



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрологии суши

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему **Водный режим водохранилища  
Дукан**

**Исполнитель** Ладжиниан Фарант Хаик Самуел

**Руководитель** Доктор географических наук, профессор

Мякишева Наталья Вячеславовна

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент Сикан Александр Владимирович

«8» июня 2016 г.

Санкт-Петербург 2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрологии суши

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему **Водный режим водохранилища  
Дукан**

**Исполнитель** Ладжиниан Фарант Хаик Самуел

**Руководитель** Доктор географических наук, профессор

Мякишева Наталья Вячеславовна

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент Сикан Александр Владимирович

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2016 г.

Санкт–Петербург 2016

## Содержание:

Введение.....	4
1. Физико – географические условия в районе исследования.....	6
1.1 Типы водохранилищ.....	6
1.2 Дукан – плотина.....	10
1.3 Ландшафтные особенности.....	12
1.4 Климат.....	15
1.5 Классификация климата.....	16
1.6 Осадки.....	17
1.9 Скорость ветра.....	17
1.10 Температура.....	17
1.11 Солнечный свет.....	17
1.12 Относительная влажность.....	18
2. Водный баланс .....	19
2.1 Водный баланс водохранилища Дукан.....	21
2.2 Уравнение водного баланса.....	21
2.3 Определение приходных составляющих.....	26
2.4 Приток воды в водоем подземным путем.....	26
2.5 Поступление воды за счет осадков.....	27
2.5 Определение расходных составляющих.....	27
2.6 Скорость ветра.....	28
2.7 Фильтрация.....	28
2.8 Конденсация.....	28
2.9 Расчет элементов водного баланса.....	32
3. Регулирующая способность водохранилища Дукан.....	33

3.1 Приток в водохранилище Дукан.....	33
3.1.1 Внутригодовые колебания притока.....	33
3.1.2 Межгодовые колебания притока.....	40
3.1.3 Долгопериодные колебания притока.....	45
3.2 Сброс из водохранилища Дукан.....	47
3.2.1 Внутригодовые колебания сброса.....	47
3.2.2 Междугодовые колебания сброса.....	52
3.2.3 Долгопериодные колебания сброса.....	53
3.3 .Обобщение результатов анализа в терминах вероятной модели...	55
Заключение.....	59
Список литературы и ссылки.....	61
Приложения.....	63

## ВВЕДЕНИЕ

**Водохранилище** – это искусственный водоем, созданный для накопления и последующего использования воды и регулирования стока.

Сооружение водохранилищ – пример техногенного вмешательства в природу в условиях неравномерного, естественного распределения водных ресурсов в пространстве и особенно во времени. Водохранилища решают целый ряд важнейших социально-экономических задач, удовлетворяя потребности человека в воде или защищая его от водной стихии.

Гидрологический режим водохранилищ управляется человеком, который выбирает заранее нужные параметры водоема и технические приемы его эксплуатации. Многие черты гидрологического режима водохранилищ определяются хозяйственными потребностями и регулируются. Вместе с тем искусственно созданные водоемы начинают участвовать в круговороте воды в речных системах, оказываются под влиянием комплекса природных факторов и подчиняются закономерностям, свойственным естественным водным объектам – рекам и особенно озерам.

Водохранилища своеобразные водные объекты, новый природно-техногенный компонент ландшафта. Они преобразуют режим рек, влияют на окружающую среду. Потребности практики заставляют изучать режим водохранилищ, разрабатывать стратегию рационального управления ими, принимать меры на предотвращение негативных факторов сооружений этих водоемов. Поэтому вполне правомочно говорить о новом разделе, т.е. о возникновении нового раздела в гидрологии – гидрологии водохранилищ.

Водохранилища могут быть подразделены на типы по характеру ложа, способу его затопления водой, географическому положению, месту в речном бассейне, характера регулирования стока.

**Цель работы** – выявить особенности водного режима водохранилища Дукан.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**.

- 1- Собрать фактический материал;
- 2- Рассчитать водный баланс водохранилища Дукан;
- 3- Оценить регулируемую способность водохранилища Дукан.

Для решения поставленных задач использовалась следующая информация:

- 1- среднемесячные значения расходов реки Малый Заб;
- 2- среднемесячные значения сброса из водохранилища Дукан, за период с 1976 по 2014 гг;
- 3- среднегодовые значения уровня воды в водохранилище Дукан;
- 4- среднегодовые значения испарения в водохранилище;
- 5- среднегодовые значения осадков.

