

УДК 544.435.4

Т.О. АХМЕТОВ**В.Д. НАЗАРОВ****В.С. ГОРЯЧЕВ****ОЧИСТКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД В ГЕОХИМИЧЕСКОМ БАРЬЕРЕ**

PURIFICATION OF POLLUTED WATERS IN GEOCHEMICAL BARRIER

Дано описание модели геохимического барьера с зернистой загрузкой из силицированного кальцита для очистки загрязненных вод, характерных для районов добычи нефти и руд металлов. В качестве загрязнителей выступили высокие или экстремальные концентрации хлоридов, сульфатов, железа, марганца, меди, нефтепродуктов, сульфидов, йода. Приведены таблицы снижения концентраций и степени очистки от указанных загрязнителей при горизонтальном фильтровании через зернистую загрузку при различных скоростях фильтрования на различных участках геохимического барьера.

Ключевые слова: геохимический барьер, степень очистки, хлориды, сульфаты, железо, марганец, медь, нефтепродукты, сульфиды, йод.

Перемещение химических элементов из одних участков земной коры в другие, сопровождающееся процессами их концентрации или рассеяния, называется миграцией элементов. Интенсивность миграции элементов нередко уменьшается на коротком расстоянии, что приводит к их концентрации. Такие участки земной коры ещё в 1961 г. А.И. Перельман назвал геохимическими барьерами. Они формируются на дне морей, океанов, в речных долинах, подземных водах, в оврагах. Причины образования барьеров различны: понижения температуры и давления, смешение вод, изменение горных пород, по которым мигрируют воды, и пр. [1, 4-6].

В пределах большинства барьеров довольно резко изменяется форма нахождения элементов в мигрирующем потоке (изменение типа миграции), интенсивность миграции и осаждение (концентрация) химических элементов или их соединений. Следовательно, именно на геохимических барьерах происходят максимальные эколого-геохимические изменения, отмечаемые в биосфере [2, 7-10].

Авторами был смоделирован геохимический барьер для очистки загрязненных вод, который

The description of model of a geochemical barrier with granular loading from the siliconized calcite for purification of the polluted waters, characteristic for areas of oil production and ores of metals is given. High or extreme concentration of chlorides, sulfates, iron, manganese, copper, oil products, sulfides, iodine acted as pollutants. Tables of decrease in concentration and extent of cleaning of the specified pollutants are given at horizontal filtering through granular loading at various speeds of filtering in various sites of a geochemical barrier.

Keywords: geochemical barrier, extent of cleaning, chlorides, sulfates, iron, manganese, copper, oil products, sulfides, iodine.

согласно классификации А.И. Перельмана [1, 2] является:

- по типу – техногенно-природным, так как смена геохимической обстановки обусловлена как природными особенностями (фильтрующий материал естественного происхождения), так и результатами антропогенной деятельности (сама конструкция геохимического барьера);
- по классу – механическим;
- по форме поступления на механический барьер миграционного потока химических элементов – и как коллоидами и сорбированными ими веществами, и как техногенными соединениями без природных аналогов;
- по размеру – микробарьером;
- по ориентации в пространстве миграционных потоков – латеральным (горизонтальным);
- по способу поступления химических элементов на барьер – инфильтрационным.

Модель геохимического барьера представляет собой горизонтальный лоток из окрашенного нержавеющей металла полукруглой формы (длина – 400 см, ширина – 20 см, глубина – 15 см), установлен-

ный на доске (длина – 420 см, ширина – 20 см, высота – 5 см) под углом 1° к горизонтальной поверхности для создания уклона водного потока. Фильтрующий материал – зернистая загрузка из силицированного кальцита с размерами зерен 2-15 мм. Это активный фильтрующий и каталитический материал нового поколения, не имеющий аналогов в России и за рубежом, для удаления (окисления) железа, марганца, сероводорода, солей жесткости, тяжелых металлов и радионуклидов [3].

