

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД ШИРАЗСКОЙ И ХОРРАМАБАДСКОЙ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН ИРАНА

*Определение сходства химического состава подземных вод многих скважин и источников по большому количеству химических элементов и соединений (10 и более) очень трудная задача. Нами предложен новый способ определения сходства химических составов подземных вод. Способ базируется на использовании кластерного анализа. Применение этого анализа позволяет находить подземные воды со сходным химическим составом в разных районах и водоносных горизонтах, прогнозировать возможное их загрязнение и избежать их истощения.*

*Метод опробован при сравнении химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана. Было установлено, что грунтовые воды в этих межгорных впадинах имеют близкий химический состав.*

**Ключевые слова:** Иран, Ширазская и Хоррамабадская межгорные впадины, грунтовые воды, химический состав, кластерный анализ, сходство.

**Амджади Азиз. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ГРУНТОВИХ ВОД ШИРАЗЬКОЇ І ХОРАМАБАДСЬКОЇ МІЖГОРНИХ ВПАДИН ІРАНУ.** *Визначення подібності хімічного складу підземних вод багатьох свердловин і джерел за великою кількістю хімічних елементів і сполук (10 і більше) дуже важка задача. Нами запропоновано новий спосіб визначення подібності хімічного складу підземних вод. Спосіб базується на використанні кластерного аналізу. Використання цього аналізу дозволяє знаходити підземні води із подібним хімічним складом в різних районах і водоносних горизонтах, прогнозувати можливе їх забруднення і запобігати їх виснаженню. Метод використовувався при порівнянні хімічного складу грунтових вод Ширазької і Хоррамабадської міжгірних впадин Ірану. Було встановлено, що ґрунтові води в цих міжгірних впадинах мають близький хімічний склад.*

**Ключові слова:** Іран, Ширазька і Хоррамабадська міжгірські впадини, ґрунтові води, хімічний склад, кластерний аналіз, подібність.

### *Постановка проблемы.*

Грунтовые воды Ширазской межгорной впадины широко используются для водоснабжения, в промышленности, полива сельскохозяйственных культур и других целей. Грунтовые воды впадины в зоне питания имеют минерализацию до 1 г/дм<sup>3</sup>, а в зоне разгрузки минерализация заметно повышается, что связано с континентальным засолением и антропогенным загрязнением (удобрения, отходы химического производства и отливы из шахт). Грунтовые воды сульфатно-хлоридного кальциево-магниевого состава, удовлетворяющие питьевым нормам. Тип воды на северо-западе и на юго-востоке впадины – гидрокарбонатный кальциево-магниевоый. Грунтовые воды содержат также тяжелые металлы.

В настоящее время планируется более широко использовать и грунтовых вод Хоррамабадской впадины, поэтому возникла необходимость в сравнении химических составов грунтовых вод этих межгорных впадин. Это позволит выявить подобию или различия условий питания, разгрузки, процессов, определяющих формирование химического состава, возможного их загрязнения и истощения грунтовых вод Хоррамабадской межгорной впадины и разработать мероприятия по их предотвращению.

*Анализ публикаций и определение не решенных проблем.*

Геологическое строение и гидрогеологические условия Хоррамабадской межгорной впадины изучалась иранскими фирмами: (Сангаб, 2010 г., 1980 г.); (Абкав, 1970 г.); (NKRC, 1995 г., 1997 г.) [5,7]. Этими фирмами были построены

геологическая и гидрогеологическая карты, изучен химический состав грунтового водоносного горизонта, определены гидрогеологические параметры водоносного горизонта. Большой вклад в изучение гидрогеологических условий Хоррамабадской межгорной впадины внесла кафедра гидрогеологии МГУ (Шестаков В.М.) [3].

Фирмы Сангаб (2010 г.), Абкав (1980 г.), NKRC (1991 г., 1996 г., 1997 г.), Махабкодс (1975 г.) и Параб (1993 г., 1997 г.) [5-8] изучали геологическое строение и гидрогеологические условия, химический состав и гидрогеологические параметры грунтовых вод Ширазской межгорной впадины.

Результаты этих исследований нашли свое отражение в таких публикациях: Джемз и Виндс, Штеклин, Веллз, Кент, Сетудения и Алави [2,3,4].

Вопросу применения кластерного анализа для определения сходства химического состава подземных вод посвящены работы Девиса Д.С., Искенрога К.Г., Решетова И.К., Чомко Д.Ф., Чомко Ф.В., Сейфэльдина Г.Х., Таранова В.Г. и др. [9-14].

Литературы по вопросу применения кластерного анализа для определения сходства химического состава подземных вод в Иране нет.

### *Цель исследований.*

В настоящее время для сравнения химических составов подземных вод разных районов, водоносных горизонтов и водозаборов все чаще применяются методы многомерного статистического анализа.

