

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 555.491.5(571.121)

Азиз Амджади, асп.,  
кафедра гідрогеології, геолого-географічний факультет,  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 4, г. Харків, Україна  
Д. Чомко, канд. геол. наук, доц.,  
E-mail: Chomko@univ.kiev.ua,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Геологічний факультет, ул. Владимирська, 60, г. Київ, 01601, Україна

### ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ГРУНТОВЫХ ВОД СО СХОДНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ В ШИРАЗСКОЙ И ХОРРАМАБАДСКОЙ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИНАХ ИРАНА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)

Грунтовые воды Ширазской межгорной впадины широко используются как для водоснабжения, так и для полива сельскохозяйственных культур, в промышленности и других целей. В настоящее время планируется более широко использовать и грунтовые воды Хоррамабадской впадины.

Выделение на больших территориях участков грунтовых вод со сходным химическим составом с использованием большого количества химических элементов и соединений (10 и более) очень трудная задача.

При этом химический состав подземных вод является конечным продуктом воздействия не одного, а целой совокупности природных и техногенных процессов. 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 и фактически являются конечным результатом действия всей совокупности процессов. Нами предложен новый способ, который базируется на использовании кластерного анализа. Применение этого анализа позволяет находить в разных районах и участках грунтовые воды со сходным химическим составом и оконтуривать их. Это позволяет выявить подобия или различия условий питания и разгрузки, процессов, определяющих формирование химического состава грунтовых вод, их возможного загрязнения и истощения, разработать мероприятия по их предотвращению. Метод опробован при исследовании химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана.

По результатам кластерного анализа первой матрицы (Ширазская межгорная впадина) и второй матрицы (Хоррамабадская межгорная впадина) построены диаграммы расстояний объединения по шагам и, собственно, сами дендрограммы. После обработки результатов кластерного анализа сделаны следующие основные выводы: 1. в Ширазской межгорной впадине нами выделено три участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к первому кластеру, два участка – ко второму кластеру, три – к третьему, два – четвертому и один – к пятому кластеру; 2. в Хоррамабадской межгорной впадине нами выделено два участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к первому кластеру, три – ко второму, два – к третьему четырем к четвертому и по одному к пятому и шестому кластерам; 3. при обнаружении любого изменения химического состава грунтовых вод в Ширазской межгорной впадине можно судить об аналогичных изменениях и в Хоррамабадской впадине и наоборот; 4. кроме того этим методом можно пользоваться для районирования грунтовых вод по химическому составу.

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

**Постановка проблемы.** Грунтовые воды Ширазской межгорной впадины широко используются как для водоснабжения, так и для полива сельскохозяйственных культур, в промышленности и других целей. Грунтовые воды 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 (загрязнителями в данном случае выступают: удобрения, отходы химического производства, отливы из шахт и др.). Грунтовые воды в зоне питания имеют сульфатно-хлоридный кальциево-магниевый состав, удовлетворяющий питьевым нормам. Тип воды на северо-западе и на юго-востоке впадины гидрокарбонатный кальциево-магниевый. Грунтовые воды содержат также тяжелые металлы.

В настоящее время планируется использовать более широко также и грунтовые воды Хоррамабадской впадины.

**Анализ публикаций и определение не решенных проблем.**

Геологическое строение и гидрогеологические условия Хоррамабадской межгорной впадины изучалась иранскими фирмами: (Сангаб, 1980 г, 2010 г); (Абкав, 1970 г); (NKRC, 1995 г, 1997 г) [3, 5]. Этими фирмами были построены геологическая и гидрогеологическая карты, изучен химический состав грунтового водоносного горизонта, определены гидрогеологические параметры водоносного горизонта. Большой вклад в изуче-

ние гидрогеологических условий Хоррамабадской межгорной впадины внесла кафедра гидрогеологии МГУ (В.М. Шестаков) [11]

Фирмы Сангаб (2010 г), Абкав (1980 г), NKRC (1991 г, 1996 г, 1997 г), Махабодс (1975 г) и Параб (1993 г, 1997 г) [2-5] 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 Винс, Штеклин, Велз, Кент, Сетудения и Алави [12, 14].

Выделение участков грунтовых вод со сходным химическим составом в Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадинах не проводилось.

Нами предложен новый способ выделения участков грунтовых вод со сходным химическим составом, который базируется на использовании кластерного анализа.

Вопросу применения кластерного анализа для исследования химического состава подземных вод посвящены работы Д.С. Девиса, К.Г. Искенрода, И.К. Решетова, Д.Ф. Чомко, Ф.В. Чомко, Г.Х. Сейфэльдина, В.Г. Таранова и др. [1, 6-10].

Применение этого анализа позволяет находить в разных районах и участках грунтовые воды со сходным химическим составом и оконтуривать их. Это позволяет выявить подобия или различия условий питания и разгрузки, процессов, определяющих формирование химического состава грунтовых вод, их возможного загрязнения и истощения, разработать мероприятия по их предотвращению.

знания и источники, разработать мероприятия по предотвращению последних.

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

**Цель исследований.** Для определения сходства химического состава подземных вод разных районов и водоносных горизонтов в настоящее время используются различные аналитические методы и математическое моделирование. Но эти методы используют массивы данных с очень малым количеством данных. В настоящее время для этих целей все чаще применяются методы многомерного статистического анализа [1, 6-10].

Эти методы являются одними из самых эффективных средств выявления закономерностей, скрытых в больших массивах данных, поскольку в гидрологии, 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.

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.