## Глава 1

### Физико – географические условия в районе исследования

#### *Типы водохранилища*

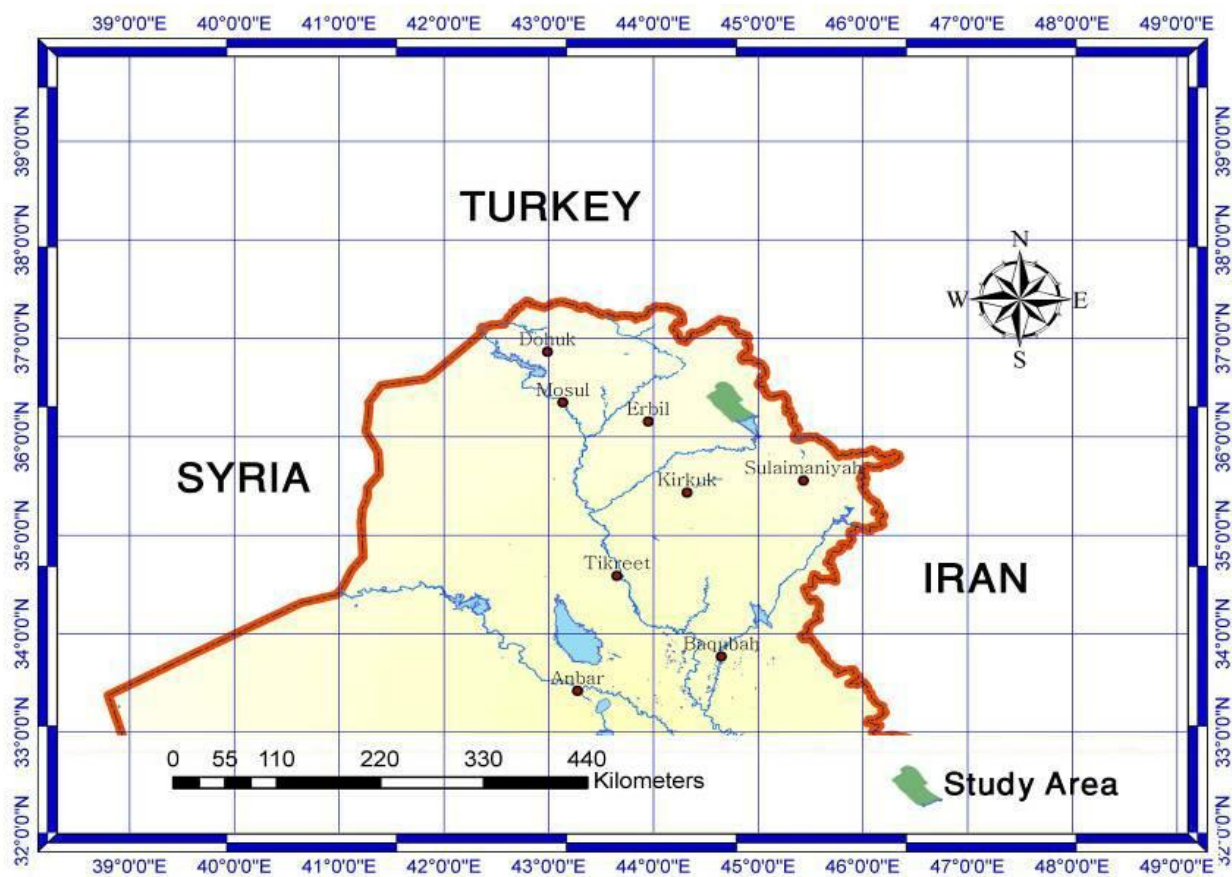
Сейчас в мире насчитывается более 30 тыс. водохранилищ с суммарным полным объемом около 6 тыс. км<sup>3</sup>. При этом полезный объем оценивается почти в 3,5 тыс. км<sup>3</sup>, что близко к 10% среднегодового стока всех рек мира. Общая площадь зеркала водохранилищ мира составляет 600-620 тыс. км<sup>2</sup> (Электронный ресурс - 66). Площадь всех водохранилищ Ирака 6880 тыс. км<sup>2</sup>

№	Река	Водохранилище	Площадь зеркала (км <sup>2</sup> )	Объем (км <sup>3</sup> )
1	Тигр и Евфрат	Таргар	2710	85.6
2	Евфрат	Эль - Разаза	1810	26.0
3	Евфрат	Хадита	503	8.3
4	Диала	Хамрин	487	3.6
5	Евфрат	Хаббания	426	3.3
6	Тигр	Мосул	380	11.1
7	Малый Заб	Дукан	270	6.8
8	Диала	Дербендихан	171	3.0
9	Аль Адаим	Аль Адаим	120	1.5
10	Дахук	Дахук	3	0.1
Сумма			6880	149.198



Рассмотрим тип водохранилища, на основе водохранилища Дукан, расположенном в Иракском Курдистане.





Карта водохранилищ Ирака.

Государство Ирак расположено в Юго-Западной Азии. Граничит на севере с Турцией, на востоке с Ираном, на юге с Саудовской Аравией и Кувейтом, на западе с Иорданией и Сирией. На юго-востоке на протяжении 50 км Ирак омывается водами Арабского (Персидского) залива. Северные и восточные границы Ирака проходят по естественным рубежам – рекам и горным хребтам. На юге граница между Ираком и Ираном проходит по реке Шатт-Эль-Араб, образующейся от слияния рек Тигра и Евфрата.

Месопотамия делится на две крупные области, различающиеся по рельефу, климату и растительности, граница между которыми проходит немного севернее Багдада. Северо-западная часть – Верхняя Месопотамия, или Джебизир; юго-восточная – Нижняя Месопотамия (низменность Вавилонии, или Ирак-Эль-Араби)

Иракский Курдистан отличается горным рельефом и обилием рек и озёр. Реки Большой Заб и Малый Заб пересекают регион с востока на запад. Горный характер Иракского Курдистана обуславливает разность температур в различных его частях, а обилие водных ресурсов способствует развитию сельского хозяйства и туризма. Самое большое озеро региона — Дукан.



Озеро Дукан является крупнейшим озером в иракском Курдистане. Оно расположено недалеко от города Рания и является резервуаром на реке Малый Заб, созданном при строительстве Дукан - плотины. Исследуемый район расположен на северо-востоке Ирака между широтами  $35^{\circ} 31' 26''$  -  $35^{\circ} 35' 37''$  на север и  $45^{\circ} 22' 10''$  -  $45^{\circ} 28' 48''$  восток покрывая площадь  $981 \text{ км}^2$ .

