

УДК: 631.432.1

**Мурадов Шухрат Одилович, доктор технических наук, профессор**  
**Турдиева Феруза Алишеровна, докторант**

Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, г.Карши  
Кашкадарьинской области.

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ  
МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ И ОСНОВНЫМИ ИОНАМИ ГРУНТОВЫХ ВОД  
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. КАШКАДАРЬЯ)**

**Аннотация:** Раскрыта важность грунтовых вод для оценки эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель. На основе многолетних данных (2017-2023) изучен характер зависимости минерализации от основных ионов грунтовых вод, получена тесная связь между ними, установлены типы аппроксимирующих уравнений зависимостей между этими показателями и на их основе составлены таблицы для определения значений. Обоснована эколого-экономическая сторона зависимости. Данная методика рекомендована для всех мелиоративных организаций.

**Ключевые слова:** грунтовые воды, общая минерализация, основные ионы, корреляционные связи, экономика, экология.

**Muradov Shukhrat Odilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor**  
**Turdieva Feruza Alisherovna, doctoral student**

Karshi Engineering and Economic Institute, Uzbekistan, Karshi, Kashkadarya  
region.

**Ecological and economic assessment of the correlation between mineralization  
and the main ions of groundwater (using the example of the Kashkadarya  
River basin)**

**Abstract.** The importance of groundwater for assessment of ecological and ameliorative state of irrigated lands is disclosed. On the basis of long-term data (2017-2023), the nature of dependence of mineralisation on the main groundwater ions is studied, a close relationship between them is obtained, types of approximating equations of dependencies between these indicators are established

and tables for determining values are drawn up on their basis. The ecological and economic side of the dependence was substantiated. This methodology is recommended for all reclamation organisations.

**Keywords:** groundwater, total mineralisation, major ions, correlations, economics, ecology.

### **Введение**

В зависимости от условий залегания, различают три типа подземных вод: почвенные, грунтовые, межпластовые (артезианские). Между ними находятся слои водопроницаемых и герметичных пород – песок, гравий и другие.

Известно, что грунтовая вода — гравитационная вода первого от поверхности Земли постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водоупорном слое. Поднимаясь с нижних слоев, сразу охлаждают почву, что само по себе уже отрицательно влияет на экологию корней растений. В тоже время, стоячие грунтовые воды практически не обогащены достаточным кислородом, что приводит к тому, что корни растений задыхаются и начинаются процессы отмирания корней.

Химический состав грунтовых вод характеризуется, главным образом, содержанием макрокомпонентов, анионы:  $\text{Cl}^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ , катионы:  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  (определение этих компонентов наряду с некоторыми показателями качества и физ-хим состояния воды является обязательным при любых гидрогеологических исследованиях). Это те вещества, содержание которых в растворе исчисляется миллиграммами, а то и граммами в литре. К ним относятся грунтовые воды с сбалансированным составом и прочими полезными минеральными веществами. Вместе с этим довольно часто вода содержит избыток железа, марганца, сероводорода. Причины появления нерастворимых загрязнений могут быть разными.

Грунтовые воды могут содержать растворенные минералы и газы, которые придают им резкий вкус. Без этих минералов и газов вода была бы пресной. Источниками компонентного состава грунтовых вод служат

компоненты атмосферных осадков, водовмещающих пород, гидравлически взаимосвязанных поверхностных и подземных вод [1].

Общим вопросам изучения грунтовых вод, их режиму и балансу посвятили свои труды такие видные ученые как С.Н.Никитин [2], А.А.Козырев [3], А.Ф.Лебедев [4], В.Кене [5], П.Я.Полубояринова-Кочина [6], А.Н.Семихатов [7], Н.Н.Павловский [8], Н.А.Кенесарин [9], А.В.Лебедев [10], В.А. Ковда [11], Ш.О.Мурадов [12] и другие.

## 1. Методики и объект исследования

### Эколого-экономическая оценка корреляционных связей $M=f(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+\text{+K}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-, \text{HCO}_3^{2-})$

Минеральный состав грунтовых вод по основным ионам  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$  широко используется для выяснения их генезиса и для определения типа в рамках различных классификаций (Сулина, Алекина, Палмера и др.). [12]. На долю этих шести основных ионов приходится, как правило, до 95-98% эквивалент-процентов всех ионов грунтовых вод [13].

Для экономии финансовых средств, построение корреляционных связей  $M=f(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+\text{+K}^+, \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^{2-})$  химического состава грунтовых вод играет огромную роль. Авторы использовали данные анализов 1278 проб наблюдательных скважин Кашкадарьинской гидрогеологической станции (2017-2023 гг.) [14], результаты обработки которых представлены на рисунках (2,3, 4, 5, 6) и в таблицах (6, 7, 8, 9, 10).

