

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ДОНБАССЕ

А.И. ГАВРИШИН

*Южно-Российский государственный политехнический университет, им. М.И. Платова
346428, Россия, г. Новочеркасск ул. Просвещения 132, ЮРГПУ, ФГТУНД; e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Классификационная процедура — *G*-метод, применена для выделения однородных таксонов и их сравнения. При формировании химического состава подземных вод в Донбассе обнаружены прямая и обратная гидрогеохимическая зональность (для вод в отложениях С, К, палеогена и N). Химический состав подземных вод при прямой зональности изменяется от $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ низкой минерализации до $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ высокой минерализации и по обратной зональности — до $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ маломинерализованных содовых вод. Происхождение содовых вод связывается с процессами испарения и конденсации вод из нефтегазовой фазы.

Ключевые слова: подземные воды; химический состав; зональность; Донбасс.

PATTERNS OF VERTICAL GEOCHEMICAL ZONALITY OF GROUNDWATER IN DONBASS

A.I. GAVRISHIN

*Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute)
346428, Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosvescheniya street, 132; FGGND, PG; e-mail: agavrishin@rambler.ru*

The classification procedure referred to as the *G*-mode was applied to isolate hydrogeochemical homogeneous taxons in space and to compare them. Two geochemical tendencies were found in forming of groundwater chemical composition of the Donbass region: of direct and reverse hydrogeochemical zoning (for groundwater in Carbon, Cretaceous, Paleogene and Neogene deposits). The groundwater chemical composition changes from $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ low salinity to $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ high salinity at the first tendency and to $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ low mineralized soda water to the second tendency. The origin of the soda-water is related to the processes of evaporation and condensation of water from out of CH-rich gas phase.

Key words: ground water; chemical composition; zoning, Donbass.

По результатам обобщения более 1500 анализов шахтных вод Восточного Донбасса (с 20-х гг. XX в. до 2010 г.) с помощью *G*-метода многомерного классификационного моделирования [2, 4, 8, 9] выявлены шахты с водами содового состава. Такие воды обнаружены в 19 из 107 обследованных угольных шахт (18 %). Например, в центральном Гуково-Зверевском угленосном районе все такие шахты расположены в непосредственной близости одна от другой; гидравлически связаны между собой; в тектоническом отношении приурочены к северному крылу Должано-Сулино-Садкинской синклинали с наличием многочисленных тектонических нарушений. Ведущую роль в районе играют Главный Гуковский, Главный Гундоровский, Ко-

реновско-Гнилушанский надвиги, Ивановский, Платовский и другие сдвиги. Такая тектоническая обстановка способствовала проникновению содовых вод к поверхности и затем в горные выработки угольных шахт и формированию ловушек газа и нефти. Чтобы понять генезис выделенных направлений изменения состава шахтных вод необходимо изучить закономерности формирования химического состава подземных вод региона.

Методика исследований

Выявление и количественное описание гидрогеохимических закономерностей выполнено с применением компьютерной технологии AGAT-2, ре-

ализующей G -метод классификации многомерных наблюдений (выделение однородных совокупностей), который основан на оригинальном критерии Z^2 — Гавришина [2, 5, 8, 9]. Для зависимых признаков и независимых наблюдений критерий имеет следующий вид:

$$Z^2 = \frac{M}{r_{sk}^2} \sum_{ij} \frac{MN(X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{S_j^2} K_{ij}^{MN} Z_{ij}^2,$$

$$G = \frac{\sqrt{2z^2}}{\sqrt{2(f-1)}},$$

$$f = K \cdot M \cdot N,$$

где X_{ij} — значение признака j в наблюдении i ; $\bar{X}_j$, S_j — среднее и стандартное отклонение признака j ; r_{sk} — коэффициент корреляции между признаками s и k ; M — число признаков; N — число наблюдений; f — число степеней свободы; G — преобразования распределения χ^2 к нормальному с параметрами (0,1). Если вычисленное $G > G_q$, то наблюдение (или N наблюдений) не принадлежат к данному однородному классу наблюдений с уровнем потерь q .