Критерием оценки близости химического состава разных вод предлагается евклидово расстояние в  $n$ -мерном пространстве. Этот показатель вычисляется для любого количества гидрохимических компонент. Кластерный анализ выполняется по агломеративной

иерархической процедуре с построением дендрограммы (одномерного графа), изображающего 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 евклидового 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.

Методика проведения кластерного анализа и основные его формулы приведены в работах [6, 7, 1, 8, 9 и 10].

Для реализации этой методики использованы данные химических анализов грунтовых вод, расположенных в разных местах Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин. Определения химического состава грунтовых вод выполнены в одной аккредитованной лаборатории в Тегеране на один тот же момент времени (июль).

Для расчетов принимались следующие показатели химического состава грунтовых вод: Ca, Mg, Na,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl, pH, минерализация, Cd, Co, Ba, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn и Fe. Таким образом, каждый из 61 химического анализа грунтовых вод интерпретируется как точка в 17-мерном пространстве.

Результаты химического состава грунтовых вод, приведенные в таблицах 1 и 2, запишем в виде матриц и проведем кластерный анализ.

Первая матрица (Ширазская долина) содержит химические анализы грунтовых вод из 23 скважин и 6 источников, вторая (Хоррамабадская долина) – из 14 скважин и 18 источников. Они охарактеризованы 17-ю химическими элементами и соединениями.

Основные результаты кластерного анализа. Кластерный анализ выполнялся по программе CLUSTER, разработанной на кафедре гидрологии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Кластерный анализ химического состава вод выполнялся по способу "полной связи". Способы "ближнего" и "дальнего соседа" дают сходные результаты.

Диаграмма расст. объединения по шагам

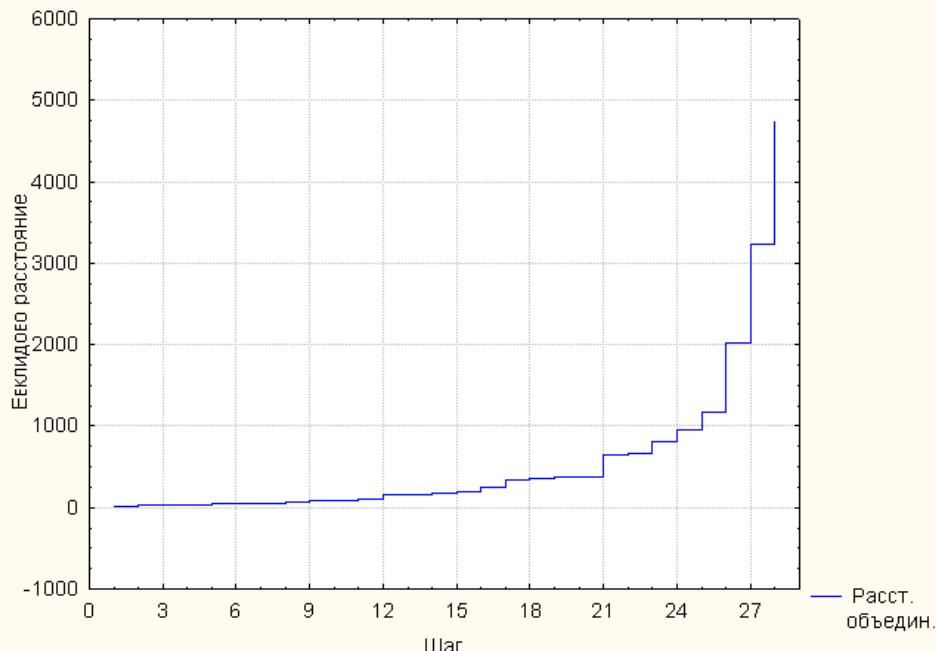


Рис. 1. Диаграмма расстояний объединения по шагам (Ширазская впадина)

### Ширазская межгорная впадина

По результатам кластерного анализа первой матрицы построена диаграмма расстояний объединения по шагам (рис. 1), и дендрограмма (рис. 2).

На рис. 1 видно, что объединение всех химических составов грунтовых вод произошло за 29 шагов. Минимальное расстояние объединения (евклидово расстояние) на первом шаге равно 0,000 и максимальное – 4750,28 на последнем двадцать девятом шаге. Основное количество химических анализов (21) объедини-

лось между собою на расстояниях от 0,000 до 375,012. Это, по нашему мнению, свидетельствует об однородности химического состава грунтовых вод, отобранных в Ширазской впадине.

На дендрограмме (рис. 2) видно, что в результате кластерного анализа все химические анализы грунтовых вод из скважин и источников, расположенных на различных участках Ширазской межгорной впадины, разбиты на пять кластеров (групп), которые в свою очередь распадаются на более мелкие подгруппы.

