

УДК 622.51; 55:51-73

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХИМСОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД ТОРЕЗСКО-СНЕЖНЯНСКОГО УГЛЕПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

**Квашук О. Ю.**

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Побудовані часові ряди аніонно-катіонних показників хімічного складу шахтових вод Торезько-Сніжнянського вуглепромислового району з метою визначення природи спостережуваного процесу за період експлуатації шахт. Проведений аналіз часових рядів.*

*The time series of anion-cation indexes of chemical composition of mine waters of the Torezsko-Snizhnyanskiy coal-mining district was plotted with the purpose of determination of nature of the observed process on the period of mine exploitation. The time series has been analyzed.*

За годы эксплуатации угледобывающих предприятий химический состав подземных вод претерпевает значительные изменения, в результате чего формируются новые гидрохимические типы вод. В современных условиях закрытия угольных шахт и перевода их в режимы как «мокрой» консервации, так и частичного затопления, подразумевающего дальнейшую откачку шахтных вод на поверхность или перетока в смежные шахты, вопросы экологической безопасности сбросовых и шахтных вод остаются открытыми и малоизученными.

Цель данной работы заключалась в установлении природы наблюдаемого процесса и возможности прогнозирования дальнейших изменений химического состава подземных вод района.

Для решения поставленной задачи по данным химанализов шахтных вод за основной эксплуатационный период (1972-2007 гг.) были построены временные ряды анионно-катионных показателей шахтных вод.

Таблица 1

Сведения о шахтах

Шахта	Год заложения	Год закрытия	Разрабатываемые пласты	Глубина отработки, м	Отметка уровня затопления, м	Приток, водо-выдача, м <sup>3</sup> /ч	Характер водоотливного режима
<b>ГХК «Шахтерскантрацит»</b>							
Московская	1939	2001	$l_2^H, l_3$	328	+40,1	393/393	Водоотливной режим
<b>ГХК «Горезантрацит»</b>							
Объединенная	1915	2001	$k_2, k_2^2, k_3, k_4^1$	495	-126,7	203/203	Водоотливной режим
№3 бис	1915	2003	$k_2, k_2^2, k_4^1$	687	-169,0	720/720	III группа
Горезская №2	1943	2000	$k_5, k_5^1, k_7, k_7^B$	487	+121,9	250/0,0	Затоплена
Горезская №43	1915	2000	$k_2, k_3$	563	-94,0	40/0,0	Переток на шах. Объединенная
Червона Зирка	1914	2001	$k_1, k_2, k_2^2, k_3$	382	+74,5	331/164	Водоотливной режим

Таблица 2

Сведения о химанализах

Шахта	Отбор проб		Общий период наблюдений, годы	Кол-во общих хим. анализов	Интервалы	
	с	до			от	до
1	2	3	4	5	6	7
Московская	1981	1984	2	5	+116	+108
	1977	1991	14	22	+88	+15
	1984	2005	20,8	19	сброс	
Объединенная	1972	1991	19	28	+78	+10
	1972	1992	19,5	30	-100	-118

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Объединенная	1974	1992	17,4	19	-237,7	
	1973	2007	34	30	сброс	
3 бис	1972	1988	15,5	29(17)	+230	+120
	1972	1986	13,6	18	0	-100
	1973	1992	18	28(18)	-100	-150
	1972	1993	20,5	36	-270	-325
	2001	2007	6	13	сброс	
Торезская №2	1974	1992	18,4	32	+105	+80
	1973	1992	19	34	-100	-140
Торезская №43	1972	1990	17,5	33	-90	-100
Червона Зирка	1972	1986	14	15(13)	+230	+200
	1972	1986	14,5	18(16)	+180	+116
	1975	2007	32	33	сброс	
<b>Всего</b>				<b>442</b>		

Когда мы имеем дело с выборкой экспериментальных данных, то они чаще всего представляются в виде массива, состоящего из пар чисел  $(x_i, y_i)$ . Поэтому возникает задача аппроксимации дискретной зависимости  $y(x_i)$  непрерывной функцией  $f(x)$ , которая должна проходить через точки  $(x_i, y_i)$ , т.е.  $f(x_i) = y_i, i = 1 \dots n$ . В этом случае говорят об интерполяции данных функцией  $f(x)$  во внутренних точках между  $x_i$  или экстраполяции за пределами интервала, содержащего все  $x_i$ .

