

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ЭФФЕКТ УДАЛЕНИЯ НИТРАТОВ**

Особенностью организации метода ионного обмена для удаления из природных вод нитратов является, наряду с зависимостью от исходной концентрации нитратов в воде, изменение состава исходной воды по ионным компонентам: сульфатам, хлоридам, гидрокарбонатам. Анионный состав исходной воды является одним из основных факторов, оказывающих влияние на эффективность ионообменной очистки.

Цель выполненных экспериментальных исследований – изучение влияния анионного состава подземных вод и концентрации удаляемых ионов на эффект удаления нитратов методом ионного обмена с использованием метода оптимального планирования многофакторного эксперимента.

Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований [1]. Планированием многофакторного эксперимента называется процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов, принято называть экспериментально-статистическими [2, 3]. При применении статистических методов планирования эксперимента математическое описание представляется в виде полинома:  $Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ , где  $Y$  – функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса), а  $X_1, X_2, X_3$  – влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса.

При этом ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию:

- о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика;
- позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов;
- может служить основой для оптимизации процесса.

Задачей экспериментальных исследований являлось определение зависимости остаточной концентрации нитратов от анионного состава исходной воды: хлоридов; гидрокарбонатов; сульфатов.

Исследования механизма очистки воды от нитратов методом ионного обмена проводились на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены на экспериментальной установке, представляющей собой модель ионообменного фильтра – фильтрационную колонку, загруженную ионообменной смолой сильноосновным анионитом марки «Purolite NRW-600(OH)» (рисунок 1) в условиях, представленных в таблице 1. В качестве модельной воды использовали водопроводную воду с добавкой нитратов в количестве 50 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует концентрации, в 1,1 раза превышающей предельно допустимую (45 мг/дм<sup>3</sup>) [4].

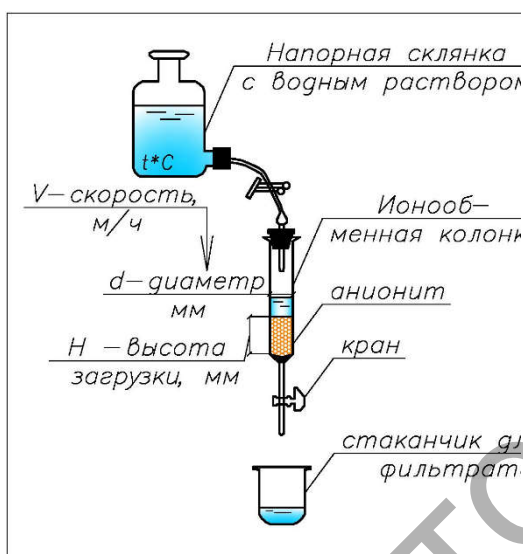
Минеральный состав исходных растворов был ограничен содержанием анионов  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $NO_3^-$  [5–8] в концентрациях: хлоридов  $Cl^-$  – до 174 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатов  $HCO_3^-$  – до 300 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатов  $SO_4^{2-}$  – до 226 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов  $NO_3^-$  – до 45 мг/дм<sup>3</sup> (общая минерализация составила – до 10 мг-экв/дм<sup>3</sup>), что характерно для исследуемых подземных вод региона и представлено на рисунке 2.

**Таблица 1 – Условия работы ионообменной колонки**

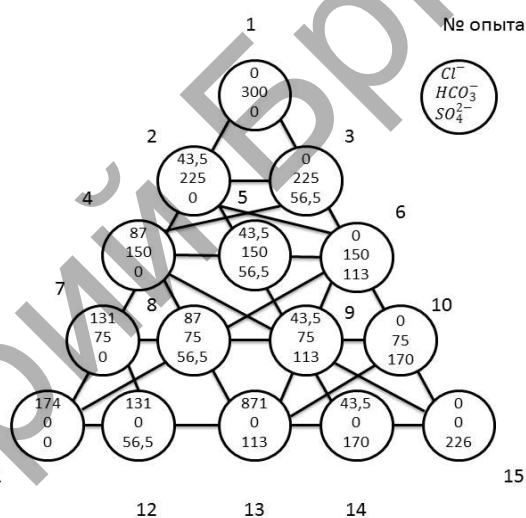
Марка ионита	Скорость фильтрации V, м/ч	Величина отношения высоты загрузки колонки к ее диаметру H/d	Температура воды t, °С
«Purolite NRW-600(OH)»	14	5,6	19