Как видно из данных, суммарная минерализация грунтовых вод, колеблется в пределах 0,2–16 г/л, в большинстве случаев она не превышает 3 г/л. Если учитывать, что в ведома Кашкадарьинской мелиоративной экспедиции насчитывается на 01.09.2024 г. 3614 скважин наблюдения, то можно рассчитать экономическую выгоду (таблица 5) при определении всех основных ионов грунтовых вод методом корреляции. Поэтому учитывая полученные корреляционные зависимости и соответственно рассчитанные соотношения (таблицы) можно достаточно точно определять по анализу общей минерализации содержание основных ионов.

Надо отметить, что результаты единичных анализов химического состава подземных вод очень удобно представлять в виде формулы Курлова. Эта формула дает обобщенную характеристику химического состава единичного анализа воды. Она настолько удобна и общепринята, что ее иногда называют паспортом воды. Также используется формула солевого состава воды.

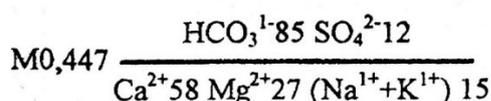
Формула Курлова - прием наглядного изображения химического состава природной воды. Эта формула представляет собой дробь, в числителе которой в убывающем порядке записывают содержание анионов (в %-экв), а в знаменателе катионов. В формуле пишутся все доминирующие анионы и катионы, содержание которых более 10 %. Процент-эквивалентная (% экв) – доля (%) каждого иона в общей (принимаемой обычно за 100%) сумме миллиграмм-эквивалентов ионов одного знака (катионов или анионов). Эта форма позволяет сравнивать химический состав подземных вод разной минерализации и оценивать роль каждого иона в их составе.

Формула может сопровождаться дополнительными данными. Перед дробью записывают содержание газов и компонентов, придающих воде специфические свойства (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Вг, V, радиоактивность и др.) и общую минерализацию М (в г/л) с точностью до одного десятичного знака. После дроби указывают показатели, характеризующие рН, температуру Т (°С), при наличии данных - дебит Q (л/сут) скважины или источника в м<sup>3</sup>/сут.

## 2. Результаты и обсуждения исследований

### Пример:

Перед формулой последовательно записать (не указывая единиц измерения) общую минерализацию (г/л), обозначив ее буквой М.



Написать краткое название воды по формуле Курлова. «Читают» при этом только центральную часть формулы Курлова. – перечисляют анионы, а затем катионы в порядке возрастания их содержания.

Таким образом, в рассматриваемом примере **вода гидрокарбонатная, магниевая-кальциевая.**

Можно привести и полное название воды по формуле Курлова, включив в него данные об общей минерализации, кислотности и температуре. В данном случае **вода пресная гидрокарбонатная, магниевая-кальциевая слабощелочная.**

## 2. Определить характеристику воды по классификации О.А. Алекина

В рассматриваемом примере вода относится к классу гидрокарбонатных вод, поскольку в ней преобладает анион  $\text{HCO}_3^{1-}$  (85%-экв). При данном содержании катиона  $\text{Ca}^{2+}$  (58%-экв) вода относится к группе кальциевых вод по Алекину.

Для обозначения классов, групп и типов в данной классификации применяются символы. Класс обозначается символом соответствующего аниона: С –  $\text{HCO}_3^-$ , S –  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl –  $\text{Cl}^-$ , группа – символом катиона:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ; тип – римской цифрой (I, II, III, IV и т.д). Символы пишутся следующим образом: гидрокарбонатный класс, группа кальциевая, тип II; сульфатный класс, группа натрия, тип II; Cl, сульфатно-хлоридный класс, группа натрия и магния, тип III.

Определить к какому неравенству соответствует заданный ионный состав воды и записать результат в табл.1.

Таблица 1.