Часто зависимости вида  $y(x)$  представлены отдельными узловыми точками. При кусочно-линейной интерполяции вычисления дополнительных точек выполняются по линейной зависимости. При линейной интерполяции график оказывается слишком грубым – отчетливо видны точки перегибов.

Чтобы избавиться от этого недостатка, для моделирования пространственно-временных изменений физических процессов наиболее логично использовать так называемые сплайн-функции [1 – 4].

Построение сплайн-кривых осуществлялось с помощью статистического оценивания исходных данных по методу скользящего среднего.

Смысл сплайн-интерполяции заключается в том, что в промежутках между точками осуществляется аппроксимация в виде зависимости

$$C(t) = at^3 + bt^2 + ct + d. \quad (1)$$

Коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  рассчитываются независимо для каждого промежутка, исходя из значений  $y_t$  в соседних точках. Смысл задачи интерполяции состоит в выдаче значения  $C(t)$  в любой точке  $t$ .

### Расчет и построение кубических сплайнов

Шахта № 3-бис, интервал отметок 0 – минус 100 м, содержание  $\text{Ca}^{2+}$  иона.

1. Построение нестационарного временного ряда методом кусочно-линейной аппроксимации (рис. 1).

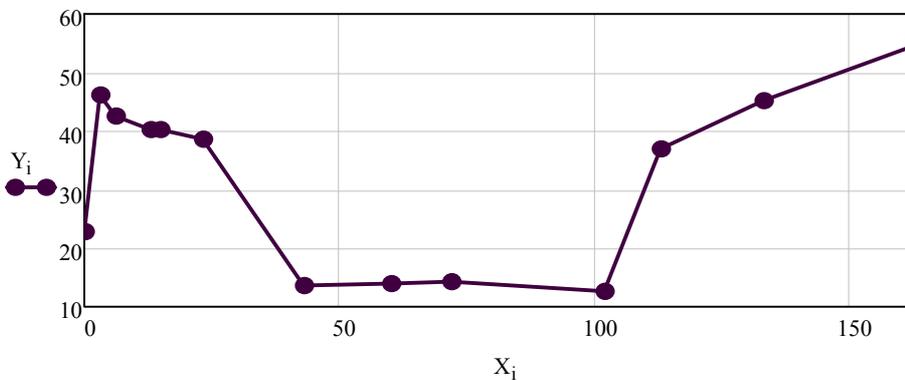


Рис. 1. Кусочно-линейная аппроксимация  $C(t)$

2. Расчет сплайн-коэффициентов.

3. Интерполяция методом кубических сплайнов по фактическим точкам (рис. 2).

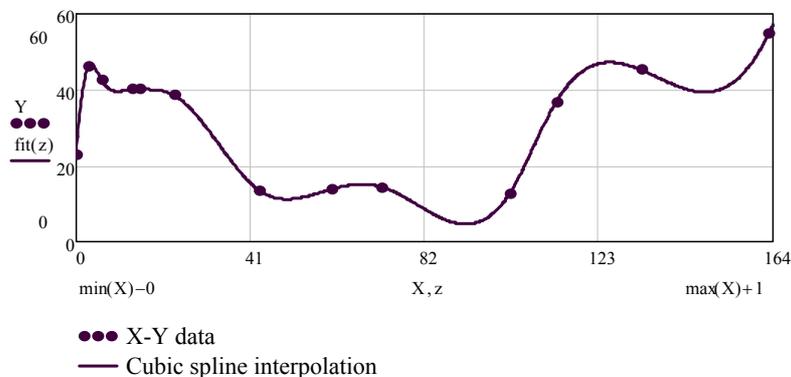


Рис. 2. График кубических сплайнов по фактическим точкам

4. Расчет и построение функции  $C(t)$  через заданный временной интервал (2 месяца) (рис. 3).