G -метод [2, 4, 9] характеризуется следующими наиболее важными свойствами: построение классификации многомерных наблюдений при отсут-

ствии априорных сведений о таксономической структуре наблюдений (задача без учителя); использование зависимых признаков; выделение таксонов различного уровня детальности; оценка сходства-различия между однородными таксонами; определение информативности признаков.

Кроме G -метода при интерпретации гидрогеохимических данных применены разнообразные математико-статистические процедуры, в том числе корреляционный и регрессионный анализы. В простейшем случае для описания прямолинейной зависимости использован парный коэффициент корреляции r и общее регрессионное уравнение:

$$y = a + bx,$$

где a — свободный член в уравнении регрессии; b — угловой коэффициент, показывающий интенсивность изменения y в зависимости от изменений значений x .

Для описания криволинейных зависимостей предложена универсальная функция:

$$y = \sum_i a_i 10^{\frac{(\lg x - b_i)^2}{c_i}},$$

где a_i — коэффициенты, характеризующие модальные (вершины) значения функции; b_i — коэффи-

Таблица 1

Состав геохимических видов подземных вод каменноугольных отложений (мг/л и %-моль)

Тенденция	Вид	Н	pH	Компоненты						М
				HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
1	1,6	40	7,1	404	355	46	111	47	134	900
				44	48	8	37	25	38	
	1,2	79	7,7	351	425	213	158	58	183	1200
				28	43	29	38	24	38	
	1,3	82	7,7	395	790	315	185	99	333	1900
				20	52	28	29	26	45	
	2,2	102	8,0	380	810	1180	275	168	660	3300
				11	30	59	24	25	51	
	2,1	106	8,0	387	1160	786	316	177	506	3010
				12	46	42	30	28	42	
	3,1	333	8,3	293	86	14700	1300	532	6920	24000
				1	0,4	98,6	18	11	71	
2	A,1	730	8,4	290	73	33930	3500	1100	16000	55000
				0,5	0,2	99,3	18	10	72	
	1,4	28	6,8	247	65	18	71	16	25	320
				68	24	8	59	22	19	
	1,1	50	7,4	382	114	57	65	41	82	550
				61	23	16	32	33	35	
	1,5	73	7,2	310	176	56	90	34	68	580
				49	36	15	44	28	28	
	1,7	100	7,6	372	450	173	98	118	128	1153
				30	46	24	24	48	28	
	4,1	380	7,8	548	418	1250	46	38	1100	3100
				17	16	67	4	6	90	

циенты, характеризующие расположенные по оси x модальных значений; c_i — коэффициенты, характеризующие пологость линии регрессии; i — номер модального значения.

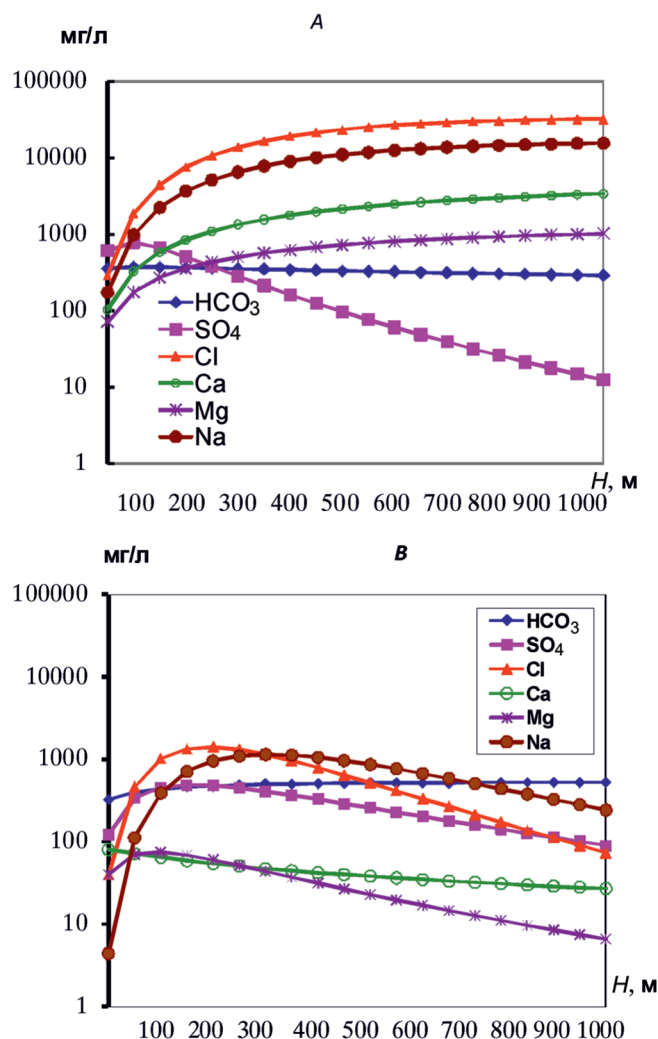
В название вод ионы включаются при содержании более 25 % молей и компоненты располагаются в порядке возрастания содержаний.