Площадь поверхности озера составляет 270 квадратных километров. При нормальной работе, емкость водохранилища составляет 6,8 кубических километров, в то время как его максимальная мощность составляет 8,3 кубических километров. В этом качестве, поверхность высота составляет 515 метров над уровнем моря. Для работы электростанции, поверхность высота должна быть между 469 и 511 метров. Водосбор бассейна Дукан плотины насчитывает 11700 квадратных километров (4500 квадратных километров)

## *Дукан – плотина*



Дукан - Дам расположен на Малой реке Заб примерно 295 км к северу от Багдада и в 65 км к юго-востоку города Сулеймания. Начало строительства плотины в 1954 году и завершено в 1959 году. Река Малый Заб течет вниз от плотины Дукан.

Гидропост был установлен на пароме Докана, в феврале 1955года. Записи средних суточных потоков были получены 5 мая 1956 года. До 1959 года отчеты об оттоках из Докана плотины были не стабильны. Далее данные стабилизировались. Оценка была хорошо определена по результатам измерений в период 1959-62 годов. Поэтому надежность речного стока 1962 является неопределенным.

Показатели уровня воды, температуру и показатель испарений собирают три раза в день, в 08.00, 12.00, 18.00 часов.

До октября 1986 года гидропост работал исправно, когда началась война, работа велась на 20 процентов. С 1988 года плотина Дукан возобновила работу на 100 процентов.

Это первая дамба в Ираке. Плотина - бетонная арка с гравитационными опорными блоками, расположенными в узком ущелье, в известняковой и доломитовой породе. Длина гребня плотины 350м и имеет максимальную высоту 116м.

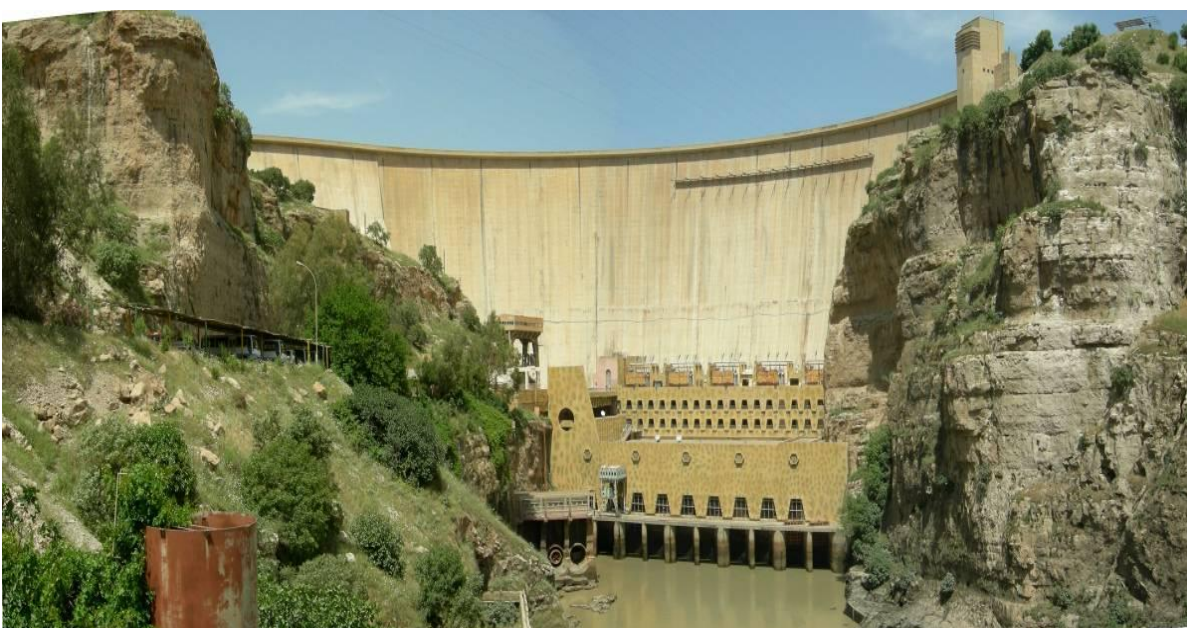
Водохранилище Дукан - плотины имеет общую проектную мощность в нормальном рабочем уровне в 6,870 мм.

Водохранилище находится под контролем двух водосливов, расположенных на левом берегу водохранилища. Ворота водосброса - три вертикальных ворота, 10м высоты и 6,8 ширины. Желоб, подключенный к туннелю диаметром 11м со свободным выходом, установлен на 50 м над рекой в ущелье, вниз по течению от плотины. Закрытый водосливной гребень установлен 14,5 ниже нормального верхнего уровня воды в резервуаре. Максимальная емкость закрытого водосброса является 2,450m<sup>3</sup> /с.

Помещение управления для работы плотины находится в контрольной башне на гребне плотины у левого упора. Из башни был установлен оригинальный контроль и мониторинг оборудования панели для закрытых водосливных и оросительных точек во время строительства дамбы, но никогда не был введен в эксплуатацию. Следовательно, работа любого из ворот или клапанов никогда не была возможной из диспетчерской и помещения и использовалась только в качестве контроля.

Оригинальный мониторинг уровня воды был модернизирован и новый блок считывания установлен в пределах панели. Там были различные эксплуатационные преимущества, если управление и контроль панели был введен в эксплуатацию и диспетчерская отремонтирована, чтобы обеспечить достаточное освещение и кондиционер. Однако, так как ворота и клапаны находятся в рабочем состоянии из соответствующих локальных панелей управления, построена диспетчерская, чтобы дать ему возможность выполнять его намеченную цель – следить за безопасностью Докана.