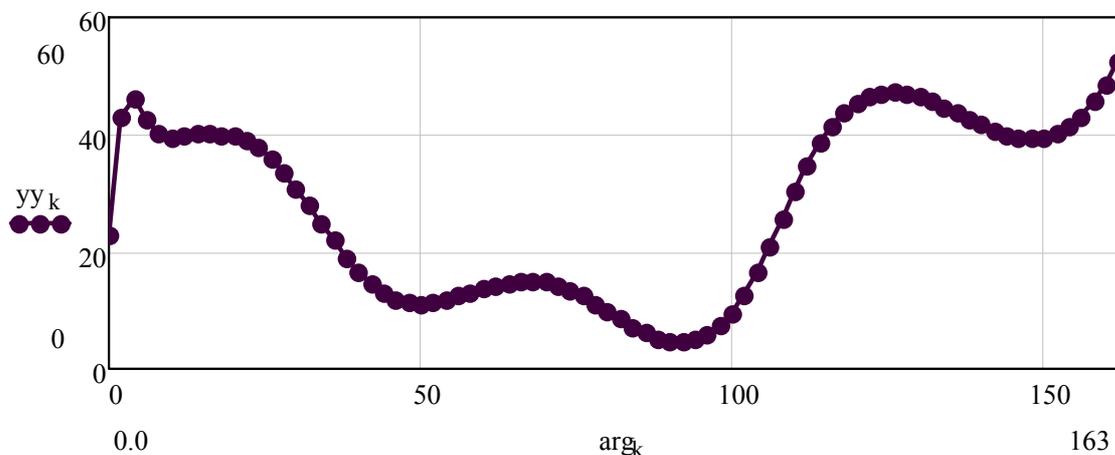


Рис. 3. Стационарный временной ряд

Большинство регулярных составляющих временных рядов принадлежит к двум классам: они являются либо трендом, либо периодической составляющей. Тренд представляет собой общую систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая может изменяться во времени. Периодически повторяющаяся компонента имеет циклический характер [1, 5].

В случае необходимости аппроксимации геологических данных, как правило, используется нелинейный тренд, что обусловлено характером протекания естественных процессов. В результате подбора трендовых кривых для временных рядов анионно-катионных показателей химсостава шахтных вод наиболее тесную сходимость с фактическими данными показал полиномиальный тренд 2-го порядка  $C(t) = at^2 + bt_i + c$ , при котором 88 % кривых имеют коэффициент корреляции с трендом выше 0,5, из них 60 % - 0,7-1,0 (рис. 4). Такие результаты свидетельствуют о высокой согласованности фактического набора данных с трендовой кривой, что, кроме того, в дальнейшем позволит достаточно точно выделить и проанализировать остатки функции.