Вертикальная геохимическая зональность подземных вод

Наиболее значительные притоки в угольные шахты Донецкого бассейна формируют воды каменноугольных, меловых, палеогеновых и неогеновых отложений. Для выявления и количественного описания вертикальной геохимической зональности перечисленных комплексов подземных вод были использованы химические анализы проб вод, отобранных из скважин [6]. Применение последовательного классификационного моделирования с помощью G -метода позволило выявить два главных типа вертикальной геохимической зональности (прямая и обратная) состава подземных вод, которые оказались уникально подобны одни другим для вод всех указанных водоносных комплексов; рассмотрены на примере вод каменноугольных отложений.

Воды каменноугольных отложений на изученной территории отличаются высокой неоднородностью химического состава: изменяются от гидрокарбонатных кальциевых до хлоридных натриевых, минерализация колеблется от 0,2 до 57,2 г/л, содержания Cl^- — 0,012–35,6, Na^+ — 0,002–17,6 г/л и т. д. В водах по химическому составу были выделены 11 однородных геохимических видов (табл. 1). Интересные закономерности выявлены при изучении детальной классификации вод по видам в координатах «глубина (H) — содержание компонента — минерализация (M)». Уверенно выделяются две главные геохимические тенденции в изменении состава подземных вод каменноугольных отложений по глубине, которые отражают прямую и обратную вертикальную геохимическую зональность подземных вод. В табл. 1 геохимические виды расположены по мере увеличения глубины залегания вод и по геохимическим тенденциям.

Первая тенденция типична для прямой вертикальной геохимической зональности и, несмотря на высокую неоднородность состава вод, она характеризуется по мере увеличения глубины залегания закономерным переходом от маломинерализованных гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-сульфатных смешанного катионного состава вод к хлоридно-сульфатным и сульфатно-хлоридным смешанного катионного состава и далее к минерализованным хлоридным натриевым (табл. 1, рисунок).



Графики изменения состава вод каменноугольных отложений (А — прямая, В — обратная зональность)

Главную роль в формировании химического состава вод каменноугольных отложений по первой тенденции играют Cl^- и Na^+ , содержание которых возрастает с глубиной, причём уменьшается содержание SO_4^{2-} . Закономерности изменения состава вод с глубиной видны из табл. 2 и рисунка. Так, увеличение содержания SO_4^{2-} сменяется на уменьшение ($H_{\max} = 90$ м), парный коэффициент корреляции незначим, в то время как криволинейная корреляция значима ($r_1 = 0,66$) и уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$\text{SO}_4 = 790 \cdot 10^{\frac{(\lg H - 1,96)^2}{0,6}}.$$

Относительно генезиса первой геохимической тенденции можно вполне уверенно констатировать, что с глубин 150–200 м начинает ослабевать доля инфильтрационного фактора в формировании химического состава подземных вод и нарастает роль седиментационного.