Эти методы являются одними из самых эффективных средств выявления закономерностей, скрытых в больших массивах данных, поскольку в гидрогеологии, как правило, отсутствует возможность непосредственного их наблюдения и измерения. О них можно судить лишь по конечным результатам проявления процессов, отражающихся в значениях различных характеристик, например в химическом составе вод.

Для определения сходства химического состава подземных вод разных районов и водоносных горизонтов в настоящее время используются различные аналитические методы и математическое моделирование.

Химический состав подземных вод является конечным продуктом воздействия не одного, а целой совокупности природных и техногенных процессов (условий питания и разгрузки, ионного обмена, антропогенного загрязнения и т.д.). Влияние этих процессов в подземных водах сказывается на взаимосвязанном изменении содержания химических компонентов и на характере связей между ними. Однако, эти связи в наблюдаемых компонентах подземных вод в "чистом виде" не сохраняются. Корреляционные зависимости между наблюдаемыми значениями переменных фактически являются конечным результатом действия всей совокупности процессов.

В условиях ненарушенного стока любой водоносный горизонт представляет собой сбалансированную систему. В процессе его эксплуатации баланс воды водоносного горизонта существенно изменяется, при этом должна произойти компенсация отбора подземных вод за счет увеличения интенсивности питания. Дополнительное питание возможно за счет перетекания подземных вод из ниже- и вышележающих водоносных горизонтов и привлечения поверхностных вод.

Привлекаемые воды имеют некоторые различия в химическом составе. При фильтрации привлеченных вод вследствие контакта с породой и их смешения происходит изменение химического состава. Эти изменения направлены на сближение их химического состава с химическим составом вод водоносного горизонта. Очевидно, что химический состав подземных вод в каждой скважине является результатом смешения в той или иной пропорции пластовой воды с привлекаемыми водами.

Для выяснения степени близости химического состава подземных вод из каждой скважины с водами смежных горизонтов и поверхностными водами и процессов, являющимися определяющими в формировании химического

состава подземных вод, мы предлагаем применять кластерный анализ.

Критерием оценки близости химического состава разных вод предлагается евклидово расстояние в  $n$ -мерном пространстве. Этот показатель вычисляется для любого количества гидрохимических компонент. Влияние отдельной компоненты на показатель взаимосвязи не зависит от ее абсолютного значения, а зависит от относительной разницы по этой компоненте между привлекаемыми водами и водами из скважин, оцениваемой по ее вкладу в показатель веса. Вес компоненты определяется как отношение ее среднего значения к среднему значению всех компонент в отдельности по всем объектам.

Кластерный анализ выполняется по агломеративной иерархической процедуре с построением дендрограммы (одномерного графа), изображающей взаимные связи между объектами. Сущность агломеративной кластерной процедуры состоит в вычислении функции расстояния между всеми парами объектов и объединении на каждом шаге той пары объектов, для которой достигается минимум евклидова расстояния. Это позволяет в структуре евклидова пространства выделить несколько кластеров, в которые объединяются воды сходного химического состава, т.е. объединение проб воды, близких по химическому составу. Кластерный анализ химического состава вод выполняется по способу «полной связи». Способы «ближнего» и «дальнего соседа» дают сходные результаты.

Пусть множество  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  это данные химического состава грунтовых вод из скважин и источников разных районов Ширазской и Хоррамабатской межгорных равнин обозначает  $n$  объектов, принадлежащих некоторой популяции  $\pi_1$ . Предположим, что каждый объект обладает некоторым множеством наблюдаемых показателей  $C = (C_1, C_2, \dots, C_p)^T$ . Наблюдаемые показатели являются количественными данными и называются измерениями. Они характеризуют химические свойства в каждом анализе  $I$ . Результат измерения  $i$ -той характеристики  $I_j$  объекта обозначим символом  $X_{i,j}$ , а вектор  $X_j = [x_{i,j}]$  размерности  $P=I$  отвечает каждому ряду измерений для  $j$ -го индивида. Таким образом, для множества индивидов  $I$  располагаем множеством векторов измерений  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , которые описывают множество  $I$ .

Евклидово расстояние в  $n$ -мерном пространстве, определяется по формуле:

$$D_{i,j} = \sqrt{\sum_{K=1}^N (X_{K,i}^S - X_{K,j}^S)^2} \quad (1)$$

где:

$D_{i,j}$  – евклидово расстояние;

$N$  – количество признаков (количество определенных химических элементов и соединений в анализе того или иного объекта);

$X_{k,i}^S$  – стандартизованное значение  $K$ -го признака  $i$ -го объекта;

$X_{k,j}^S$  – стандартизованное значение  $K$ -го признака  $j$ -го объекта;

Стандартизация значение  $K$ -го признака  $i$ -го объекта проводится по формуле:

$$X_{k,i}^S = \frac{X_{k,i} - \bar{X}_K}{\sigma_K}, \quad (2)$$

где:

$X_{k,i}$  – значение  $K$ -го признака  $i$ -го объекта;

$\bar{X}_K$  – среднее значение  $K$ -го признака по  $N$  объектам;

$\sigma_K$  – среднеквадратическое отклонение  $K$ -го признака по  $N$  объектам.