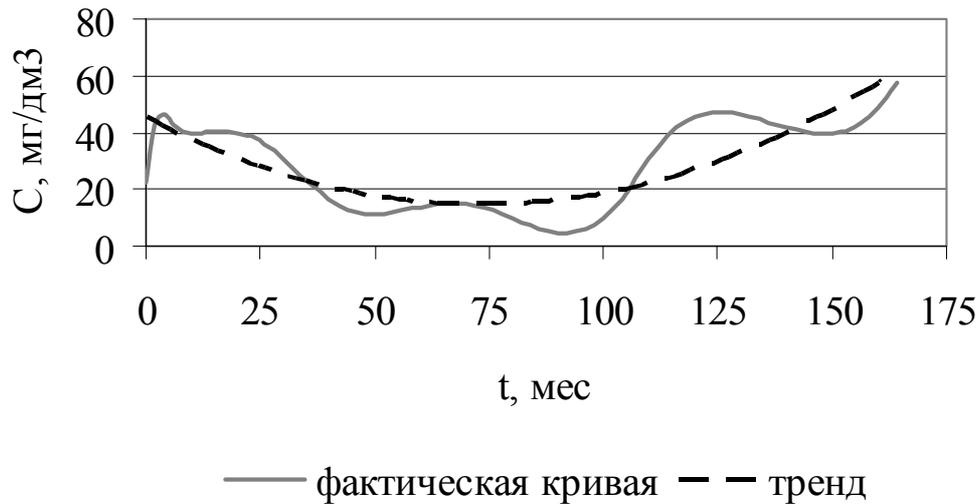


Рис. 4. Пример аппроксимации временного ряда функцией  $C(t) = at^2 + bt + c$  по показателю  $\text{Ca}^{2+}$  (ш. № 3-бис, интервал отметок 0 – минус 100 м).  $R = 0,82$

Необходимо отметить, что коэффициент  $a$  аппроксимирующего полинома для всех полученных зависимостей изменяется в пределах тысячных, максимум сотых долей, что на начальных этапах перераспределения практически приближает данный процесс к линейному. Следует иметь ввиду, что физическая природа изучаемого явления позволяет говорить о контролирующих факторах, влияющих на рост или снижение концентрации того или иного показателя во времени. Предположительно к ним может относиться процесс окисления, активность которого зависит от длительности и масштабов разработки месторождений. Как известно [5-8], в формировании состава главную роль играют процессы окисления серы и смешения вод.

В дальнейшем исключение трендовой кривой позволило провести анализ остаточной составляющей ряда. Для подтверждения условия периодичности был осуществлен подбор соответствующей функции (рис. 5):

$$C(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда, зависящая от величины концентрации исследуемого показателя;

$\omega$  – частота колибання;  
 $\varphi$  – фаза.

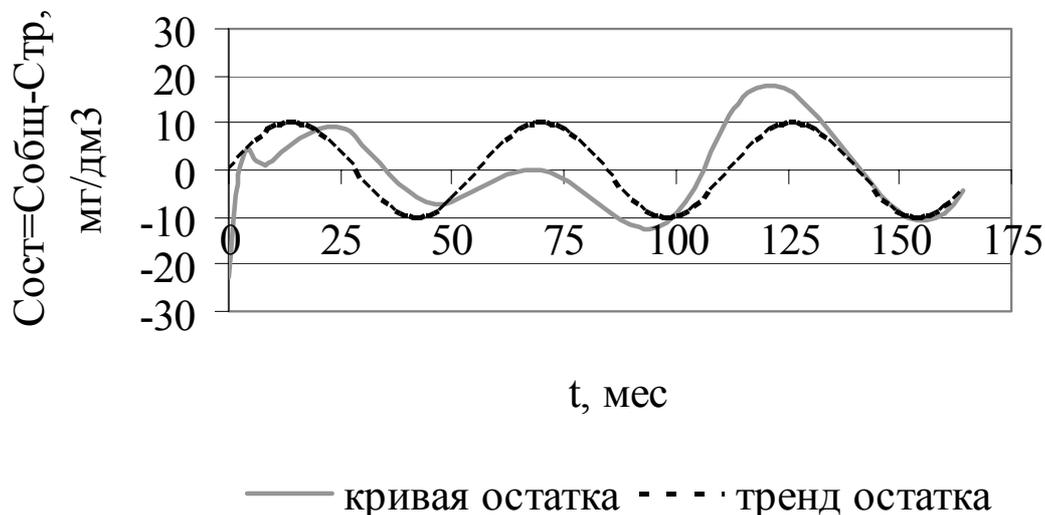


Рис. 5. Пример аппроксимации остатков временного ряда функцией  $C(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$  по показателю  $\text{Ca}^{2+}$  (ш. № 3-бис, интервал отметок 0 – минус 100 м).  $R=0,67$

Для данной зависимости корреляционное отношение  $R$  для 86 % выборки выше 0,5, из них 38% -  $0,7 < R < 1$ , что также является высоким показателем сходимости теоретических данных с фактическими.

Периодическая составляющая, вероятно, связана с процессом откачки шахтных вод и их дальнейшим сбросом в поверхностные водоемы, при котором последующее пополнение запасов подземных вод идет за счет возврата последних в шахту за определенный период.