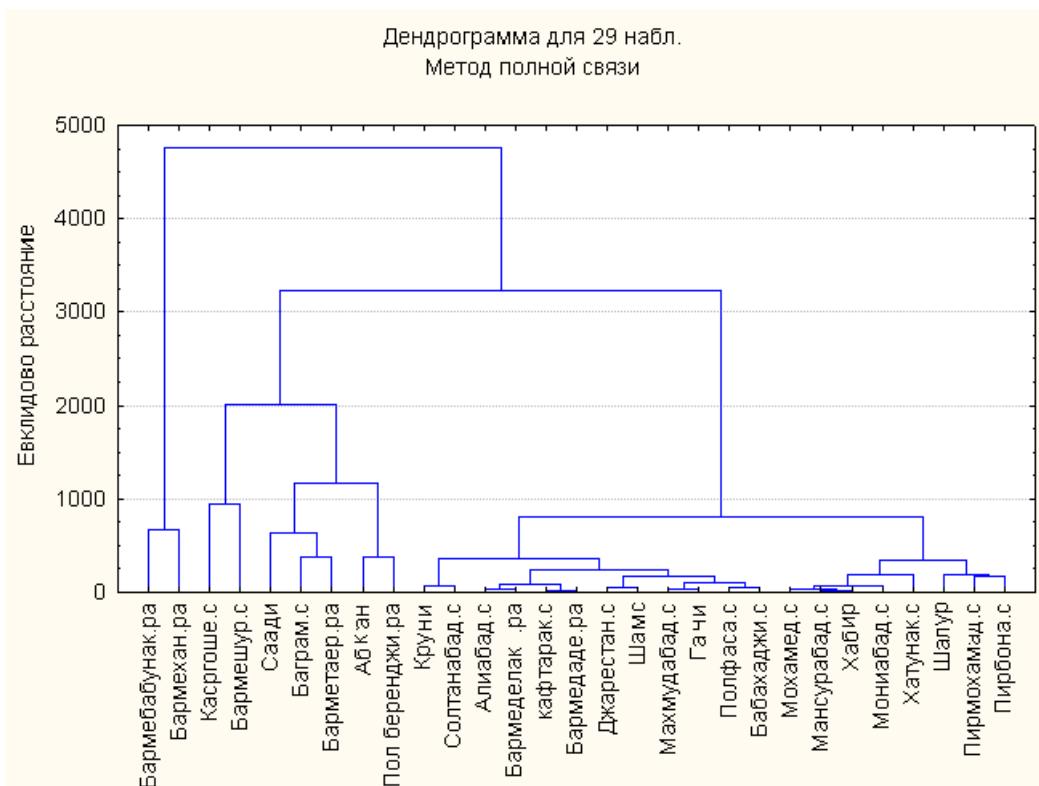


Рис. 2. Дендрограмма объединения 29 анализов химического состава грунтовых вод (17 химических элементов и соединений)

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

В **первом подкластере** объединены анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из 3 скважин (Пирона, Пирмохамад, Шамс), отобранных на разных участках Ширазской межгорной впадины. Объединение этих анализов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 180,185 до 187,453).

Во **2-й подкластере** объединены анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из 5 скважин (Хатунак, Мониабад, Хабур, Мансурбад, Мохамед). Объединение этих анализов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,0 до 184,673). Объединение этих двух подкластеров в **первый кластер** произошло на евклидовом расстоянии 370,043. Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических анализов грунтовых вод Ширазской впадины в **первом кластере**, свидетельствует об их большой близости.

Все скважины первого подкластера расположены в Карабахской впадине.

Три скважины второго подкластера расположены у подножья горы Дара и одна скважина (Мохамед) нахо-

дится в долине р. Хошкруд, протекающей в Ширазской впадине.

Таким образом, нами выделено три участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к **первому кластеру** (рис. 3).

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

**Второй кластер** состоит из трех подкластеров (подгрупп) (рис. 2).

В **первый подкластер** входят пробы грунтовых вод из скважин Бабахаджи, Полфаса, Гачи, Махмудабад, Шамс, Джарестан. Объединение этих химических составов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 120,717).

Во **второй подкластер** входят пробы грунтовых вод из скважин Кафтарак, Алиабад, и источники Бармедаде и Бармделак. Объединение этих химических составов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 50,01).

В **третий подкластер** входят пробы грунтовых вод из скважин Солтанабад, Круни. Объединение этих химических составов произошло также на очень малом евклидовом расстоянии (68,77).

Грунтовые воды, относящиеся ко второму кластеру, располагаются на двух участках с одинаковым химическим составом грунтовых вод. Первый участок находится в долине р. Бабахаджи у подножья гор Султанабад, а второй участок выделяется у подножья гор Кафтарак в долине р. Хошкруд.

Таким образом, нами выделено два участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся ко второму кластеру (рис. 3).

Третий кластер состоит из двух подкластеров (рис. 2). В первом подкластере произошло объединение химических составов грунтовых вод из скважины Абкан и источника Пол беранджина на евклидовом расстоянии 402,541.