Методика проведения экспериментов заключалась в фильтровании через зернистую загрузку водопроводной воды, загрязненной высокими концентрациями хлоридов, сульфатов, железа, марганца, меди, нефтепродуктов, сульфидов, йода со скоростью 10, 5, 1, 0,5 и 0,1 м/ч. После первой стадии фильтрования, равной длине лотка (4 м), геохимический барьер промывался чистой водой, после чего через барьер пропусклась отфильтрованная вода – вторая стадия очистки. Всего четыре стадии очистки, т.е. геохимический барьер без изменения физических размеров был фактически удлинён, а пробы воды отбирались через 4, 8, 12 и 16 м соответственно.

Очистка от хлоридов. Исходная концентрация – 7000 мг/л или 20 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»). Степень очистки представлена в табл. 1.

Наилучший результат очищения вполне прогнозируемо был достигнут при скорости фильтрования 0,1 м/ч на четвертой стадии очистки – 397,23 мг/л (94,33%), вплотную приблизившись к уровню ПДК_{хоз.пит.} (350 мг/л).

Очистка от сульфатов. Исходная концентрация – 1000 мг/л или 2 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 2.

Степень очистки, близкая к уровню ПДК_{хоз.пит.} (500 мг/л), была достигнута при скорости фильтрования 0,5 м/ч на четвертой стадии очистки – 515,33 мг/л (48,47 %) и при скорости фильтрования 0,1 м/ч на третьей стадии очистки – 524,18 мг/л (47,58 %), а при скорости фильтрования 0,1 м/ч на четвертой

Таблица 1

Степень очистки воды в геохимическом барьере от хлоридов в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 7000 мг (20 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	13,58	16,73	28,39	39,26	65,16
8	16,34	23,93	43,25	53,80	76,17
12	30,18	32,17	59,77	70,75	84,98
16	42,79	44,36	66,35	85,38	94,33

Таблица 2

Степень очистки воды в геохимическом барьере от сульфатов в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 1000 мг (2 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	6,09	8,04	10,52	13,98	16,32
8	14,75	17,67	22,32	27,79	32,70
12	20,41	23,34	30,55	41,26	47,58
16	26,07	31,43	39,76	48,47	63,29

Таблица 3

Степень очистки воды в геохимическом барьере от железа
в зависимости от длины лотка и скорости фильтрации

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 3 мг/л (10 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	75,00	87,33	93,00	98,00	100,00
8	87,33	89,67	99,33	100,00	100,00
12	89,00	93,00	100,00	100,00	100,00
16	89,67	98,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 4

Степень очистки воды от высоких концентраций железа в электрогеохимическом барьере
в зависимости от длины лотка и скорости фильтрации

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 120 мг/л (400 ПДК _{хоз.пит.})	
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч	
	5,0	1,0
4	99,12	99,24
8	99,68	99,78
12	99,82	99,88
16	99,96	99,98

Таблица 5

Степень очистки воды в геохимическом барьере от марганца
в зависимости от длины лотка и скорости фильтрации

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 1 мг/л (10 ПДК _{хоз.пит.})					Начальная концентрация – 10 мг/л (100 ПДК _{хоз.пит.})		
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч							
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1	10,0	1,0	0,1
4	31,00	61,00	94,00	97,00	99,00	44,40	68,70	79,80
8	45,00	86,00	99,00	100,00	100,00	68,70	92,50	98,70
12	54,00	94,00	100,00	100,00	100,00	83,60	97,10	99,60
16	63,00	99,00	100,00	100,00	100,00	92,90	99,40	100,00

стадии очистки концентрация сульфатов упала ниже ПДК_{хоз.пит.} – 367,15 мг/л (63,29 %).

Очистка от железа. Исходная концентрация – 3 мг/л или 10 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 3.

Уже при скорости фильтрации 10 м/ч на четвертой стадии очистки была достигнута концентрация железа 0,31 мг/л, близкая к уровню ПДК_{хоз.пит.} (0,3 мг/л). При скорости 5 м/ч уровень ПДК_{хоз.пит.} был достигнут на второй стадии, а на последующих

скоростях – уже на первой стадии очистки. В табл. 3 также наглядно видно, когда была достигнута и полная степень очистки.