Таким образом, происходит разбавление шахтных вод поверхностными и, соответственно, влечет за собой временное изменение состава подземных вод.

Данная методика применялась для построения временных рядов во 16 показателях: анионно-катионому составу,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , pH, общей жесткости, минерализации (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Коэффициент корреляции между трендовыми и фактическими значениями концентраций при аппроксимации полиномом 2-го порядка

$$C(t) = at^2 + bt_i + c$$

Интервал абс. Отм.	Шахта	NH4	K+Na	Ca2+	Mg2+	Fe2+	Fe3+	HCO3-	Cl-	NO3-	SO42-	pH	Общая жестко сть	SiO2	Fe2O3	M
+230/+200 м	Ц. Зирка	0,70	0,97	0,87	0,78	-	0,81	1,00	0,98	-	0,82	0,70	0,96	0,91	0,83	0,9
+230/+120 м	3-бис	0,77	0,87	0,76	0,78	0,93	0,88	0,73	0,92	0,86	0,70	0,63	0,77	0,78	0,89	0,66
+180/+116 м	Ц. Зирка	0,92	0,92	0,62	0,90	0,93	0,83	0,95	0,94	0,77	0,16	0,72	0,83	0,72	0,93	0,83
+105/+88 м	№2 ш/у Торезское	0,94	0,88	0,57	0,75	0,87	0,86		0,68	-	0,78	0,76	0,73	-	0,8	0,93
+88/+15 м	Московская	0,60	0,39	0,73	0,59	0,62	0,69	0,95	0,83	0,87	0,81	0,83	0,86	0,92	0,69	0,62
+78/+10 м	Объединенная	0,73	0,67	0,88	0,72	0,54	0,76	0,69	0,69	0,68	0,92	0,86	0,88	0,59	0,92	0,88
0/-100м	3-бис	0,87	0,57	0,82	0,80	0,74	0,67	0,92	0,84		0,93	0,93	0,77	0,85	0,58	0,7
-90/-100 м	№43 ш/у Торезское	0,85	0,37	0,45	0,27	0,55	0,68	0,70	0,54	0,83	0,51	0,8	0,1	0,74	0,68	0,6
-100/-118 м	Объединенная	0,59	0,63	0,35	0,49	0,58	0,63	0,66	0,79	0,70	0,36	0,66	0,38	0,65	0,73	0,84
-100/-140 м	шахта №2 ш/у Торезское	0,48	0,65	0,46	0,60	0,69	0,76	0,39	0,68	0,46	0,68	0,22	0,44	0,36	0,68	0,78
-100/-150	3-бис	0,52	0,83	0,90	0,47	0,63	0,63	0,22	0,52	0,82	0,73	0,57	0,76	0,73	0,58	0,65
-237,7 м	Объединенная	0,70	0,47	0,70	0,70	0,64	0,90	0,87	0,72	0,77	0,70	0,7	0,67	0,85	0,72	0,85
-270/-325 м	3-бис	0,54	0,72	0,77	0,27	0,51	0,47	0,72	0,39	0,83	0,73	0,50	0,23	0,50	0,46	0,61

0,7 < R < 1                      116                      60 %  
 0,5 < R < 0,69                      54                      28 %  
 R < 0,5                      24                      12 %

Таблица 4

Коэффициент корреляции между трендовыми и фактическими значениями остатков концентраций при аппроксимации периодической зависимостью  $C(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$