## **Ландшафтные особенности**

Формирование и развитие современных ландшафтов Ирака тесно связано с геолого-геоморфологическими условиями территории, особенностями климата и водного режима Тигра и Евфрата. Уникальное территориальное распределение водных ресурсов Ирака – почти их полное отсутствие на возвышенностях при чрезмерном обилии на низменных равнинах в условиях

аридного субтропического и тропического климата, послужили причиной соседства как нигде в мире, пустынных и болотных ландшафтов. Современные пустыни (песчаные, гравийные, гипсовые и известняковые) и полупустыни возникли в результате аридизации климата в послеатлантическое время и хозяйственной деятельности, среди которой важнейшим было ирригационное земледелие. Образование и природные особенности плоскоравнинных ландшафтов связаны с наносами рек Тигра и Евфрата.

Болота имеют пойменное происхождение, усиленное сбросом вод из оросительных каналов. В нижнем течении Тигра и Евфрата болота представляют собой крупнейшую на юго-западе Азии уникальную по своим природным характеристикам экосистему. Их образование вызвано циклическими разливами рек и разрушением древней ирригационной системы. Кроме современного экологического и экономического значения (промысел рыб и охота на птиц, выращивание сахарного тростника и риса), они имеют историческое значение, являясь центром возникновения Шумерской цивилизации. Осушение болот в начале 1990-х гг. привело к их деградации вплоть до образования соляной пустыни.

Разрушение ограждающих дамб и плотин привело только к частичному их восстановлению. Полное восстановление болот невозможно по причине прекращения весенних разливов рек Тигра и Евфрата в результате гидротехнического строительства по среднему их течению за пределами Ирака. Тигр и Евфрат выносят большое количество соли. В дополнение к этому, высокий уровень грунтовых вод, обедненные поверхностные воды и подземные дренажные потоки склонны концентрировать соли вблизи поверхности. Засоление почв возрастает от Багдада на юг до Арабского залива. Такая чрезмерная соленость находит свое отражение в части озер в центральном Ираке и на юге страны. На юго-западе, в междуречье Тигра и Евфрата, особенно к северу от Багдада, и на левобережье Тигра, к которому относится, в частности, район исследования, широко распространены сероземы субтропических степей и полупустынь, часто засоленные. На более высоких

плато Эль-Джазире преобладают каштановые почвы сухих и пустынных степей, а в горах северо-востока – горно-каштановые и горно-коричневые почвы. На юге широко распространены бесплодные пески, юго-восточные районы Ирака сильно заболочены, а почвы часто засолены. На речных наносах сформировались луговые и лугово-аллювиальные почвы, богатые питательными веществами.

Наибольшее распространение в Ираке имеет субтропическая степная и полупустынная растительность, приуроченная к западным, юго-западным и южным районам (западнее и южнее долины Евфрата) и представленная в основном засухоустойчивыми злаками, полынями, солянками, верблюжьей колючкой, джужгуном, астрагалом и др. В Эль-Джазире и на северо-востоке страны преобладает степная ксерофитная и эфемерово-разнотравная растительность. В горах на севере и северо-востоке страны сохранились массивы горно-дубовых лесов, в которых преобладают дубы и присутствуют гребенщик (тамарикс), сосна, дикая груша, фисташка, можжевельник и др. У подножий горных хребтов распространены колючие кустарники. К пойме Евфрата, Тигра и его притоков приурочена тугайная лесная растительность с кустарниковым подлеском, включающая тополь, иву, гребенщик. На юго-востоке страны большие заболоченные массивы заняты тростниково-камышовыми зарослями и солончаково-луговой растительностью. В настоящее время в долинах рек центрального и южного Ирака, вплоть до побережья Арабского залива, значительные площади отведены под плантации финиковой пальмы.

В юго-восточной части долины Дукан преобладают сухие степи и эфемерные группировки на каштановых почвах. На остальной территории распространены степные и полупустынные сообщества на сероземах субтропических степей и полупустынь. В естественном растительном покрове преобладают полынь, солянка, верблюжья колючка, джужгун. Астаргал. В предгорьях встречаются кустарниковые сообщества из тополя, ивы и гребенщика.

В долине Дукан население издавна занималось неполивным земледелием и скотоводством. В процессе длительного хозяйственного освоения естественные ландшафты замещены, в основном, агроландшафтами. В сферу сельскохозяйственного производства было вовлечено почти 63% площади.

### *Климат*

Большая часть Ирака расположена в субтропическом поясе, в континентальном подтипе средиземноморского типа климата, для которого характерно умеренное количество осадков (500-750 мм), выпадающих зимой и полное или почти полное их отсутствие летом. Южная часть страны находится в тропическом поясе с континентальным климатом.

Для горной части - типичны сухое жаркое лето и мягкая зима, с небольшими морозами и частыми снегопадами. В горных долинах снежный покров зимой достигает нескольких метров. В северо-восточном Ираке выпадает до 1000 мм осадков. Снег в межгорных котловинах, так что зимой этот район оказывается изолированным от остальной части страны.

Для зимы характерны резкие колебания температуры, связанные со сменой теплого воздуха, наступающего со стороны Арабского залива, на холодные массы воздуха, притекающие с севера. Весной дуют сильные южные ветры, вызывающие пыльные бури

Почти 56% годового количества осадков выпадает в зимний период (с декабря по февраль), весной (с марта по май) частые дожди и грозы, град с осадками около 28% от годового количества.