Стандартизация значение  $K$ -го признака  $j$ -го объекта проводится по формуле:

$$X_{k,j}^S = \frac{X_{k,j} - \bar{X}_K}{\sigma_K}, \quad (3)$$

где:

$X_{k,j}$  – значение  $K$ -го признака  $j$ -го объекта;

$\bar{X}_K$  – среднее значение  $K$ -го признака по  $N$  объектам;

$\sigma_K$  – среднеквадратичное отклонение  $K$ -го признака по  $N$  объектам.

Для корректного составления дендрограммы проводится стандартизация (нормирование) исходных данных. Стандартизация представляет собой переход к некоторому единообразному описанию для всех измерений (признаков), введению новой условной единицы измерения  $Z$ , допускающей формальные сопоставления объектов. Программа проводит стандартную нормировку измерений в среднеквадратичных отклонениях по формуле:

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma}, \quad (4)$$

где:  $\bar{X}, \sigma$  – соответственно среднее и среднеквадратичное отклонение  $X$ .

Условная единица измерений  $Z$  вычисляется для любого количества химических элементов. Влияние отдельной компоненты на показатель не зависит от ее абсолютного значения, а зависит от относительной разницы по этой компоненте на разных объектах, оцененной по ее вкладу в показатель веса. Вес компоненты определяется как отношение среднего значения этой компоненты к среднему значению всех

компонент, рассчитанных в отдельности по всем объектам.

Для реализации этой методики использованы данные химических анализов грунтовых вод из 36 скважины и 25 источников, расположенных в Ширазской и Хорремабадской межгорных впадинах.

Определения химического состава грунтовых вод выполнены в одной аккредитованной лаборатории в Тегеране на один тот же момент времени (июль).

Для расчетов принимались такие показатели химического состава грунтовых вод: Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, pH, минерализация, Cd, Co, Ba, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn и Fe. Таким образом, каждый из 61 химических анализов грунтовых вод интерпретируется как точка в 17-тимерном пространстве.

Химический состав грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин приведены в табл. 1.

Кластерный анализ выполнялся по программе CLUSTER, разработанной на кафедре гидрогеологии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Эта программа реализует агломеративный иерархический алгоритм полной связи с построением дендрограммы – одномерного графа, изображающего взаимные связи между объектами.

*Основные результаты кластерного анализа.*

По результатам кластерного анализа общей матрицы построена диаграмма расстояний объединения по шагам (рис. 1), и дендрограмма (рис. 2). На рис. 1 видно, что объединение всех объектов произошло за 61 шаг. Минимальное расстояние объединения (евклидово расстояние) на первом шаге равно 0,000 и максимальное – 4915,628 на последнем шестидесятом шаге. Основное количество объектов (48) объединилось между собою на расстояниях от 0,000 до 770,812. Это, по нашему мнению, свидетельствует об однородности химического состава грунтовых вод, отобранных в Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадинах.

На дендрограмме (рис. 2) видно, что в результате кластерного анализа все анализы химического состава грунтовых вод из скважин и источников, расположенных на различных участках Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин, разбиты на четыре кластера (группы), которые в свою очередь распадаются на более мелкие подгруппы.

*Первый кластер* состоит из 2-х больших подкластеров (подгрупп).

Таблица 1

Химический состав грунтовых вод (мг/дм<sup>3</sup>)  
Ширазская межгорная впадина