Интервал абс. отм,	Шахта	NH4	K+Na	Ca2+	Mg2+	Fe2+	Fe3+	HCO3-	Cl-	NO3-	SO42-	pH	Общая жесткость	SiO2	Fe2O3	M
+ 230/+200 м	Ч, Зирка	0,75	0,71	0,7	0,6	-	0,56	0,77	0,43	-	0,87	0,45	0,68	0,71	0,36	0,8
+230/ +120 м	3-бис	0,67	0,55	0,84	0,86	0,76	0,66	0,67	0,77	0,64	0,79	0,53	0,84	0,62	0,61	0,66
+180/ +116 м	Ч, Зирка	0,58	0,45	0,8	0,64	0,82	0,9	0,66	0,6	0,64	0,66	0,63	0,78	0,34		0,7
+ 105/ +88 м	№2 ш/у Торезское	0,87	0,73	0,75	0,7	0,49	0,63	-	0,65	-	0,66	0,56	0,75	-	0,65	0,43
+ 88/ +15м	Московская	0,6	0,71	0,85	0,66	0,66	0,74	0,84	0,75	0,47	0,63	0,72	0,64	0,63	0,8	0,8
+78/+10 м	Объединенная	0,84	0,62	0,67	0,47	0,77	0,68	0,59	0,8	0,64	0,50	0,55	0,57	0,76	0,43	0,55
0 /-100м	3-бис	0,53	0,74	0,67	0,62	0,47	0,56	0,82	0,65	-	0,7	0,66	0,7	0,63	0,22	0,89
- 90/-100 м	№43 ш/у Торезское	0,54	0,5	0,56	0,6	0,62	0,5	0,58	0,89	0,5	0,74	0,62	0,6	0,61	0,55	0,55
-100/-118 м	Объединенная	0,5	0,57	0,43	0,51	0,77	0,7	0,6	0,43	0,73	0,66	0,47	0,54	0,74	0,4	0,51
-100/-140 м	шахта №2 ш/у Торезское	0,55	0,47	0,63	0,5	0,47	0,66	0,5	0,59	-	0,50	0,4	0,54	0,52	0,64	0,24
-100/-150	3-бис	0,64	0,82	0,42	0,82	0,86	0,81	0,66	0,6	0,61	0,85	0,84	0,81	0,74	0,76	0,79
-237,7 м	Объединенная	0,75	0,39	0,62	0,83	0,69	0,66	0,77	0,82	0,65	0,92	0,67	0,8	0,79	0,83	0,86
-270/-325 м	3-бис	0,79	0,78	0,53	0,48	0,63	0,79	0,75	0,62	0,67	0,50	0,64	-	0,76	0,53	0,66

0,7<R<1                      72                      38 %  
 0,5<R<0,69                91                      48 %  
 R<0,5                         26                      14 %

**Выводы.** В результате обработки данных химанализов шахтных вод в Торезско-Снежнянском районе за основной эксплуатационный период получены стационарные временные ряды методом кубической сплайн-интерполяции. Дальнейшее их разложение на трендовую и периодическую составляющие позволило идентифицировать наложение двух процессов, при котором тренд выражен полиномом  $C(t) = at^2 + bt + c$ , а остаток – периодической функцией  $C(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$ . Наиболее высокие коэффициенты корреляции характерны для показателей  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Fe}^{2+,3+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{M}$ ,  $\text{SiO}_2$ , следовательно, их можно предварительно обозначить в качестве индикаторов техногенных изменений.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Анализ временных рядов. StatSoft, Inc. (2001). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
2. Гуськов О.И., Кушнарев П.Н., Таранов С.М. Математические методы в геологии: Учебное пособие. - М.: 1991. - 205 с.
3. Деч В.Н., Кноринг Л.Д. Методы изучения периодических явлений в геологии. – Л.: 1985. - 250 с.
4. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – 318 с.
5. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. – М.: Радио и связь, 1997 – 112 с.
6. Гавришин А. И., Корadini А. Происхождение и закономерности формирования химического состава подземных и шахтных вод в Восточном Донбассе // Водные ресурсы - том 36, № 5. - сентябрь-октябрь 2009. - С. 564-574.
7. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрохимия: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
8. Гідрогеологія та інженерна геологія глибоких горизонтів Донбасу. Під. ред. Попова В.С., Скабаллановича І.А. – К.: «Наукова думка». – 1974. – 162 с.
9. Гидрогеология СССР. Том VI. Донбасс. Под ред. Сидоренко А. В. – М.: «Недра» - 1971. – 338 с.