Лето (с июня по сентябрь) характеризуется быстрым ростом температуры, низкая влажность и отсутствие осадков.



Из-за отсутствия метеостанции в районе Рания, мало гидрометеорологических данных (1976-2014), чаще используемой близлежащей станции. Станция Докан находится в 10 км к юго-востоку от Рании: долгота (44° 58-) и широта (35° 55-) с высоты (555 м) выше уровня моря.

### **Классификация климата:**

Для того, чтобы определить тип климата и индекс засушливости Дукан, используется классификация, предложенная AI-Кубаиси:

Режим 1: этот параметр, чтобы определить возможную климата зональность как (влажно - влажный) и (засушливая, суб. - засушливый):

$$AI.1 = (1 \times P) / (11.525 \times t)$$

Режим 2: этот параметр оценить подзоны из результатов

$$AI.2 = 2\sqrt{P / t}$$

Согласно этой классификации климат района Дукан можно классифицировать, как (Влажно-влажный) для обоих режимах (1 и 2)

Тип. 1	Оценка	Тип.2	Оценка
AI.1 > 1,0	Влажный к влажному	AI.2 > = 4.0	Влажный
		AI.2 < 4.0 AI.2 > = 2.5	Влажный к влажному
		AI.2 < 2.5 AI.2 > = 1.85	Влажный Влажный
		AI.2 < 1.85 AI.2 > = 1.5	Влажный, к югу засушливый
AI.1 < 1.0	к югу засушливый	AI.2 < 1.5 AI.2 > = 1.0	к югу засушливый
		AI.2 < 1,0	засушливый

## ***Осадки***

Осадки являются наиболее важным параметром в водном балансе.

Большее количество выпадает в зимний период. Максимальный месячный показатель количества осадков, зарегистрирован (423 мм) в январе 2003 года максимальное среднемесячное количество осадков (149 мм) в декабре.

Среднее годовое количество осадков было (744 мм) в течение периода (1976-2014)

## ***Скорость ветра***

Процесс удаления паров зависит от ветра и турбулентности воздуха.

(Средняя) суточная скорость ветра в метрах в секунду (м s-1) измеренная на расстоянии 2 м над уровнем земли. В среднем годовая скорость ветра (2,36 м / с). Среднее минимальное и максимальное значение этого параметра в исследуемой области составляет (1,605 м / с) и в (3,405 м / с) октябрь и март соответственно.

## ***Температура***

Средние месячные значения температуры за период (1976-2014) были (19,1 ° C), а максимальная среднемесячная температура составила (33,3 ° C) в июле, в то время как минимум был (5,7 ° C) в январе.

## ***Солнечный свет.***

Среднемесячная максимальная продолжительность солнечного сияния происходит в июне с абсолютным значением (10,97 часов / день), а средняя месячная минимальная продолжительность происходит в декабре с абсолютным значением 4.41 ч/сут, рис. показывает средний ежегодный солнечный свет на период (1976-2014).

### ***Относительная влажность.***

Относительная влажность является одним из наиболее важных факторов, которые непосредственно влияют на эвапотранспирацию. Относительная влажность является мерой воды, содержание пара в воздухе при данной температуре. Изменение относительной влажности является результатом того, что давление паров насыщения определяется изменением температуры окружающего воздуха. Относительная влажность является циклической переменной. Это связано с температурой и испарением.

На основании данных станции Докан, среднегодовая относительная влажность (56,5%), средние минимальные и максимальные значения этого параметра в исследуемой области являются (33,5%) и (74,6%) в июле и декабре соответственно.

Среднегодовое количество осадков за период (1976-2014) является 743 мм / год, средняя относительная влажность составляет 56,5%, средняя температура 33,3 °С, средняя скорость ветра составляет - 2,36 м / сек, а годовое испарение 2408 мм / год.

Иракский Курдистан делится на три природные зоны:

1. равнинный юг с субтропическими климатом, мягкими дождливыми зимами и жарким сухим летом с температурой до 40 °С;
2. нагорья, где лето жаркое, но зимы холоднее, со снегом; однако температура почти не опускается ниже 0 °С;
3. высокогорья с холодными зимами, температурами ниже 0 °С и снегом, который окончательно сходит лишь в июне - июле.

## Глава 2

### Водный баланс

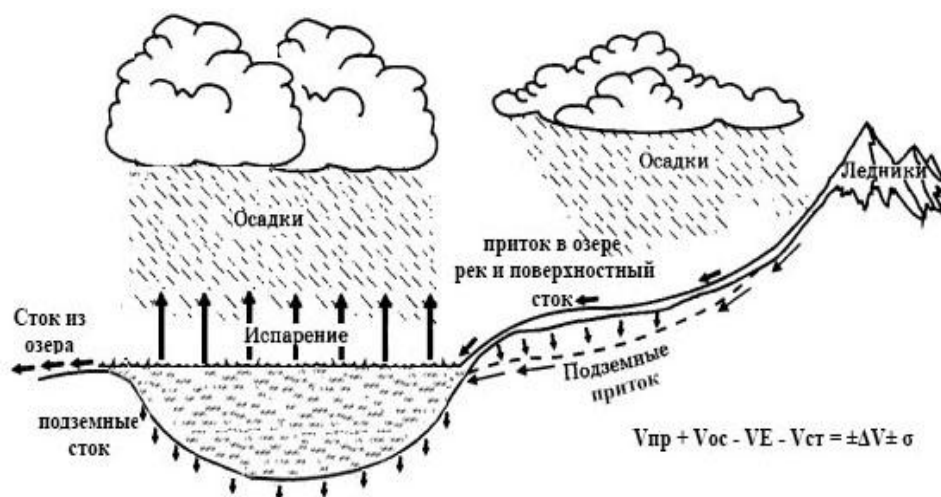
Водный баланс - это сравнительное исследование между количеством воды, падающей на определенной площади поверхности Земли и перехода между различными формами распространения или направить для этого водного испарения воды и стока и утечки в почву и подземные резервуары земли.

