Татьяна Владимировна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).

**Viskov Mikhail** (Perm, Russia) – Engineer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: eco@pstu.ru).

**Voronkova Tatyana** (Perm, Russia) – Ph.D. in Technical Sciences, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: eco@pstu.ru).