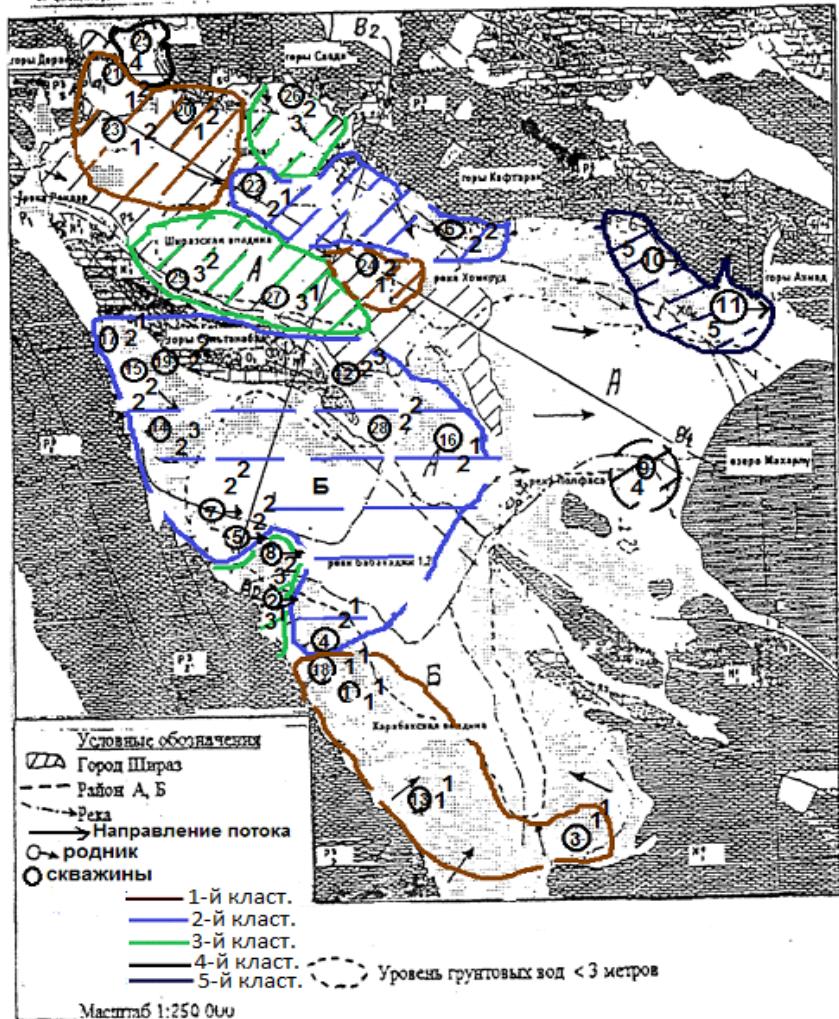


Рис. 3. Гидрогеологическая карта Ширазской межгорной впадины

Во второй подкластер входят пробы грунтовых вод из источника Бартметаер и скважин Абхан и Саади, которые объединились на евклидовом расстоянии 754,064.

Первый и второй подкластеры объединяются между собой на евклидовом расстоянии 1206, 754.

Грунтовые воды, относящиеся к третьему кластеру, располагаются на трех участках с одинаковым химическим составом грунтовых вод. Первый участок находится в долине р. Бабахаджи у подножья гор Султанабад, второй участок выделяется у подножья горного массива Загрос в долине реки Раҳдар, на третьем участке у подножья горы Саади располагается одна скважина Саади.

Четвертый кластер состоит из химических анализов грунтовых вод скважин Бармешур и Карсгоше, которые объединяются на евклидовом расстоянии 954,08 (рис. 2). Скважина Бармешур находится в долине р. Полфаса недалеко от озера Махарлу, а скв. Карсгоше находится на севере Ширазской долины, между горами Саади и Дарак.

Третий и четвертый кластеры объединяются между собою в один кластер на евклидовом расстоянии 2005,087, который объединяется с первыми двумя на расстоянии 3236,512. Это свидетельствует о том, что химические составы грунтовых вод, входящие в эти кластеры, сильно отличаются от химического состава грунтовых вод первых кластеров. К пятому кластеру относятся химические составы проб двух источников Бармехан и Бармебабунак (рис. 2), которые находятся у подножья гор Кафтарак и Ахмад.

Пятый кластер примыкает к остальным кластерам на очень большом расстоянии 4753, 095. По нашему мнению, воды этих двух источников имеют совсем иную природу.

#### Хоррамабадская межгорная впадина

По результатам кластерного анализа второй матрицы построена диаграмма расстояний объединения по шагам (рис. 4), и дендрограмма (рис. 5).

На рис. 4 видно, что объединение всех химических анализов грунтовых вод произошло за 32 шага. Минимальное расстояние объединения (евклидовое расстояние) на первом шаге равно 0,000 и максимальное – 4275,257 на последнем тридцать втором шаге. Основное количество анализов (28) объединилось между собою на расстояниях от 0,000 до 495,264. Это, по нашему мнению, свидетельствует об однородности химического состава грунтовых вод, отобранных в Хоррамабадской впадине.

На дендрограмме (рис. 5) видно, что в результате кластерного анализа все химические анализы грунтовых вод из скважин и источников, расположенных на различных участках Хоррамабадской межгорной впадины, разбиты на шесть кластеров (групп), которые в свою очередь распадаются на более мелкие подгруппы.

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

В **первом подкластере** объединены анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из 4 скважин (Рашид-Дарани, Насерванд, Алиабад, Дарбанд,) и 1 источника (Сарабгорчи), отобранных на разных участках Хоррамабадской межгорной впадины. Объединение этих анализов произошло на очень малых евклидовых расстояниях (от 0,000 до 129,373).

Во **2-й подкластер** объединены на евклидовом расстоянии 102,36 анализы химического состава грунтовых вод, отобранных из двух источников Самше черагали и Чешметала. Эти источники выходят из карста.