И может быть определено как процессами прихода и расхода воды, является главнейшей характеристикой их гидрометеорологического режима. На основе водного баланса изучается водообмен, физические и химические процессы, происходящие в водоемах, а также оценивается эффективность хозяйственных мероприятий, проводимых на озерах и в их бассейнах для использования, водных ресурсов.

Согласно этому определению, показывает, что водный баланс основе на календарь природных элементов из испарения, поверхностный сток, поверхностной влаги в почве и подземный воды, и его роль в круговороте воды в природе.

Озеро живет, пока получает воду. Объем водной массы озера и его изменение зависят от поступления и потерь воды, т. е. от водного баланса озера. Приходная часть водного баланса озера складывается из поступления поверхностного и подземного стока с озерного водосбора и атмосферных осадков, выпадающих на поверхность самого озера. Расходная часть водного баланса складывается из поверхностного и подземного стока из озера, испарения с его поверхности.

Водный баланс может быть положительным, отрицательным, а за некоторый промежуток времени — нулевым или нейтральным. Поэтому и объем воды в озере может увеличиваться, уменьшаться или оставаться неизменным. Водный баланс озера изменяется в течение года. Весной в умеренных широтах резко возрастает приток воды в озеро, летом, наоборот, возрастает расход воды за счет ее испарения. Это отражается на сезонном колебании уровня озер.



К приходным компонентам относятся:  $P_p$ - приток воды по рекам, впадающим в озеро или водохранилище, и с площади, непосредственно прилегающей к водоему и не имеющей постоянной гидрографической сети (склоновый сток);  $P_n$  — приток воды в водоем подземным путем, через его ложе;  $P_{oc}$  — поступление воды за счет осадков, выпавших на зеркало водоема (зимой на ледяной покров);  $L$  — приток воды от таяния осевшего на берегах льда;  $K$  - конденсация влаги на поверхность водоема.

Водный баланс водоемов во многом отличается от водного баланса водотоков, так как появляются новые составляющие, например, испарение с поверхности водоемов, или меняется режим ранее учитываемых (для водохранилищ расходная часть определяется действием человека). Но в обоих случаях водный баланс является основой количественной оценки современного и будущего состояния водных ресурсов озер и водохранилищ. Как и для других водных объектов, водный баланс водоемов находит широкое применение при планировании использования и охраны озер и водохранилищ, для количественной оценки уровня хозяйственной деятельности человека на водоемах и в их бассейнах. Знание водного баланса необходимо при планировании водохозяйственных мероприятий в бассейнах водоемов (орошение водоснабжение, переброски стока, создание водохранилищ и т.п.). Он необходим в практике рыбного хозяйства, водного транспорта, условий рекреации, при оценке качества воды водоемов и т.п.

Если речь идет о водохранилищах, то водный баланс необходимо знать для контроля выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях, для прогнозов притока воды к водохранилищам и их уровня и режима и для многих других целей.

Водный баланс отражает совокупное воздействие всех факторов, которые влияют на изменение запасов воды в озере или водохранилище.

Уравнение водного баланса состоит из приходных, расходных и аккумуляционных составляющих. Эти составляющие не остаются постоянными

во времени и пространстве, а их величины определяются особенностями климата и строением котловин водоемов и их бассейнов. Непостоянство составляющих приводит к изменчивости уровня, а, следовательно, варьируют размеры водоема, его глубины, водные ресурсы и т.п. Все это приводит к изменению целого ряда элементов, формирующих водную экосистему (минерализация, прозрачность и т.п.). И с этих позиций изучение водного баланса, его структурных особенностей, совершенствование способов расчета составляющих является очень важной задачей.

К основным приходным составляющим относятся: поверхностный и подземный притоки воды, осадки, выпадающие на зеркало водоема и конденсации водных паров. К расходным составляющим относятся: поверхностный и подземный сток, испарение с поверхности водоема. Алгебраическая сумма приходных и расходных составляющих представляет изменение объема воды в водоеме.

### **Водный баланс водохранилища Дукан.**

Уравнение водного баланса

Водный баланс, определяемый процессами прихода и расхода воды, является главнейшей характеристикой их гидрометеорологического режима. На основе водного баланса изучается водообмен, физические химические процессы, происходящие в водоемах, а так же оценивается эффективность хозяйственных мероприятий, проводимых на озерах и в бассейнах для использования водных ресурсов.

Общий вид уравнения водного баланса озер и водохранилищ:

$$\sum\Pi - \sum P = \sum A + N, \quad (1)$$

Где  $\sum\Pi$ - сумма приходных компонентов баланса,  $\sum P$ - сумма расходных компонентов баланса,  $\sum A$ - сумма аккумуляционных компонентов,  $N$ - невязка баланса.