### Типы подземных вод по классификации Алекина.

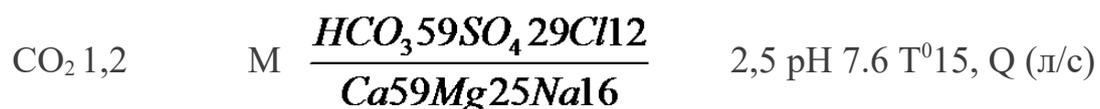
Тип воды	Соотношение между катионами и анионами (мг-экв/л).	Характеристика воды
Первый -1	$\text{HCO}_3^{1-} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Пресные, мягкие

1	2	3
Второй - II	$\text{HCO}_3^{1-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^{1-} + \text{SO}_4^{2-}$	Пресные и солоноватые, жесткие
Третий - III	$\text{HCO}_3^{1-} + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Агрессивные, обычно соленые
Четвертый-IV	$\text{HCO}_3^{1-} = 0$	Кислые

**Обсуждение.** Таким образом, в приведенном варианте вода по содержанию ионов соответствует II типу (пресная жесткая), так как содержание (мг-экв/л) аниона  $\text{HCO}_3^{1-}$  (4,9) меньше суммы катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  ( $3,4+1,6=5,0$ ), что, в свою очередь, меньше суммарного содержания анионов  $\text{HCO}_3^{1-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $4,9+0,7=5,6$ ), то есть выполняется неравенство II типа:  $4,9 < (3,4+1,6) < (4,9+0,7)$ .

В наименование состава воды включаются анионы и катионы, содержание которых превышает 25% - экв. Название воды записывается через дефис в следующем порядке: сначала по специфическим компонентам и по минерализации, затем по анионному и катионному составу (в порядке увеличения их величин), по величине pH, по температуре.

В качестве примера рассмотрим формулу состава воды:



В нашем примере вода: углекислая, слабосолоноватая, сульфатно-гидрокарбонатная, магниевая-кальциевая, слабощелочная, холодная.

Формулу солевого состава также составляют в виде дроби, в числителе которой записывают анионный состав воды (%-экв) в убывающем порядке, а в знаменателе – катионный. В отличие от формулы Курлова в формуле солевого состава пишутся все анионы и катионы, содержание которых более 1 %. Перед дробью записывают содержание газов и специфических элементов, если они имеются в воде, и общую минерализацию M. Температура и дебит воды не указываются. В названии читаются первые два аниона, а затем первые два катиона.

*Общая минерализация* воды (очень важный показатель) – это сумма ионов, молекул и различных соединений, содержащихся в воде. Величина

ее определяется по сухому остатку, полученному после выпаривания воды. Хорошая питьевая вода должна содержать не более 1,0 г на 1 л.

**Таблица 2**

**Классификация вод по общей минерализации (упрощенная схема).**

Общая минерализация воды, в г/л	Характеристика	Химический состав
< 0,2; 0,2 – 1.0	Ультрапресные Пресные	(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
1,0 - 3,0; 3,0 - 10,0; 10,0 - 35,0	Слабосоленоватые, Сильносолоноватые, Соленые.	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - Cl <sup>-</sup> ); (Cl <sup>-</sup> )
> 35	Переходные и рассолы	(Cl <sup>-</sup> )

*Концентрация водородных ионов (pH).* Этот показатель важен для правильного определения химического состава воды. Определяют индикатором, лакмусовой бумажкой (допустимо 6,5-8,0).

**Таблица 3**

**Классификация подземных вод по величине pH**

Значение величины pH	Характеристика воды
pH < 3,5	Очень кислые
3,5 ≤ pH < 5,5	Кислые
5,5 ≤ pH < 6,8	Слабокислые
6,8 ≤ pH ≤ 7,2	Нейтральные
7,2 < pH ≤ 8,5	Слабощелочные
pH > 8.5	Щелочные

**Таблица 4**

**Коэффициенты для пересчета мг/л в мг-экв /л**

Cl <sup>-</sup>	0,0282
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0208
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,064
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	0,0435
Mg <sup>2+</sup>	0,0822
Ca <sup>2+</sup>	0,0499

№	Наименование ионов	Методы определения	Расценки химического анализа вод, сум
---	--------------------	--------------------	---------------------------------------

1	Ca <sup>+2</sup>	Атомно-абсорбционный	129695
2	Mg <sup>+2</sup>	<u>Расчетный</u> Атомно-абсорбционный	<u>58789</u> 129695
3	Na+K <sup>+</sup>	Расчетный	47054
4	K <sup>+</sup>	Атомно-абсорбционный	129695
5	Na <sup>+</sup>	Атомно-абсорбционный	129695
6	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	<u>Фотометрический</u> <u>Гравиметрический (для</u> <u>больших концентраций)</u>	<u>96597</u> 181757
7	Cl <sup>-</sup>	Аргентометрический	102318
8	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Метод обратного титрования	51691
9	М инерализа ция	Гравиметрический	48339
<b>Итого</b>			<b><u>793873</u></b> <b>949939</b>

Таблица 5

**Расценки на проведение аналитических работ (ГУ «Центр специализированного аналитического контроля в области охраны окружающей среды» (ЦСАКОООС) при Минэкологии Республики Узбекистан по состоянию на 01.12.2023 г.)**