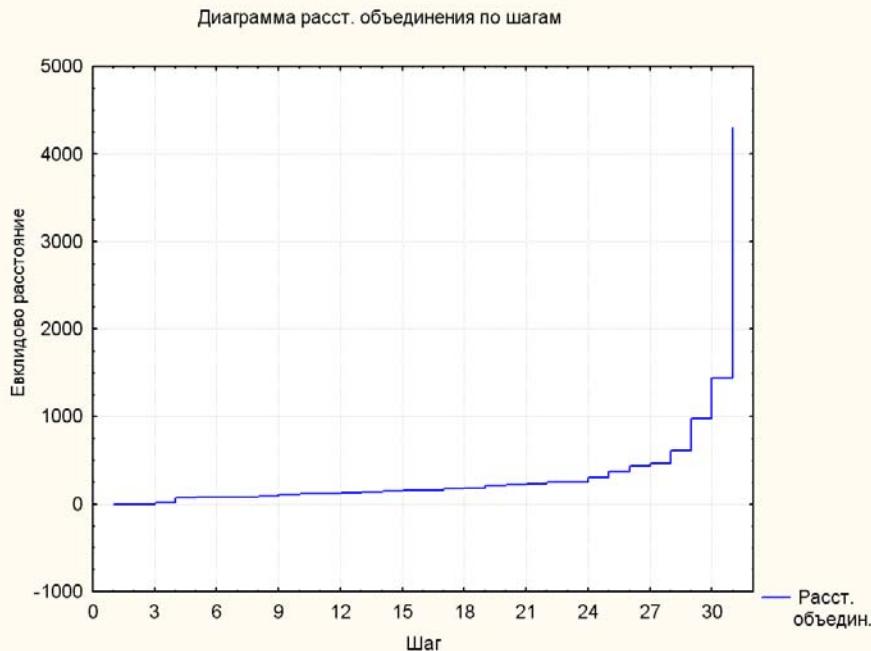


Рис. 4. Диаграмма расстояний объединения по шагам (Хоррамабадская впадина)

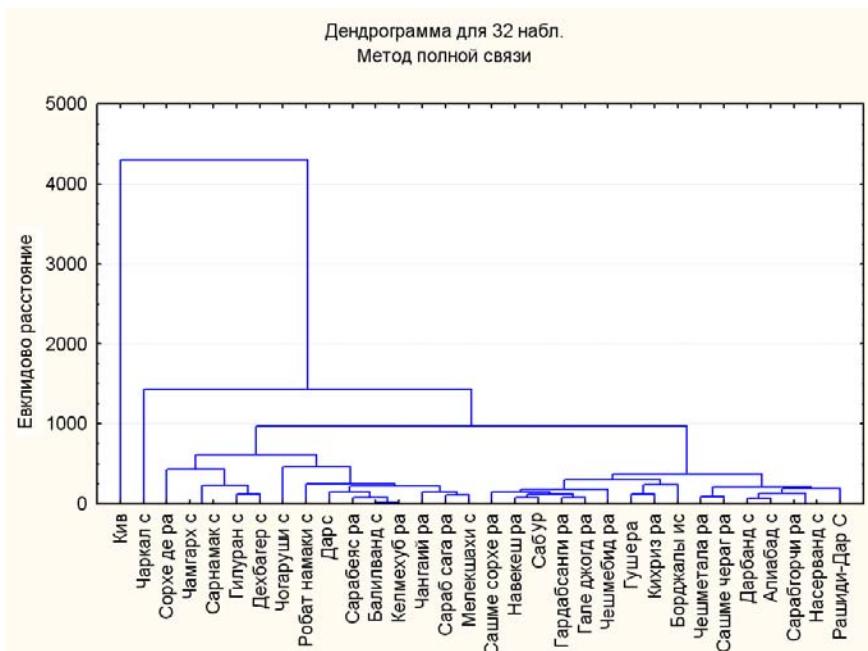


Рис. 5. Дендрограмма объединения 32 анализов химического состава грунтовых вод (17 химических элементов и соединений)

Объединение этих двух подклластеров в первый кластер произошло на евклидовом расстоянии 239,403. Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических анализов грунтовых вод Хоррамабадской впадины в первом кластере, свидетельствует об их большой близости.

Все скважины первого подкластера расположены в юго-западной части Хоррамабадской впадины. И только один источник Сашме черагали находится в северной части впадины.

Таким образом, нами выделено два участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к первому кластеру (рис. 6).

**Второй кластер** состоит из двух подклластеров (подгрупп) (рис. 5).

В *первый подкластер* входят химические составы проб грунтовых вод из источников Борджалы, Кахриз и Гуше, которые объединились между собой на малом евклидовом расстоянии 250,265. Эти источники расположены в западной части впадины.

Во *второй подкластер* входят пробы грунтовых вод из источников Чешмебид, Гале джогд, Гардабсанги, Навакеш, Сашме сорхе и скважины Сабур на малом евклидовом расстоянии 241,712.

Объединение этих двух подклластеров во второй кластер произошло на евклидовом расстоянии 297,548. Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических анализов грунтовых вод Хоррамабадской впадины во втором кластере, свидетельствует об их большой близости.