К приходным компонентам относятся:  $\Pi_r$  - приток воды по рекам, впадающим в озеро или водохранилище, и с площади, непосредственно прилегающей к водоему и не имеющей постоянной гидрографической сети (склоновый сток);  $\Pi_n$  - приток воды в водоем подземным путем, через его ложе;

*Пос* - постусление воды за счет осадков, выпавших на зеркало водоема (зимой ледяной покров); *Л*- приток воды от таяния осевшего на берегах льда; *К*- конденсация влаги на поверхности водоема.

К расходным компонентам относятся: *С*- сток воды из озера по вытекающим из него рекам ( для водохранилищ - сток через гидротехническое сооружение); *И*- потери на испарение с водной поверхности; *Ф*- фильтрация ( подземный сток) воды из водоема, в том числе фильтрация через тело плотины; *Л1*- временные потери воды, за счет оседания льда и покрывающего его снега на берегах при зимнем снижении уровня водоема; *З* - расход воды на хозяйственные нужды (орошение, судоходные каналы, водоснабжение и т.д.)

К аккумуляционным составляющим относятся: *Ав* - аккумуляция воды в чаше водоема; *Аб* - аккумуляция воды в грунтах берегов, обусловленная оттоком воды в грунт с повышением уровня; *Ап* - аккумуляция в русле и в пойме устьевой части основных рек, впадающих в водоем ниже створов, на которых учитывается сток этих рек; *Н'* - невязка баланса, складывающаяся из суммы неучтенных составляющих и суммарной ошибки определения учтенных.

В зависимости от задач баланс может быть составлен за различные интервалы времени (декада, месяц, сезон, год, многолетний период), а все его элементы могут быть выражены в миллиметрах слоя, приходящегося на водную поверхность, или в объемных единицах (м и км кубические)

Удельный вес различных составляющих баланса неравнозначен и определяется климатическими условиями водосбора, морфометрическими особенностями водоема, его проточностью, соотношением площадей зеркала и водосбора, уровнем хозяйственной деятельности на водоеме и в бассейне, продолжительностью периода, за который составляется баланс, и водностью этого периода. В отличие от озер, водный баланс которых обусловлен в первую очередь природными факторами, баланс водохранилищ определяется преимущественно характером регулирования стока.

Часто некоторые из составляющих настолько малы, что не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на общий сток и могут не рассматриваться вообще. Например, конденсация имеет место лишь в осенний и весенний периоды и преимущественно на крупных озерах и водохранилищах, приход воды при этом незначителен.

Составляющий  $L$  и  $L_1$  учитываются лишь при значительном падении уровня воды зимой, что характерно только для водохранилищ. В годовом разрезе  $L$  и  $L_1$ , как правило, уравниваются.

Незначительны и составляющие  $A_p$  и  $A_n$ , учитывается так же, как правило, на водохранилищах. Во время весеннего наполнения водоема эти компоненты берутся со знаком минус, а при последующей сработке - со знаком плюс.

Специальными гидрогеологическими наблюдениями установлено, что для крупных озер и водохранилищ, подземная составляющая чаще всего относительно небольшая и не выходит за пределы ошибок определения основных составляющих баланса.

Некоторые элементы могут вообще отсутствовать, например составляющая  $C$  в бессточных водоемах.

Основная роль в водном балансе обычно принадлежит: в приходной части поверхностному притоку ( $Pp$ ) и в меньшей степени осадкам на зеркало водоема ( $Пос$ ), а в расходной – стоку для сточных водоемов ( $C$ ) и испарению ( $I$ ), особенно для бессточных.

Для водного баланса за период с повышенным увлажнением характерно превышение природных составляющих над расходными, приводящие к возрастанию аккумуляционных членов ( $\sum A$ ) и повышению уровня водоема. За период пониженного увлажнения, расходная часть превышает приходную, и уровни понижаются. За многолетний период, включающий маловодные и многоводные фазы, значение аккумуляционного члена приближается к нулю, а баланс называется равновесным.



Таким образом, за период времени  $T$ , учитывая только основные составляющие баланса, уравнение  $\sum\Pi - \sum P = \sum A + H$ , можно записать так:

Для сточных водоемов

$$Pr + Poc + C - I + H = \pm Av \quad (2)$$

Для бессточных водоемов

$$Pr + Poc - I + H = \pm Av \quad (3)$$

За многолетний период в обоих случаях  $Av = 0$ . Однако нужно помнить, что в каждом конкретном случае роль тех или иных второстепенных составляющих может оказаться заметной и тогда их необходимо учитывать.

Составляющие водного баланса озер и водохранилищ рассчитываются по материалам наблюдений всех гидрометеорологических станций и постов, действующих на данном водоеме, и гидрологических станций и постов, измеряющих сток на реках бассейна ( в том числе и не являющихся притоками исследуемого водоема).

Для озер необходимо располагать материалами наблюдений на вытекающих реках, а для водохранилищ – данными учера стока на сооружениях гидроузлов. Одновременно нужно иметь план или карту водоема в изобатах и его бассейна, а так же батиграфическую и объемную кривые.

Объем сведений , необходимых для составления водного баланса, в каждом конкретном случае определяется характером водоема, его типом ( озеро, водохранилище), размерами, периодом, за который составляется водный баланс, и т. П. Следует отметить, что период, за который рассчитываются составляющие водного баланса, в первую очередь лимитируется рядом наблюдений за уровнем воды в водоеме, необходимым для расчета изменения его запасов. Остальные же составляющие, если они имеются не за весь период, могут быть с той или иной степенью восстановлены или определены косвенными способами. Точность расчета составляющих баланса зависит от продолжительности расчетного периода и возрастает с его увеличением.