В связи с превосходной степенью очистки от железа было принято решение увеличить концентрацию металла в 40 раз до уровня 400 ПДК_{хоз.пит.} и повторно провести фильтрацию на двух скоростях, но уже под воздействием электромагнитного поля. В качестве электрохимического источника тока выступили 20 пар электродов (анод – магний, катод – графит), закрепленных в фильтрующем материале

через каждые 20 см. Результаты очистки приведены в табл. 4.

Уровень ПДК_{хоз.пит.} по железу (степень очистки 99,75%) при скорости фильтрования 5 м/ч был достигнут на третьей стадии очистки, при скорости 1 м/ч – на второй стадии.

Очистка от марганца. Ввиду отличных результатов очистки по железу, для марганца также были выбраны две исходные концентрации – 1 и 10 мг/л (10 и 100 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения соответственно) (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 5.

При фильтровании воды с исходной концентрацией марганца 1 мг/л (10 ПДК_{хоз.пит.}) уровень ПДК (степень очистки 90 %) при скорости 5 м/ч был достигнут на третьей стадии очистки, на последующих скоростях – уже на первой стадии.

Вода с исходной концентрацией марганца 10 мг/л (100 ПДК_{хоз.пит.}) фильтровалась на трех скоростях: при скорости 10 м/ч итоговая концентрация марганца снизилась до 0,71 мг/л (7,1 ПДК_{хоз.пит.}), степень очистки 92,9 %, при скорости 1 м/ч уровень ПДК (уровень очистки 99 %) был достигнут

Таблица 6

Степень очистки воды в электрогеохимическом барьере от марганца в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 10 мг/л (100 ПДК _{хоз.пит.})		
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч		
	10,0	1,0	0,1
4	51,50	72,70	93,70
8	74,00	95,80	99,00
12	91,60	98,70	99,80
16	98,70	100,00	100,00

Таблица 7

Степень очистки воды в геохимическом барьере от марганца в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 1000 мг/л (1000 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	96,19	96,25	97,71	98,33	98,96
8	98,10	99,25	99,69	99,71	99,89
12	99,52	99,86	99,87	99,89	99,91
16	99,84	99,94	99,95	99,98	100,00

Таблица 8

Степень очистки воды в электрогеохимическом барьере от меди в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 1000 мг/л (1000 ПДК _{хоз.пит.})	
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч	
	1,0	0,1
4	99,00	99,98
8	99,87	100,00
12	99,94	100,00
16	100,00	100,00

на четвертой стадии очистки, а при скорости 0,1 м/ч – на третьей стадии.

Результаты очищения воды от марганца в геохимическом барьере с магниево-графитовыми электродами приводятся в табл. 6.

При скорости 10 м/ч итоговая концентрация марганца снизилась до 0,13 мг/л (1,3 ПДК_{хоз.пит.}, степень очистки 98,7 %), при скорости 1 м/ч уровень ПДК (уровень очистки 99 %) был достигнут на четвертой стадии очистки, а при скорости 0,1 м/ч – на

второй стадии. Таким образом, при аналогичных скоростях фильтрования и концентрации марганца степень очистки в электрогеохимическом барьере выше, чем в барьере без электродов: при скорости 10 м/ч – на 5,3-8,0 %, при скорости 1 м/ч – на 0,6-4,0 %, при скорости 0,1 м/ч – на 0,2-13,9 %.

Очистка от меди. Исходная концентрация – 1000 мг/л или 1000 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 7.

Таблица 9

Степень очистки воды в геохимическом барьере от нефтепродуктов (бензол) в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 10 мг/л (100 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	64,00	71,90	85,50	87,60	91,90
8	73,50	79,80	88,20	90,20	93,40
12	81,70	86,40	90,80	92,90	94,60
16	90,20	91,90	93,60	94,50	95,80

Таблица 10

Степень очистки воды в электрогеохимическом барьере от нефтепродуктов (бензол) в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 10 мг/л (100 ПДК _{хоз.пит.})	
	Степень очистки (%) при скорости, м/ч	
	5,0	1,0
4	95,40	95,90
8	96,30	97,20
12	96,80	98,00
16	97,20	98,50

Таблица 11

Степень очистки воды в геохимическом барьере от сульфидов в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 50 мг/л (1000 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки, %, при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	99,02	99,78	99,98	99,99	99,99
8	99,90	99,96	100,00	100,00	100,00
12	99,96	99,99	100,00	100,00	100,00
16	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 12