Вторая тенденция отражает обратную вертикальную геохимическую зональность состава под-

Таблица 2

Параметры криволинейных уравнений регрессии содержаний компонентов в подземных водах по глубине в каменноугольных отложениях Донбасса

Тенденция	Компонент	a_i	b_i	c_i	r_i	$H_{\max}$
1	HCO ₃	372	2,06	8,23	0,3	115
	SO ₄ ²⁻	790	1,96	0,6	0,66	90
	Cl ⁻	32200	3,05	0,89	0,90	>1000
	Ca ²⁺	4550	3,5	1,97	0,82	>3000
	Mg ²⁺	1280	3,5	2,6	0,82	>3000
	Na ⁺	15950	3,1	1,0	0,92	>1000
	M	54000	3,13	1,16	0,90	>1000
2	HCO ₃	525	3	8,2	0,46	>1000
	SO ₄ ²⁻	491	2,32	0,63	0,52	210
	Cl ⁻	1400	2,38	0,3	0,91	240
	Ca ²⁺	83	1,44	5,0	0,34	30
	Mg ²⁺	75	2,14	0,7	0,62	140
	Na ⁺	1150	2,55	0,3	0,93	350
	M	3300	2,45	0,45	0,89	280

Примечание. a_i — максимум в мг/л, b_i — расположение максимума по глубине (в $\lg H$), c_i — крутизна линии регрессии, r_i — коэффициент криволинейной корреляции, $H_{\max}$ — глубина максимума в м.

земных вод каменноугольных отложений, когда незначительное возрастание минерализации вод с глубиной сменяется на её уменьшение и формирование вод содового типа. Указанные закономерности хорошо описываются криволинейной показательной функцией (табл. 2) с высокими коэффициентами корреляции (r_i).

Воды, по обратной вертикальной геохимической зональности, с глубиной переходят от гидрокарбонатных кальциевых к сульфатно-гидрокарбонатным и гидрокарбонатно-сульфатным смешанного катионного состава и далее к гидрокарбонатно-хлоридным и хлоридным натриевым (содовым) с минерализацией 2—3 г/л; второй тип вод сменяется на первый с повышенным содержанием HCO₃ и очень низкими концентрациями — Ca²⁺ и Mg²⁺. Критически рассмотрены наиболее обоснованные гипотезы происхождения маломинерализованных содовых вод: инфильтрационная, ювенильная, де-

гидратационная и испарительно-конденсационная [5]. Для Донецкого бассейна как наиболее вероятная принята гипотеза происхождения содовых вод за счёт процессов конденсации водяных паров из водоуглеродной газовой среды [3, 5, 7].

Аналогичная вертикальная гидрогеохимическая зональность помимо каменноугольных отложений обнаружена в меловых, палеогеновых и неогеновых отложениях с очень близкими закономерностями распределения содержаний компонентов. Содовые воды в изученном регионе приурочены к зонам вертикальной тектонической трещиноватости. Принимая гипотезу испарительно-конденсационного генезиса содовых вод, необходимо признать наличие в пределах Донецкого бассейна (частично обнаружены [1]) в определенных ловушках нефтегазовых скоплений, как это имеет место в сопредельных геологических структурах (Днепровско-Донецком, Донецко-Донском, Азово-Кубанском и других бассейнах).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобух В.А., Чихирин А.А., Тюльдин В.Н. Региональное надвигообразование северных окраин Восточного Донбасса в связи с формированиями залежей УВ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 7. С. 22—28.
2. Гавришин А.И. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ. М.: Недра, 1974. 146 с.
3. Гавришин А.И. О генезисе маломинерализованных содовых вод Донбасса // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 5. С. 668—670.
4. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. М.: Недра, 1994. 92 с.
5. Гавришин А.И., Корadini А. Происхождение и закономерности формирования химического состава подземных и шахтных вод в Восточном Донбассе. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 5. С. 564—574.
6. Гидрогеология СССР. Донбасс. М.: Недра, 1970. 480 с.
7. Колодий В.В. Подземные конденсационные и седиментационные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений. Киев: Наук. думка, 1975. 124 с.
8. Gavrishin A.I., Coradini A., Cerroni O. Multivariate classification method in planetary sciences // Earth, Moon Planets. 1992. N 59. P. 141—152.
9. Gavrishin A.I. The Methodological Aspect of Development and Application Multivariate Classification G-Mode for Analyses Geochemical Trend // Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics. 2014. Vol.1. No. 1. P. 21—27.