**Рис. 1 Фрагмент семинара по измерениям УГВ и критической глубины (Касанский район, Кашкадарьинский область)**

#### 4. Корреляционные связи между минерализацией и основными ионами грунтовых вод в разрезе районов по Кашкадарьинской области

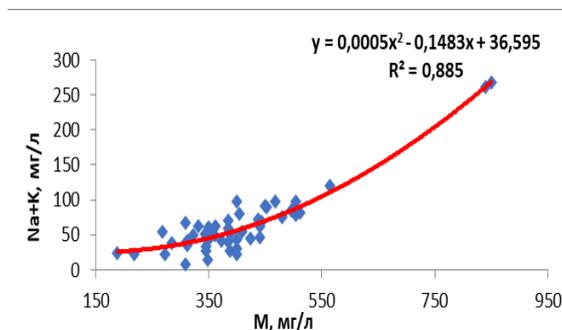
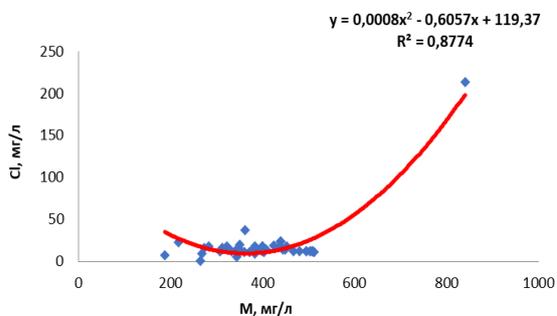


Рис 2. Зависимость между M и Cl<sup>-</sup> (r=0,94), Кашкадарьинский бассейн, Китабский район

Рис 3. Зависимость между M и Na+K (r=0,88), Кашкадарьинский бассейн, Китабский район

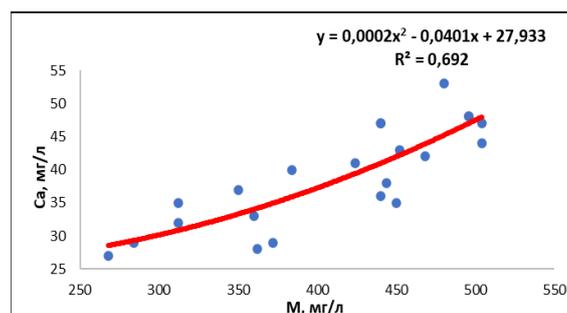
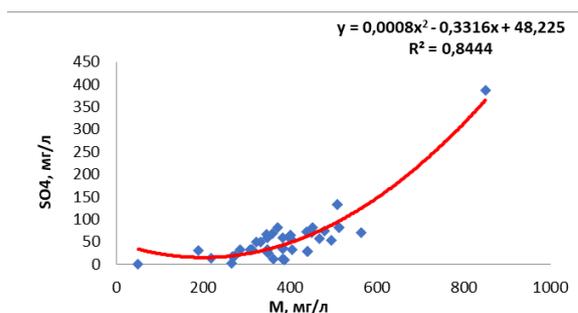


Рис 4. Зависимость между M и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (r=0,91), Кашкадарьинский бассейн, Китабский район

Рис 5. Зависимость между M и Ca<sup>2+</sup> (r=0,83), Кашкадарьинский бассейн, Китабский район

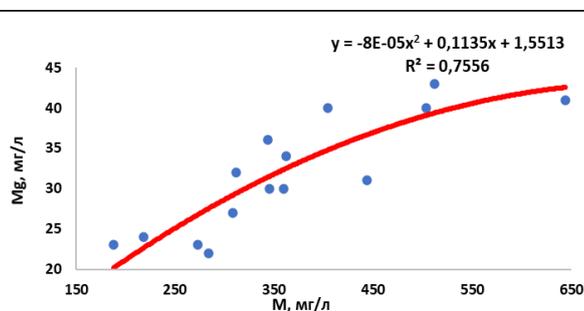


Рис 6. Зависимость между M и Mg<sup>2+</sup> (r=0,87), Кашкадарьинский бассейн, Китабский район

Таблица 6

Расчетная таблица  $\text{Cl}^-$  иона

М, гр/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	66,8	30,2	9,6	5,1	16,5	43,9	87,4	146,8	222,2
1	313,6 7	421, 1	544,5 3	683,9 6	839,3 9	1010,8 2	1198,2 5	1401,6 8	1621,1 1	1856,5 4