Степень очистки воды в геохимическом барьере от йода в зависимости от длины лотка и скорости фильтрования

Длина лотка на участке отбора пробы, м	Начальная концентрация – 37,5 мг/л (300 ПДК _{хоз.пит.})				
	Степень очистки, %, при скорости, м/ч				
	10,0	5,0	1,0	0,5	0,1
4	98,21	99,17	99,47	99,60	99,65
8	98,93	99,47	99,65	99,79	100,00
12	99,47	99,65	100,00	100,00	100,00
16	99,65	100,00	100,00	100,00	100,00

Уже при скорости фильтрования 10 м/ч на четвертой стадии очистки была достигнута концентрация железа 1,59 мг/л (1,59 ПДК_{хоз.пит.}, степень очистки 96,19%). При скоростях 5, 1 и 0,5 м/ч уровень ПДК_{хоз.пит.} (1,0 мг/л, степень очистки 99,9 %) был достигнут на четвертой стадии, а при скорости 0,1 м/ч – на третьей стадии. Как видно из табл. 7, полная очистка воды произошла при скорости 0,1 м/ч на четвертой стадии очистки.

При скорости фильтрования 1 м/ч уровень ПДК_{хоз.пит.} был достигнут на третьей стадии очистки, а полная очистка воды произошла после четвертой стадии. При скорости фильтрования 0,1 м/ч уровень ПДК_{хоз.пит.} был достигнут уже после первой стадии, а на второй стадии произошла полная очистка воды. Соответственно при аналогичных скоростях фильтрования и концентрации меди степень очистки в электрогеохимическом барьере выше, чем в барьере без электродов: при скорости 1 м/ч – на 0,05-1,29 %, при скорости 0,1 м/ч – на 0,09-1,02 %.

Очистка от нефтепродуктов. Исходная концентрация – 10 мг/л или 100 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (для нефти многосернистой) (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 9.

Наиболее близкий к уровню ПДК_{хоз.пит.} (0,1 мг/л) результат очищения, как и ожидалось, был достигнут при скорости фильтрования 0,1 м/ч на четвертой стадии очистки – 0,42 мг/л (95,80 %).

При скорости фильтрования 5 м/ч концентрация нефтепродуктов снизилась до 0,28 мг/л (2,8 ПДК_{хоз.пит.}), при скорости 1,0 м/ч – до 0,15 мг/л (1,5 ПДК_{хоз.пит.}). Соответственно, при аналогичных скоростях фильтрования и концентрации нефтепродуктов степень очистки в электрогеохимическом барьере выше, чем в барьере без электродов: при скорости 5 м/ч – на 5,30-23,50%, при скорости 1 м/ч – на 4,9-10,4%.

Очистка от сульфидов. Исходная концентрация – 50 мг/л или 1000 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения [4, ГН 2.1.5.1315-03]. Степень очистки представлена в табл. 11.

Уже при скорости фильтрования 10 м/ч на второй стадии очистки был достигнут уровень ПДК_{хоз.пит.} (0,05 мг/л, степень очистки 99,90 %). При скорости 5 м/ч аналогичный уровень был достигнут на второй стадии очистки, на последующих скоростях – уже на первой стадии.

Полная очистка воды произошла: при скорости 5 м/ч – на четвертой стадии, на последующих скоростях – на второй стадии.

Очистка от йода. Исходная концентрация – 37,5 мг/л или 300 ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03). Степень очистки представлена в табл. 12.

Уровень ПДК_{хоз.пит.} (0,125 мг/л, степень очистки 99,90 %) при скоростях фильтрования 10 и 5 м/ч достигнут на четвертой стадии очистки, при скорости 1 м/ч – на третьей стадии, при скоростях 0,5 и 0,1 м/ч – на второй стадии. Полная очистка воды произошла: при скорости 5 м/ч – на четвертой стадии, при скоростях 1 и 0,5 м/ч – на третьей стадии, при скорости 0,1 м/ч – на второй стадии.