Тип источника	Cd	Co	Ba	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Fe	PH	Cl	Hco3	So4(мг/л)	Ca(мг/л)	Mg(мг/л)	Na(мг/л)	Tds(мг/л)	ЕСμмо
Пирбона.ск	0.007	0,00001	0.001	0.014	0,00001	0.01	0,00001	0.393	0.032	8,3	43	165	202	68	50	28	530	740
Пол беренджи.ра	0.007	0,00001	0.028	0.015	0.017	0.004	0,00001	0.425	0.214	8,3	391	195	79	72	28	201	940	1670
Бабахаджи.ск	0.004	0.005	0,00001	0.003	0.008	0.03	0.001	0.145	0.027	8,3	53	185	231	78	50	41	580	937
Полфаса.ск	0.008	0,00001	0.002	0.019	0,00001	0.02	0,00001	0.398	0.038	8,2	58	201	210	74	51	38	605	904
Бармедаде.ра	0.004	0.011	0.003	0.014	0,00001	0.01	0,00001	0.388	0.039	7,8	56	238	189	72	54	36	617	873
кафтарак.ск	0.005	0.013	0.005	0.005	0.005	0.015	0.023	0.039	0.038	8,2	57	256	192	74	54	33	630	869
Бармеделак2.ра	0.008	0.015	0.004	0.006	0.006	0.014	0.026	0.04	0.037	7,8	57	305	154	82	55	33	640	869
Барметаер.ра	0.008	0.015	0.004	0.006	0.006	0.014	0.026	0.04	0.037	7,5	184,9	305	205	104	67	378	1571	2290
Бармешур.ск	0.006	0.01	0.001	0.01	0.014	0.016	0.007	0.244	0.162	7,9	185	305	230	117	77	548	1974	3050
Бармехан.ра	0.006	0.03	0.015	0.377	0.051	0.044	0.046	0.122	1.472	8,3	1018	244	255	120	80	718	2380	3810
Бармебабунак.ра	0.002	0.01	0.014	0.012	0.007	0.004	0.023	0.04	0.12	8,3	1206	244	264	160	61	856	2700	4346
Солтанабад.ск	0.002	0.012	0.035	0.006	0.014	0.01	0.016	0.018	0.096	8,2	85	194	283	94	64	58	760	1132
Шапур.ск	0.002	0.015	0.03	0.017	0.048	0.004	0.23	0.057	0.298	8	85	180	283	98	43	50	665	1035
Круни.ск	0.006	0.01	0.025	0.024	0.059	0.087	0.041	0.315	1.391	8,5	92	207	288	118	58	57	700	1170
Джарестан.ск	0.007	0.02	0.006	0.009	0.005	0.009	0.002	0.196	0.203	8	71	195	264	90	52	45	686	1000
Гачи.ск	0.004	0.018	0.004	0.015	0.012	0.039	0.032	0.051	0.099	7,4	64	220	231	98	47	40	665	936
Махмудабад.ск	0.005	0.015	0.023	0.021	0.056	0.085	0.038	0.305	1.384	8,2	64	220	250	94	47	40	677	918
Пирмохамад.ск	0.007	0,00001	0.029	0.016	0.018	0.005	0,00001	0.429	0.218	7,9	185	225,5	154	71	39	25	518	703
Хатунак.ск	0.006	0.009	0.024	0.017	0.017	0.082	0.027	0.025	0.047	7,88	184,9	225,52	107	58	36	17	435	509

Моннабад.ск	0,006	0,005	0,00001	0,013	0,00001	0,00001	0,039	0,13	0,054	7,3	21	214	59	46	33	10	351	486
Хабир.ск	0,006	0,004	0,016	0,011	0,00001	0,021	0,024	0,147	0,002	7,6	18	232	62	60	28	13	376	520
Шамс.ск	0,002	0,003	0,018	0,035	0,008	0,004	0,016	0,063	0,046	7,3	25	299	106	84	34	21	501	695
Мансурабад.ск	0,01	0,014	0,004	0,018	0,032	0,019	0,042	0,065	0,219	7,4	21	226	67	56	27	13	367	537
Мохамед.ск	0,004	0,036	0,037	0,036	0,025	0,049	0,045	0,092	0,264	7,6	25	226	73	52	30	19	384	545
Касргоше.ск	0,007	0,027	0,043	0,039	0,012	0,036	0,019	0,09	0,128	7,8	333	226	1047	349	27	213	2130	2950
Саади.ск	0,00001	0,01	0,00001	0,011	0,003	0,019	0,02	0,173	0,295	7,4	142	232	744	221	61	171	1327	2280
Абхан.ск	0,00001	0,017	0,038	0,039	0,095	0,038	0,023	0,146	1,338	8,1	301	275	288	94	75	201	1190	1820
Алибад.ск	0,006	0,02	0,005	0,019	0,016	0,04	0,036	0,065	0,01	7,3	50	281	180	80	49	32	624	854
Баграм.ск	0,00001	0,021	0,013	0,027	0,018	0,00001	0,027	0,073	0,047	8	234	238	317	92	90	133	1715	2500