Таблица 7

. Расчетная таблица  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  иона

М, мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	18,7	34,8	51	67,3	83,7	100,2	116,8	133,5	150,3
1	167,2	184,2	201,3	218,5	235,8	253,2	270,7	288,3	306	323,8

Таблица 8

Расчетная таблица  $\text{SO}_4^-$  иона

М, мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	23,065	13,905	20,745	43,585	82,425	137,265	208,105	294,945	397,785
1	516,62 5	651,46 5	802,30 5	969,14 5	1151,98 5	1350,82 5	1565,66 5	1796,50 5	2043,34 5	2306,18 5

Таблица 9

Расчетная таблица  $\text{Ca}^{2+}$  иона

М, мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	25,923	27,913	33,903	43,893	57,883	75,873	97,863	123,85 3	153,84 3
1	187,83 3	225,82 3	267,81 3	313,80 3	363,79 3	417,78 3	475,77 3	537,76 3	603,75 3	673,74 3

Таблица 10

Расчетная таблица  $\text{Mg}^{2+}$  иона

М, мг/л	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	12,1013	21,051 3	28,401 3	34,151 3	38,301 3	40,851 3	41,801 3	41,151 3	38,901 3

**Заключение.** Исследования этого вопроса позволит глубже понять сущность процессов формирования химического состава грунтовых вод и его изменения в пространстве и времени.

Полученные корреляционные зависимости  $M = f(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+ + \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-, \text{HCO}_3^-)$  дают возможность с достаточной точностью ( $r > 0,7$ ) определять значения катионов и анионов по данным анализа в лаборатории общей минерализации грунтовых вод (ГВ). Помимо этого, для более быстрого определения могут быть использованы составленные таблицы по уравнению регрессии кривых тренда. На основе установленных взаимосвязей между этими показателями можно разработать методы прогноза минерализации и ионного состава грунтовых вод.

В целом это будет способствовать сокращению числа анализов и получению значений основных химических элементов, так как определив в лаборатории лишь величину минерализацию грунтовых вод по каждой скважине, можно определить значение основных ионов и дать соответствующую оценку качеству ГВ. Организация получит экономическую выгоду не только от уменьшения числа анализов, но и за счет сокращения количества скважин при определении репрезентативных в каждом административном районе. В дальнейших исследованиях необходимо будут составлять такие зависимости по каждому агроучастку. В свою очередь это является основой для анализа метаморфизации (изменения) химического состава грунтовых вод (по Курнакову-Валяшко), что позволит прогнозировать тип засоления почв по классификации В.А.Ковда.

Тем самым мелиоративная экспедиция будет осуществлять достаточно полный анализ-химического состава ГВ, что позволит оперативно и с достаточной точностью разрабатывать технические рекомендации по улучшению эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель.

## Литература:

1. Питьева К. Е. Гидрогеохимия / К. Е. Питьева. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 316 с.
2. Никитин С.Н. Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине. СПб, 1900, 71 с
3. Козыревъ А.А. Грунтовые воды. С-Петербург. Типография Якорь, ГУЗЗ, 1907, 157 с.
4. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.-Л., Сельхозгиз, 1930, 280 с.
5. Кене В. Учение о грунтовых водах. Перевод с немецкого Граве Н.Н., Казариновой Е.В., М.-Л., Госстройиздат, 1932. 35 с.
6. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М., Гос.издат технико-теоретической литературы, 1952, 676 с.
7. Семихатов А.Н. Гидрогеология. М., Сельхозгиз, 1954, 328 с.
8. Павловский Н.Н. Движение грунтовых вод. Собр. Соч. Т-П. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1956, 771 с.
9. Кенесарин Н.А. Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов. Ташкент, Изд-во АН Уз.ССР, 1957, 178 с.
10. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. Изд-е 2. М., Изд-во Недра, 1978, 223 с.
11. Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв в аридных регионах мира. М., Наука, 2008, 415с.
12. Мурадов Ш.О. Научное обоснование водостойчивости аридных территорий юга Узбекистана/ МВ и ССО РУз, КИЭИ.-Ташкент: Фан, 2012.-376 с.
13. Сулейман Б.Ф., Николаев В.Ф., Султонова Р.Б., Скворцова Г.Ш. Оценка минерального состава природных вод кондукто-стохастическим методом. II Аналитика Том 9 № 5/2019 .- С. 388-393
14. Самарина В.С. Гидрохимия . Учебное пособие. -Л.: Изд. МГУ, 1977. 360 с.

15. Данные Кашкадарьинской Гидрогеологической станции (ГГС).  
Химический анализ грунтовых вод по Кашкадарьинской области за  
2017-2022 г.г.