Процесс нахождения математической модели включал в себя: планирование эксперимента, проведение эксперимента на объекте исследований; проверку воспроизводимости эксперимента (с помощью критерия Кохрена  $G=0,407$  при табличном значении 0,616); получение математической модели

объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии (с учетом значения критерия Стьюдента  $t=2,57$ ); проверку адекватности математического описания (по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости  $F=4,86$  при табличном значении 5,05).



**Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки**



**Рисунок 2 – Анионный состав исходных водных растворов**

Результаты эксперимента были обработаны на ЭВМ, на основании чего составлено уравнение регрессии  $Y=f(X_1, X_2, X_3)$  в виде многочлена второй степени от трех переменных (в кодированных переменных):

$$Y = 0,32 + 0,97(X_1) + 1,14(X_2) + 1,54(X_3) + 0,53(X_1^2) + 0,66(X_2^2) + 0,78(X_3^2), \quad (1)$$

где  $X_1, X_2, X_3$  – кодированные переменные, связанные с физическими ( $x_1, x_2, x_3$ ) следующими соотношениями:

$$X_1 = 0,006 \cdot x_1; X_2 = 0,004 \cdot x_2; X_3 = 0,006 \cdot x_3, \quad (2)$$

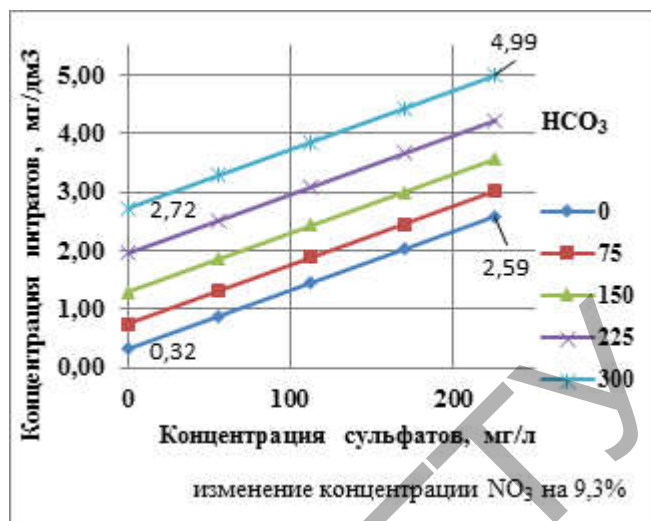
где  $x_1$  – концентрация хлоридов, мг/дм<sup>3</sup>;

$x_2$  – концентрация гидрокарбонатов, дм<sup>3</sup>;  $x_3$  – концентрация сульфатов, дм<sup>3</sup>.

Полученная экспериментально-статистическая модель (1) позволяет представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации нитратов, от концентрации в исходной воде хлоридов Cl<sup>-</sup>, гидрокарбонатов HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, сульфатов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (рисунок 3).

Полученное математическое описание, во-первых, дает информацию о влиянии факторов; во-вторых, позволяет количественно определить значения функции отклика (остаточной концентрации нитратов) при любом заданном режиме ведения процесса очистки воды.

Согласно полученным результатам экспериментальных исследований, анионный состав природных вод оказывает определенное влияние на процесс удаления нитратов методом ионного обмена:



**Рисунок 3 – Влияние концентрации сульфатов на процесс удаления нитратов**

1) наибольшую конкуренцию по отношению к нитрат-ионам в ионообменном процессе составляют сульфат-ионы, однако их концентрация на выходе не снижается до нуля; в процессе очистки с сульфат-ионами конкурируют гидрокарбонат-ионы;

2) изменение анионного состава воды в процессе удаления нитратов ионным обменом не ухудшает её природных свойств и соответствует качеству и физиологической полноценности питьевой воды.