*Хоррамабадская межгорная впадина*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
Рашиди-Дар Ск	0,0005	0,004	0,015	0,003	0,00001	0,0004	0,0008	0,005	0,048	7,28	80	300	60	230	170	13	384	600
Мелекшахи ск	0,00008	0,0008	0,074	0,048	0,00001	0,001	0,005	0,00001	0,11	7,02	30	510	57	350	240	6	441	690
Насерванд ск	0,00009	0,001	0,066	0,004	0,0004	0,0013	0,0005	0,007	0,00001	7,41	60	400	157	280	220	108	364	570
Дехбагер ск	0,00005	0,001	0,01	0,002	0,004	0,0016	0,0008	0,0009	0,059	7,21	130	570	3	390	280	29	643	990
Борджалы ист	0,0001	0,001	0,192	0,001	0,001	0,003	0,0002	0,014	0,04	7,41	20	320	20	180	200	1	236	370
Сорхе де ра	0,00008	0,003	0,2	0,001	0,001	0,003	0,0001	0,008	0,056	7,83	330	390	178	340	240	290	650	1000
Робат намаки ск	0,00009	0,001	0,17	0,001	0,001	0,003	0,0005	0,004	0,021	7,71	160	460	55	350	300	20	507	780
Келмехуб ра	0,0002	0,002	0,21	0,003	0,00002	0,005	0,001	0,0008	0,11	7,4	80	530	143	360	250	108	409	640
Чешмебид ра	0,0001	0,002	0,23	0,003	0,0005	0,005	0,003	0,019	0,04	7,38	40	350	14	390	10	4	188	450
Сараб сага ра	0,0002	0,003	0,09	0,002	0,00001	0,0034	0,0007	0,004	0,07	7,5	40	530	92	430	200	26	416	650

Гале джогд ра	9,0001	0,001	0,08	0,0009	0,0009	0,003	0,0002	0,006	0,016	7,32	20	360	5	330	50	6	294	460
Сашме чераг ра	0,0002	0,001	0,2	0,002	0,00002	0,002	0,004	0,004	0,001	7,23	70	430	11	330	110	65	371	580
Сабур ск	0,00009	0,008	0,08	0,046	0,00001	0,002	0,005	0,005	0,9	7,54	40	380	52	340	110	18	294	460
Сашме сорхе ра	0,00008	0,0014	0,01	0,002	0,003	0,0017	0,0009	0,0009	0,06	7,97	70	330	71	300	110	39	275	430
Навекеш ра	0,00001	0,002	0,08	0,005	0,0006	0,002	0,006	0,008	0,1	7,18	30	390	24	360	80	3	326	510
Гилуран ск	0,00005	0,003	0,015	0,003	0,00001	0,0005	0,0008	0,005	0,04	7,26	120	490	5	390	200	24	624	960
Сарабеяс ра	0,00007	0,004	0,01	0,005	0,00002	0,0004	0,00007	0,005	0,04	7,34	70	490	127	370	210	90	435	680
Кихриз ра	0,00008	0,003	0,015	0,006	0,00001	0,004	0,0007	0,004	0,049	7,64	30	270	98	250	8	56	224	350
Алибад ск	0,0001	0,0013	0,01	0,02	0,00004	0,004	0,00001	0,007	0,098	7,52	50	340	142	290	160	73	313	490
Чогаруши ск	0,00001	0,0013	0,07	0,005	0,0005	0,002	0,006	0,008	0,1	7,16	70	690	64	210	510	95	494	760
Сарнамак ск	0,0001	0,002	0,19	0,003	0,0003	0,003	0,0006	0,015	0,04	7,18	160	600	65	450	360	16	669	1030
Чангаий ра	0,00009	0,008	0,08	0,04	0,00003	0,001	0,04	0,05	0,09	7,23	80	470	9	380	160	16	468	720
Чамгарх ск	0,0001	0,0008	0,08	0,04	3E-06	0,001	0,00005	0,05	0,09	7,18	160	600	65	450	360	16	669	1030
Чаркал ск	0,00008	0,002	0,1	0,001	0,001	0,003	0,00001	0,008	0,05	7,47	285	810	193	260	440	600	838	1270
Доре ра	0,00005	0,001	0,08	0,006	0,0008	0,002	0,00007	0,009	0,15	7,02	30	610	57	350	240	96	441	690
Гуше оа	0,00008	0,0007	0,07	0,04	0,00001	0,001	0,004	0,004	0,09	7,66	10	290	90	350	40	1	236	370
Гардабсанги ра	0,0002	0,001	0,1	0,002	0,00007	0,004	0,0001	0,0008	0,09	7,38	40	350	14	390	10	4	288	450
Кив ра	0,00002	0,001	0,1	0,002	0,00005	0,003	0,001	0,0007	0,098	7,56	20	380	1	290	8	2	294	4650
Чешметала ра	0,00002	0,002	0,2	0,04	0,00001	0,003	0,004	0,003	0,053	8,16	60	450	9	350	150	9	345	540
Сарабгорчи ра	0,0002	0,003	0,08	0,05	0,00001	0,0035	0,005	0,005	0,09	7,41	60	400	157	280	220	108	364	570
Дарбаанд ск	0,002	0,001	0,06	0,007	0,0001	0,002	0,0008	0,0006	0,004	7,54	70	370	106	320	170	63	342	523
Балилванд ск	0,004	0,004	0,015	0,003	0,00005	0,0004	0,093	0,006	0,05	7,4	60	530	143	360	250	108	409	640