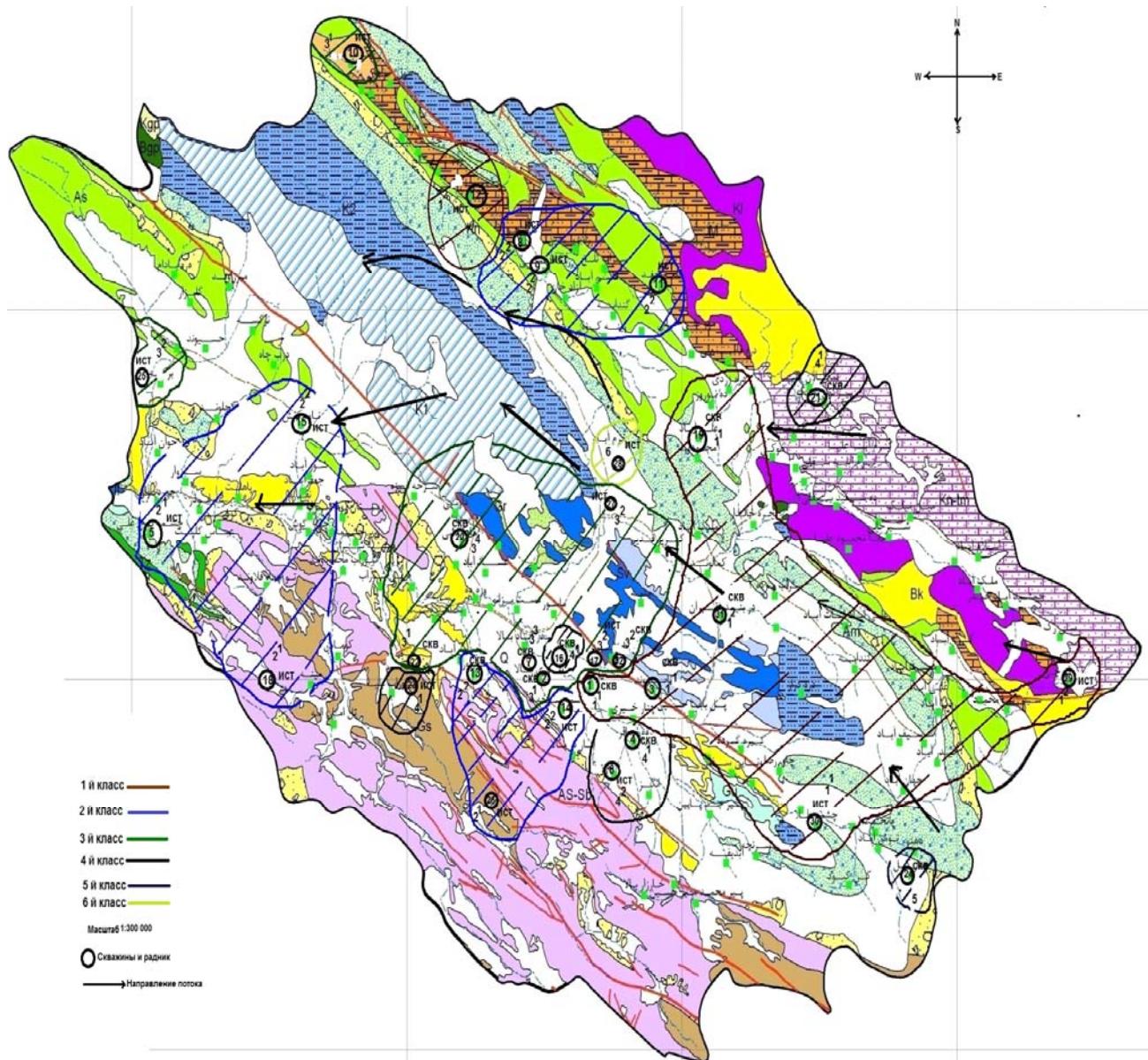


Рис. 6. Гидрогеологическая карта Хоррамабадской межгорной впадины

Источники Чешмебид, Гале джогд и Гардабсанги на участке, который находится в северной части впадины, источники Борджалы, Навакеш и Кихриз – на участке в западной части впадины, а источники Сашме сорхе, Гардабсанги и скважина Сабур, расположены на участке в южной части впадины. Таким образом, нами выделено

три участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся ко второму кластеру (рис. 6).

**Третий кластер** состоит из четырех подклластеров (рис. 5). В первом подкластере произошло объединение химических составов проб грунтовых вод из двух источников Сараб саха, Чангаий и скважины Мелекша-

хи, которые объединились между собой на малом евклидовом расстоянии 131,431.

Во *втором подклластере* объединились химические составы проб грунтовых вод из трех источников Келмехуб, Сарабеяс, Доре и скважины Балилванд на близком евклидовом расстоянии 134,131.

Эти два подклластера объединились между собой на евклидовом расстоянии 246,655. К ним на евклидовом расстоянии 250,065 примыкает химический состав пробы воды из скважины Робат намаки (*третий подклластер*). К этим пробам на евклидовом расстоянии 489,785 примыкает химический состав проб воды из скважины Чогаруши (*четвертый подклластер*).

Все источники и скважины третьего кластера расположены на участке в центре Хоррамабадской межгорной впадины и только источник Доре находится на востоке этой впадины. Таким образом, нами выделено два участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к третьему кластеру (рис. 6).

**Четвертый кластер** состоит из химических анализов проб грунтовых вод из 3-х скважин (Дехбагер, Гилуран, Сарнамак) и источников Чамгарх и Сорхе де. Химические анализы проб из скважин объединились на евклидовом расстоянии от 0,0 до 248,91. К ним на евклидовом расстоянии 416,72 присоединился химический анализ пробы воды из источника.

Четвертый кластер объединяется с третьим на евклидовом расстоянии 602,851, которые в свою очередь объединяются с первым и вторым кластерами на евклидовом расстоянии 989,218.

Скважина Дехбагер и источник и Сорхе де этого кластера расположены на участке в южной части впадины, скв. Сарнамак расположена на участке, который находится в северо-западной части, источник Чамгарх находится на юго-восточном участке, а скв. Гилуран в центральной части Хоррамабадской впадины и окружена скважинами третьего кластера.

Таким образом, нами выделено четыре участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к четвертому кластеру (рис. 6).

К **пятому кластеру** относится химический состав проб воды из скв. Чаркал, который на евклидовом большом расстоянии (1386,12) объединяется с первыми четырьмя кластерами. Эта скв. находится на участке в юго-западной части Хоррамабадской впадины.

Химический состав пробы воды из источника Кив на очень большом евклидовом расстоянии (4079,0) объединяется с остальными кластерами. Этот источник расположен в центральной части впадины. Это свидетельствует о том, что химический состав вод этого источника резко отличается от остальных химических анализов и имеет совсем другую природу.

#### Основные выводы:

а) Анализ евклидовых расстояний, на которых произошло объединение химических составов грунтовых вод первого и второго кластеров, свидетельствует об их большой близости как в Ширазской так и Хоррамабадской межгорных впадинах.