#### Список цитированных источников

1. Дегтярев, Д. А. Пошаговая методика проведения многофакторного эксперимента. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://manyfactors.ru>. – Дата доступа: 07.01.2019.

2. Мухачёв, В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб.-метод. пособие / В. А. Мухачев. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.

3. Саутин, С. П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: Химия, 1975. – 47 с.

4. Андреюк, С. В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С. В. Андреюк // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. II. – С. 159–163.

5. Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ : ГОСТ 4192-82. – Переизд. май 2011. – Взамен ГОСТ 4192-48 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 5 с.

6. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов : ГОСТ 4245-72. – Переизд. сентябрь 2011. – Взамен ГОСТ 4245-48 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 5 с.

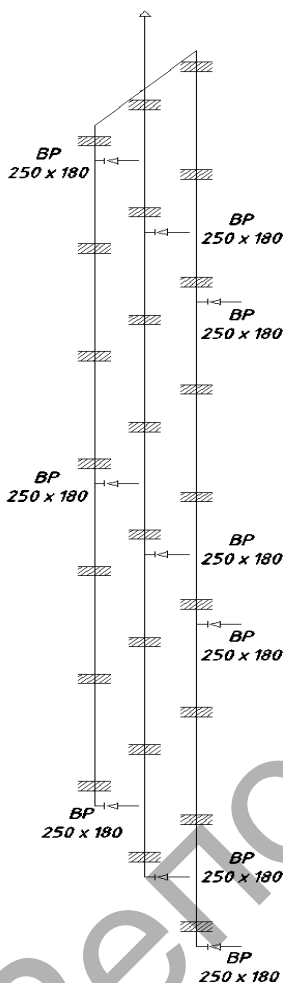
7. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов : ГОСТ 4389-72. – Переизд. май 2011. – Взамен ГОСТ 4389-48 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 6 с.

8. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов : ГОСТ 31957-2012.; введ. РБ 01.01.2016. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 32 с.

## ОБСЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЗДАНИИ ОБЩЕЖИТИЯ №4 БрГТУ

Существенное влияние на создание и поддержание комфортных параметров внутреннего воздуха в помещении оказывает устойчивая работа системы вентиляции.

В данной статье будет рассмотрен пример системы естественной вентиляции со сборными горизонтальными каналами в здании общежития №4, расположенного на улице Московской 267Д/4 в г. Бресте. Общий вид аксонометрической схемы системы естественной вентиляции представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Общий вид аксонометрической схемы системы естественной вентиляции без сборных каналов**

Где BE – условное обозначение вертикальной кирпичной шахты; BP – условное обозначение вентиляционной решетки.

В данном здании применяется система вытяжной вентиляции с естественным побуждением. Это означает, что гравитационный напор создается разницей объемных весов более тяжелого, наружного воздуха, и более легкого, внутреннего. При этом через неплотности оконных проемов, дверей (естественная инфильтрация) или путем открытия оконных проемов в разных режимах поступает свежий наружный воздух в объеме необходимом для корректной работы системы вентиляции. Воздух из блоков удаляется из нежилых помещений вертикальными каналами размерами 140x270 мм, располагаемыми во внутренних несущих конструкциях, с самостоятельным выпуском его в атмосферу на крыше здания. Для предотвращения попадания осадков и мусора предусмотрена установка зонтов над каналами на крыше здания. При обследовании систем естественной вентиляции в общежитии пользовались следующими приборами: анемометр Testo 410-1 (ос №01338742) и термогигрометр ТГЦ-МГ4 (ос №01338880).

Анемометром определялась действительная скорость воздуха на входе в канал. По измеренной скорости воздуха на входе в канал были рассчитаны действительные воздухообмены помещений. С помощью термогигрометра определялись параметры внутреннего (температура и относительная влажность) воздуха по всем исследуемым помещениям. В результате проведенного инструментального обследования всех входных отверстий вытяжных вертикальных вентиляционных каналов для всех помещений составлена сводная таблица 1.