Выводы. Представленный в данной статье геохимический барьер с зернистой загрузкой из силицированного кальцита является эффективным и экономически целесообразным способом очистки загрязненных вод. Эффективность очистки возрастает со снижением скорости фильтрования в следующей последовательности: удовлетворительная степень очистки – сульфаты (максимум 63,29 % при скорости 0,1 м/ч), хорошая – хлориды (до 94,33 %) и нефтепродукты (до 95,80 %), отличная – все три металла (железо, марганец, медь – до 99-100 %, полная или почти полная очистка достигается при скорости 1 м/ч), превосходная – сульфиды и йод (полная очистка достигается уже при скорости 5 м/ч).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.
2. *Алексеев В.А., Алексеев Л.П.* Геохимические барьеры. М.: Логос, 2003. 144 с.
3. <http://mip-ugntu.ru/material.html>
4. *Стрелков А.К., Гриднева М.А., Кондрина Е.Е.* Влияние урбанизации города на системы водоотведения // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. Вып. № 1. С. 76-83.
5. *Шувалов М.В., Стрелков А.К., Шувалов Р.М.* Исследования частоты встречаемости гидробактерий в биопленке дисковых биофильтров при очистке бытовых сточных вод // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. Вып. № 1. С. 84-90.
6. *Шувалов М.В., Шувалов Р.М.* Результаты сравнения технологических показателей при выборе типа биореактора для очистки сточных вод малых населенных пунктов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. Вып. № 2. С. 88-96.
7. *Абуова Г.Б., Боронина Л.В., Кичигин В.И.* Исследование характеристик сорбента ОБР-1 для доочистки питьевой воды от ионов тяжелых металлов и органических веществ // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. Вып. № 1(9). С. 46-50.

Об авторах:

АХМЕТОВ Тимур Олегович

аспирант УГНТУ

Федеральное государственное бюджетное учреждение по мониторингу водных объектов бассейнов рек Белой и Урала (ФГУ МВО БУ)

450006, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Ленина, 86, тел. (347) 273-90-97
E-mail: gidrotim@gmail.com

НАЗАРОВ Владимир Дмитриевич

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения

Уфимский государственный нефтяной технический университет

450080, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, тел. (347) 228-22-11
E-mail: aqvita@mail.ru

ГОРЯЧЕВ Владимир Сергеевич

кандидат географических наук, начальник отдела водных ресурсов по Республике Башкортостан
Камское бассейновое водное управление

450006, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Ленина, 86, тел. (347) 273-95-65
E-mail: ovrrb@mail.ru

8. *Назаров В.Д., Барыкин К.К., Фурсов С.В.* Очистка промышленных стоков от нефтепродуктов и тяжелых металлов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 3 (16). С. 60-65.

9. *Вестник СГАСУ.* Градостроительство и архитектура. 2013. Вып. № 4. Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод. 112 с.

10. *Стрелков А.К., Шувалов М.В., Теплых С.Ю., Горшалаев П.А., Мурадян Ю.В.* О необходимости модернизации существующих очистных сооружений Самарской области и получения разрешительных документов на сброс сточных вод в условиях действующего законодательства // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. Вып. №4(13). С. 89-92.

© **Ахметов Т.О., Назаров В.Д., Горячев В.С., 2014**

AXMETOV Timur O.

Postgraduate Student of UGNTU

Federal State Budgetary Institution on Monitoring of Water Objects of Pools of Rivers Belaya and the Ural (MVO BU Federal State Institution)

450006, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Lenin str., 86, tel. (347) 273-90-97
E-mail: gidrotim@gmail.com

NAZAROV Vladimir D.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair

Ufa State Oil Technical University

450080, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Mendeleev str., 195, tel. (347) 228-22-11
E-mail: aqvita@mail.ru

GORYACHEV Vladimir S.

PhD in Geographical Science, Head of Water Resources Department of the Republic of Bashkortostan

Kama Basin Water Directorate

450006, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Lenin St., 86, tel. (347) 228-22-11
E-mail: ovrrb@mail.ru

Для цитирования: *Ахметов Т.О., Назаров В.Д., Горячев В.С.* Очистка загрязненных вод в геохимическом барьере // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 4(17). С. 46-52.