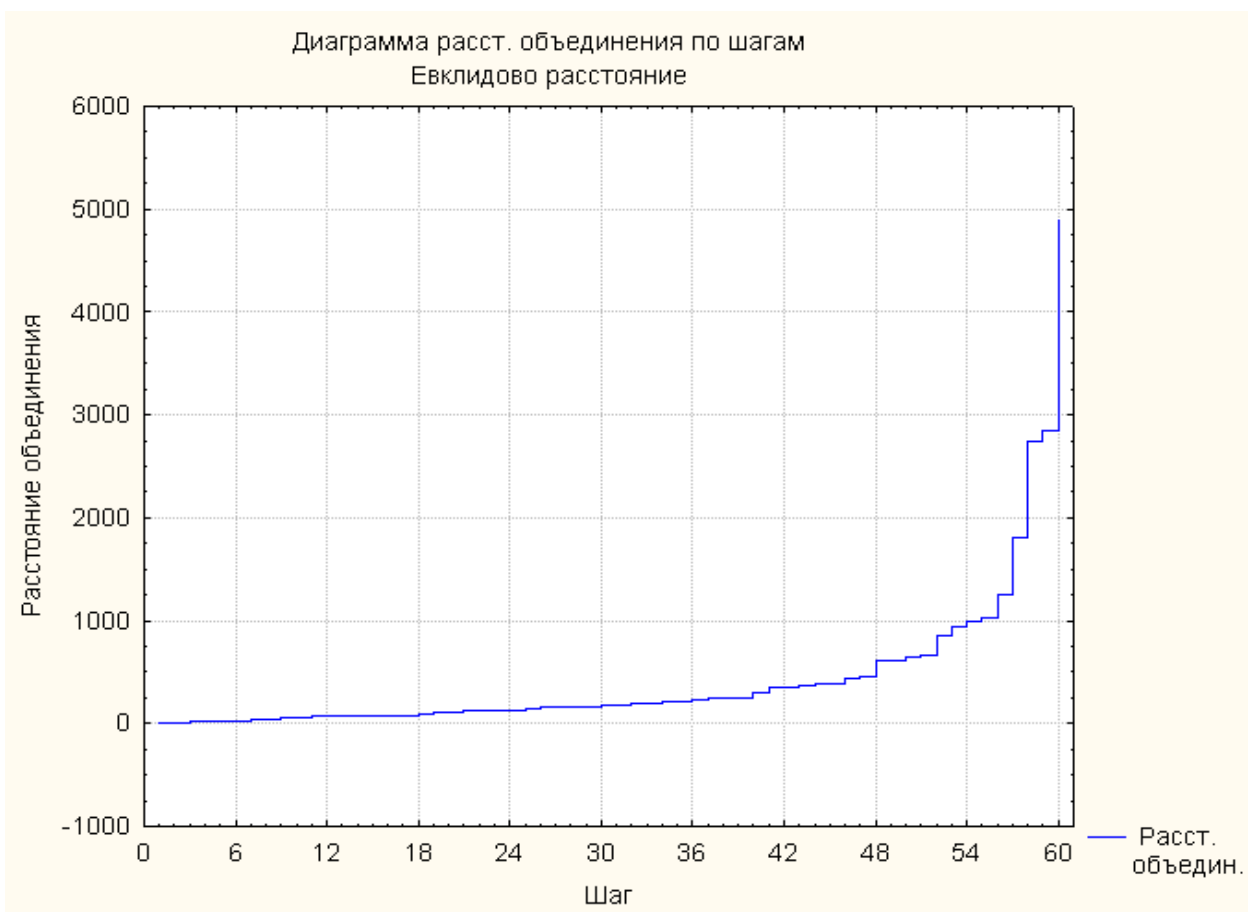


Рис. 1. Диаграмма расстояний объединения по шагам

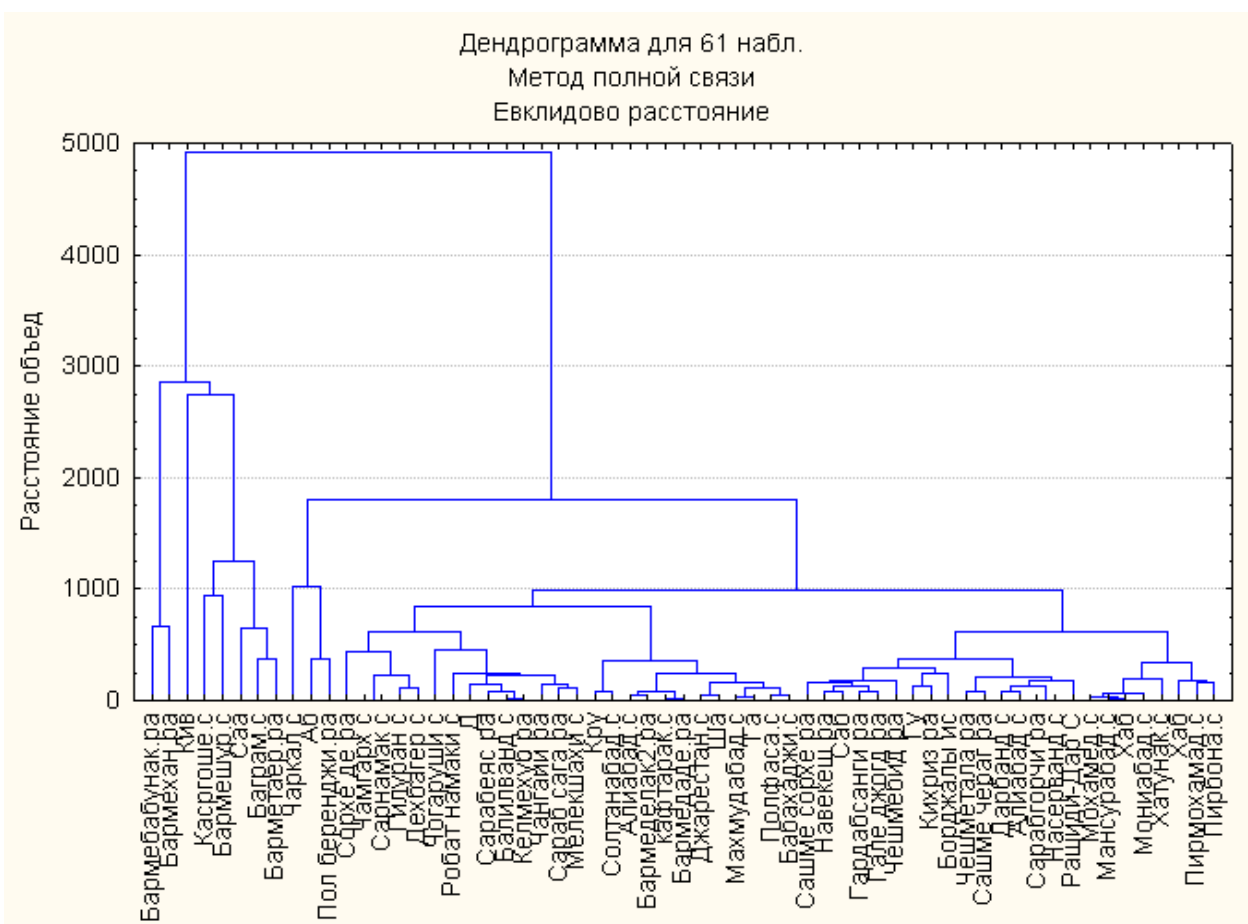


Рис. 2. Дендрограмма объединения 61 объектов (17 параметров)

В *первом подкластере* объединены анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из 8 скважин (Пирона, Пирмохамад, Шамс, Хатунак, Мониабанд, Хабур, Мансурабад, Мохамед) отобранных на разных участках Ширазской межгорной впадины. Объединение этих объектов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 3,380 до 30,453).

Во *2-й подкластер* объединены анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из 5 скважин (Рашид-Дарани, Насерванд, Алиабанд, Дарбанд, Сабур) и 11 источников (Сарабгорчи, Самше чераг, Чешметала, Борджалы, Кихриз, Гуше, Чешмебид, Гале джогд, Гардабсанги, Навакеш, Сашме сорхе) на разных участках Хоррамабадской межгорной впадины. Объединение этих объектов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 310,671).

Объединение этих двух подкластеров в первый кластер произошло на евклидовом расстоянии 547,282.

Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических анализов грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин в первом кластере, свидетельствует об их большой схожести.