б) Пробы грунтовых вод третьего кластера по химическому составу немного отличаются от проб первого и второго кластеров. Они объединяются между собой на немногом большем евклидовом расстоянии, чем расстояние, на которых происходит объединение химических анализов первого и второго кластеров.

в) Химический состав грунтовых вод четвертого кластера довольно сильно отличается от химического состава вод, входящих в первые три кластера.

г) Пятый и шестой кластеры состоят из трех разнородных подклластеров, химический состав грунтовых вод которых резко отличается друг от друга и от химического состава вод, входящих в первые четыре 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;

➤ при обнаружении любого негативного изменения химического состава грунтовых вод в Ширазской межгорной впадине можно судить об аналогичных изменениях и в Хоррамабадской впадине и наоборот.

➤ выделять участки со сходным и различным химическим составом грунтовых вод и оконтуривать их;

➤ в Ширазской межгорной впадине нами выделено три участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к первому кластеру, два участка – ко второму кластеру, три – к третьему, два – четвертому и один – к пятому кластеру;

➤ в Хоррамабадской межгорной впадине нами выделено два участка грунтовых вод очень близкого химического состава, относящихся к первому кластеру, три – ко второму, два – к третьему четыре к четвертому и по одному к пятому и шестому кластерам;

➤ по нашему мнению при регулярном распределении пунктов опробования (например, при гидрогеологических съемках) этим методом можно пользоваться для районирования грунтовых вод по химическому составу.

#### Список використаної літератури:

1. Амджади Азиз, (2013). Сравнительная характеристика химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана. Вісник Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Харків: ФОП "Петрова", 1084, 22-31.

Aziz Amjadi, (2013). Comparative description of chemical composition of subsoil waters of Shurazkaya and Horramabadska of intermountain cavities of Iran. *Bulletin Khark. natsion. univer. im V.N. Karazina. Kharkiv: FOP "Petrova"*, 1084, 22-31 (In Russian).

2. Геологический и гидрогеологический отчеты, (1996). Ширазская впадина. фирма Махбакодс, Тегеран, 393.

Geological and hydrogeological reports, (1996). Shyratzkaya cavity. firm Makhbaks, Teheran, 393.

3. Геологический отчет, (1996). №420-327-859. National Karst Research search Center (NKRC).

Geological report, (1996). №420-327-859. National Karst Research Center (NKRC).

4. Геологические отчеты Ирана, (1980-1987).

Geological reports of Iran, (1980-1987).

5. Гидрохимический отчет, (1994). Фирма Параб. – Кучмешкиан, М. Hydrochemical report, (1994). Firm Parab. - Kuchmeshkian, M.

6. Девис Д.С., (1990). Статистический анализ данных в геологии / пер. с англ. М.: Недра, 319.

Devis D., (1990). A statistical analysis of data in geology. M.: "Nedra", 319 (In Russian).

7. Искендрог К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А., (1980). Геологический факторный анализ. Л.: Недра, 223.

Iskenrog K., Klovan D., Reiment P., (1980). Geological factor analysis. L.: "Nedra", 223 (In Russian).

8. Чомко Д.Ф., Решетов И.К., Чомко Ф.В., Чомко Р.Ф., (2002). Многомерный статистический анализ при исследовании техногенного загрязнения подземных вод. Геологічний журнал, 2, 73-80.

Chomko F.V., Reshetov I.K., Chomko D.F., Chomko R.F., (2002). Multidimensional statistical analysis at research of technogenic contamination of underwaters. *Geological Journal IGN NAN of Ukraine*, 2, 73-80 (In Russian).

9. Чомко Ф.В., Решетов И.К., Чомко Д.Ф. та ін., (2004). Багатовимірний статистичний аналіз в гідрогеології: Навч. посібник. К.: Видавничий центр Київ. нац. ун-ту, 114.

Chomko F.V., Reshetov I.K., Chomko D.F. et al., (2004). The Multidimensional statistical analysis in a hydrogeology. Train aid. K.: The Publishing center Kyiv. natsion. univer., 114 (In Ukrainian).

10. Чомко Ф.В., Чомко Д.Ф., Грицюта В.Ю., Таранов В.Г., Сельфэльдин Г.Х., (2012). Опыт применения кластерного анализа при исследо-

ваний набухаючих ґрунтів Судану. Вісник Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Харків: ФОП "Петрова", 1033, 124-133.

Chomko F.V., Chomko D.F., Gritsyuta V.Yu., Taranov V.G., Selfeldin G.Kh., (2012). Experience of application of cluster analysis at research of transgressive soils of Sudan. *Bulletin Khark. natson. univer. im V.N. Karazina. Kharkiv: FOP "Petrova", 1033, 124-133 (In Russian).*

11. Шестаков В.М., Марин Ю.М., (1996). Формирование повышенной жесткости в зоне разгрузки грунтовых вод конусов выноса в Иране. Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. М., 4, 91-95.

Shestakov V.M., Marin Yu.M., (1996). Forming of enhanceable inflexibility in the zone of unloading of subsoil waters of cones of bearing-out in Iran. *Bulletin MGU. vol. 4. Geology. M., 4, 91-95 (In Russian).*

12. Штейклин Й., (1984). Тектоника Азии. Доклад. Міжнародний Геологічний конгрес. М., 5, 53-68.

Lecture of Shteklin Y., (1984). Tectonics of Asia. International Geological congress. M., 5, 53-68.