Во *втором кластере* объединены химические составы проб грунтовых вод, отобранных из 10-и скважин и 2-х источников на разных участках Ширазской впадины и из 8-и скважин и 6-и источников Хоррамабадской впадины.

Второй кластер состоит из двух подкластеров (подгрупп).

В *первый подкластер* входят пробы грунтовых вод Ширазской впадины. Это скважины Бабахаджи, Полфаса, Гачи, Махмудабад, Шамс, Джарестан, Кафтарак, Алиабанд, Солтанабад, Круни и источники Бармедаде и Бармеделак.

Объединение этих объектов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 360,717).

Во *второй подкластер* объединились химические составы проб грунтовых вод из скважин Мелекшахи, Балилванд, Робат намаки, Чогаруши, Дехбагер, Гидуран, Сарнамак, Чамгарх и источников Сараб саха, Чангаий, Келмехуб, Сарабеяс, Доре и Хорхе де.

Объединение этих объектов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 536,157).

Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических анализов грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин и во втором кластере, свидетельствует об их большой схожести. Объединение этих двух подкластеров во второй

кластер произошло на евклидовом расстоянии 754,122, что не на много больше, чем в первом кластере. Это свидетельствует о том, что пробы грунтовых вод по химическому составу немного отличаются от проб первого кластера.

*Третий кластер* состоит из двух подкластеров. В первом подкластере произошло объединение химических составов грунтовых вод из скважины Абкан и источника Пол беранджина Ширазской межгорной впадины на евклидовом расстоянии 402,541. К ним на расстоянии 1015,489 присоединилась проба воды из скважины Чаркал Хоррамабадской впадины. На евклидовом расстоянии 1835,296 третий кластер объединяется с общим первым и вторым кластером. Химический состав грунтовых вод третьего кластера довольно сильно отличается от химического состава вод, входящих в первые два кластера.

*Четвертый кластер* состоит из трех разнородных подкластеров. В *первый подкластер* входят пробы грунтовых вод из источника Бартметаер и скважин Абхан и Саади Ширазской межгорной впадины, которые объединились на евклидовом расстоянии 754,064. К ним на евклидовом расстоянии 967,641 присоединяются скважины Бармешур и Карсгоше Ширазской межгорной впадины.

*Второй подкластер* состоит из химического состава пробы, отобранной из источника Кив Хоррамабадской впадины, который на большом евклидовом расстоянии (2739,312) объединяется с первым подкластером.

*Третий подкластер* включает в себя химический состав проб грунтовых вод, отобранных из источников Бармехан и Бармебабунак Ширазской межгорной впадины, который на большом евклидовом расстоянии (2869,122) объединяется с первыми двумя подкластерами.

Анализируя четвертый кластер, можно сделать вывод о том, что химический состав грунтовых вод резко отличается друг от друга и от химического состава вод, входящих в первые три кластера.

#### *Основные выводы*

- Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических составов грунтовых вод первого и второго кластеров, свидетельствует об их большой схожести.
- Пробы грунтовых вод второго кластера по химическому составу немного отличаются от проб первого кластера. Они объединяются между собой на немного большем евклидовом расстоянии, чем расстояние, на которых происходит объединение объектов в первом кластере.
- Химический состав грунтовых вод третьего кластера довольно сильно отличается от



химического состава вод, входящих в первые два кластера.

- Четвертый кластер состоит из трех разнородных подкластеров, химический состав грунтовых вод резко отличается друг от друга и от химического состава вод, входящих в первые три кластера. Эти грунтовые воды сильно загрязнены и находятся в зоне разгрузки, где минерализация заметно повышается, что связано с континентальным засолением и антропогенным загрязнением (удобрения, отходы химического производства и отливы из шахт).

Из приведенного выше анализа можно сделать выводы, что кластерный анализ позволяет:

- определять сходство и различия химического состава грунтовых вод;
- выделять участки со сходным и различным химическим составом грунтовых вод и оконтуривать их;
- при обнаружении любого негативного изменения химического состава грунтовых вод в Ширазской межгорной впадине можно судить об аналогичных изменениях и в Хоррамабадской впадине и наоборот.

#### Литература

1. Bower H. *Groundwater hydrology*, 1978.
2. *Mathematical model application in Ground-water Studies of Iran. Ground Water*, 1997, vol. 17, №4.
3. Шестаков В.М., Марин Ю.М. Формирование повышенной жесткости в зоне разгрузки грунтовых вод конусов выноса в Иране. *Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология*. №4. – М.: 1996. – С. 91-95.
4. Международный Геологический конгресс. Тектоника Азии. Доклад Штейклин Й., т. 5. – М.:1984. – С. 53-68.
5. *Гидрохимический отчет. Фирма Параб. – Кучмешкиан, – М.: 1994.*
6. *Геологический и гидрогеологический отчеты: Ширазская впадина №393, фирма Махабкодс. 1996.*
7. *Геологический отчет №420-327-859. National Karst Research Center (NKRC), 1996.*
8. *Геологические отчеты Ирана. Geological survey of Iran. 1980-1987.*
9. Девис Д.С. Статистический анализ данных в геологии. Пер. с англ. – М.: Недра, 1990, 319 с.
10. Искенрог К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ. – Л.: Недра, 1980, 223 с.
11. Чомко Д.Ф., Решетов И.К., Чомко Ф.В., Чомко Р.Ф. Многомерный статистический анализ при исследовании техногенного загрязнения подземных вод. *Геологічний журнал, ІГН НАН України, №2, К., 2002.* - С. 73-80.
12. Чомко Ф.В., Решетов І.К., Чомко Д.Ф. та інші. Багатовимірний статистичний аналіз в гідрогеології. Навчальний посібник. Видавничий центр Київ. нац. ун-ту, К., 2004, 114 с.
13. Чомко Ф.В., Чомко Д.Ф., Грицюта В.Ю., Таранов В.Г., Сельфельдин Г.Х. Опыт применения кластерного анализа при исследовании набухающих грунтов Судана. *Вісник Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна № 1033.* – Харків: ФОП «Петрова». 2012. – С. 124-133.