13. Bower H., (1978). Groundwater hydrology.

14. Mathematical model application in Ground-water Studies of Iran., (1997). *Ground Water*, 17, 4.

Надійшла до редакції 20.06.14

Aziz Amjadi, Postgraduate Student  
Geology and Geography Faculty  
V.N. Karazin Kharkiv National University  
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine  
D. Chomko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,  
E-mail: Chomko@univ.kiev.ua  
Geological Faculty Taras Schevchenko National University of Kyiv  
60 Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine

### CLUSTER ANALYSIS IN DETERMINING SUBSOIL WATER AREAS OF SIMILAR CHEMICAL COMPOSITION IN SHYRAZ AND HORAMABAD INTERMOUNTAIN TROUGHS OF IRAN

*Ground waters of Shyraz Intermountain Trough are widely used for water-supply, watering crops, in industry, and for other purposes. It is currently being planned to make extensive use of ground waters of the Horamabad Trough.*

*Discriminating large areas of ground waters of similar chemical composition and compounds containing over 10 elements is becoming a challenging task.*

*Chemical composition of ground waters results from a number of natural and anthropogenic processes, which affect both interchange of chemical components and the nature of their bonds. However, these bonds do not remain unaffected, and are, virtually, the outcome of a number of processes.*

*We offer a new method that is based on the use of cluster analysis, the application of which will make it possible to discriminate ground waters of similar chemical composition in different areas.*

*This will enable both revealing similarities and differences in the processes of water supply and discharge, which define the chemical make-up of the ground waters, threats of pollution and depletion, and taking measures on ground water preservation.*

*The method was tested on sampling chemical composition of ground waters of Shyraz and Horamabad Intermountain Troughs in Iran.*

*Based on the cluster analysis data of the first matrix (Shyraz Intermountain Trough) and the second matrix (Horamabad Intermountain Trough) step-by-step diagrams of merging intervals are built, and dendograms, namely.*

*The cluster analysis data being processed, the following conclusions can be made:*

1. within Shyraz Intermountain Trough, there are discriminated three areas of ground waters bearing similar chemical composition in cluster 1; two areas located in cluster 2; three areas in cluster 3; two areas in cluster 4; and one area in cluster 5;

2. within Horamabad Intermountain Trough, there are discriminated two areas of ground waters bearing similar chemical composition in cluster 1; three areas located in cluster 2; two areas in cluster 3; four areas in cluster 4; and per one area in clusters 5 and 6, correspondingly;

3. changes in ground water chemical composition in Shyraz and Horamabad Intermountain Troughs are interdependent;

4. the method mentioned can be used for chemical zoning of the ground waters.

**Keywords:** Iran, Shyraz and Horamabad Intermountain Troughs, area, ground water, similar chemical composition, cluster analysis.

Азіз Амджаді, асп.,  
кафедра гідрогеології, геолого-географічний факультет,  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна  
Д. Чомко, канд. геол. наук, доц.,  
E-mail: Chomko@univ.kiev.ua,  
кафедра гідрогеології та інженерної геології,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
Геологічний факультет, вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01601, Україна

### ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВІДЛЕННЯ ДІЛЯНКОК ГРУНТОВИХ ВОД ІЗ ПОДІБНИМ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ В ШИРАЗЬКІЙ І ХОРАМАБАДСЬКІЙ МІЖГІРСЬКИХ ВПАДИНАХ ІРАНУ

*Грунтові води Ширазької міжгірської западини широко використовуються як для водопостачання, так і для поливу сільськогосподарських культур, в промисловості та інших цілей. Нині планується ширше використовувати і грунтові води Хоррамабадської западини.*

*Виділення на великих територіях ділянок грунтових вод зі схожим хімічним складом з використанням великої кількості хімічних елементів і з'єднань (10 і більше) є важким завданням.*

При цьому хімічний склад підземних вод є кінцевим продуктом дії не однієї, а цілої сукупності природних і техногенних процесів. Вплив цих процесів в підземних водах позначається на взаємозв'язаній зміні вмісту хімічних компонентів і на характері зв'язків між ними. Проте, ці зв'язки в спостережуваних компонентах підземних вод в "чистому вигляді" не зберігаються і фактично є кінцевим результатом дії усієї сукупності процесів. Нами запропонованій новий спосіб, який базується на використанні кластерного аналізу. Застосування цього аналізу дозволяє знаходити в різних районах і ділянках грунтові води з схожим хімічним складом. Це дозволить виявити подібність або відмінність умов живлення і розвантаження, процесів, що визначають формування хімічного складу грунтових вод, їх можливого забруднення і виснаження, розробити заходи по їх збереженню. Метод випробувань при дослідженні хімічного складу грунтових вод Ширазької та Хоррамабадської міжгірських западин Ірану.

За результатами кластерного аналізу першої матриці (Ширазська міжгірська западина) і другої матриці (Хоррамабадська міжгірська западина) побудовані діаграми відстаней об'єднання по кроках і, власне, самі дендрограми.

Після обробки результатів кластерного аналізу зроблені наступні основні висновки: 1. у Ширазській міжгірській западині нами виділені три ділянки грунтових вод дуже близького хімічного складу, що відносяться до першого кластеру, дві ділянки - до другого кластеру, три - до третього, два - четвертого і один - до п'ятого кластеру; 2. у Хоррамабадській міжгірській западині нами виділена дві ділянки грунтових вод дуже близького хімічного складу, що відносяться до першого кластеру, три - до другого, два - до третього, чотири до четвертого і по одному до п'ятого і шостого кластерів; 3. при виявленні будь-якої зміни в Хоррамабадській западині і навпаки; 4. цим методом можна користуватися для районування грунтових вод за хімічним складом.

**Ключові слова:** Іран, Ширазька і Хоррамабадська міжгірські впадини, ділянка, грунтові води, подібний хімічний склад, кластерний аналіз.