Расчет водного баланса следует выполнять в размерностях, принятых при их определении в пунктах наблюдений. Например, приток и сток в виде средних расходов  $Q_m$ ,  $Q_{cm}$  (м кубических в секунду), осадки и испарения в слое воды  $P, E$  (мм), аккумуляция в виде приращения уровня  $\Delta H$  (см) или объема  $\Delta W$  (м кубических). Все величины за интервал времени –  $T$ .

При включении этих составляющих в уравнение баланса необходимо выполнить приведение их к единой размерности.

В объемных единицах ( млн м кубических)

$$W_{np} + W_{oc} - W_{ucn} - W_{cm} = \pm W_{ak} \quad (4)$$

Где:

$$W_{np} (м^3/с) = Q_{np}T; W_{om} = PF_o/10^2; W_{ucn} = EF_o/10^2; W_{cm}(м^3/с) = Q_{cm}T;$$

$$W_{ak} = \Delta HF_o/10^2$$

Где  $F_o$ - площадь зеркала озера или водохранилища.

В слое воды на поверхность водоема ( мм)

$$W_{np}/F_o \cdot 10^3 + P - E - W_{cm}/F_o \cdot 10^3 = \pm \Delta H \cdot 10. \quad (5)$$

Уравнения водного баланса, представленные в виде

$$W_{np} + W_{oc} - W_{ucn} - W_{cm} = \pm W_{ak} \quad (6)$$

И

$$W_{np}/F_o \cdot 10^3 + P - E - W_{cm}/F_o \cdot 10^3 = \pm \Delta H \cdot 10, \quad (7)$$

Наиболее часто применяются на практике. При этом, учитывая, что составляющие водного баланса зависят от площади зеркала, уравнение

$$W_{np}/F_o \cdot 10^3 + P - E - W_{cm}/F_o \cdot 10^3 = \pm \Delta H \cdot 10, \quad (8)$$

Позволяет, кроме того, производить сравнение данных по различным объектам.

## **Определение приходных составляющих:**

### **Поверхностный приток.**

Систематический учет стока ведется не на всех реках, впадающих в водоем, а только на их части. Иногда наблюдения отсутствуют вообще. Остальная часть бассейна остается не изученной.

При наличии гидрометрических створов на впадающих в водоем реках приточность представляет собой сумму их расходов. В настоящее время к числу изученных рек относятся наиболее крупные водотоки.

Для неосвещенной наблюдениями площади, включая устьевые участки притоков ниже гидростворов, приточность определяется по значениям слоя ( модули стока в  $\text{Л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ , слой стока в мм), установленным по аналогии с водосбором рек, на которых ведется наблюдение. Точность определения зависит от того, насколько репрезентативными являются реки – аналоги. В качестве аналогов можно использовать реки, как непосредственно впадающие в водоем, так и вообще реки бассейна.

### **Приток воды в водоем подземным путем.**

Подземный приток может состоять из грунтовых, аллювиальных и напорных вод. Грунтовые воды приурочены к межустьевым и бессточным участкам. Аллювиальные воды разгружаются в устьях впадающих рек, а напорные воды поступают через ложе водоема в виде ключей.

### **Поступление воды за счет осадков.**

Осадки, выпавшие на зеркало водоема, определяется по наблюдениям островных и береговых дождемерных пунктов. Средний по водоему слой осадков определяется путем подсчета как среднеарифметического или как средневзвешенного значения.

### **Определение расходных составляющих.**

#### **Сток воды из водохранилища.**

Определяется по данным учета стока через гидротехнические сооружения.

#### **Потери воды на испарения.**

Потери воды определяются по формуле ГГИ

$$E = 0,14n(e_0 - e_2)(1 + 0,72 V_2) \quad (9)$$

где  $E$  - месячная сумма испарения, мм;  $e_0$  - среднее значение максимальной упругости водного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, мбар;  $e_2$  - среднее значение упругости водяного пара (абсолютная влажность воздуха) над водоемом на высоте 2 метра, мбар;  $n$  - число дней в расчетном интервале времени, за который принимается месяц;  $V_2$  - скорость ветра на высоте 2 метра над поверхностью воды, м/с.

Для расчета используются материалы наблюдений на ближайших от водоема метеорологических станциях, расположенных на суше. Количество станций определяется размерами водоема.

## **Скорость ветра.**

Скорость ветра над водоемом значительно больше, чем над сушей, вследствие меньшей шероховатости водной поверхности по сравнению с поверхностью суши. Шероховатость поверхности суши изменяется по географическим зонам, достигая наибольших значений в лесной зоне. При расчете скорости ветра над водоемом необходимо учитывать различия в шероховатости подстилающей поверхности в тех или иных географических зонах и степени защищенности метеорологических станций, расположенных на суше, по сравнению с открытой водной поверхностью.

## **Фильтрация.**

Фильтрация происходит в обход гидротехнических сооружений и под ними.

## **Конденсация**

Конденсация влаги на поверхности водохранилища происходит, как правило, в осенний и весенний периоды, когда температура воды резко отличается от температуры воздуха вследствие большой термической инерции водоема.



Уравнение водного баланса:

$$V_{np} n_1 + V_{np} n_2 + V_{oc} - V_{cm} - V_{исп} = \pm \Delta V \quad (10)$$

$q$ - расход в единицу времени с единицы площади.

$$q = Q / A_2 + A_3$$

$$q \cdot (A_2 + A_3) = Q$$

$$Q \cdot T = V_{2,3}$$

$$q \text{ л/с км}^2 \cdot A_0 \cdot T = V$$

$$q = Q \cdot 1000 / A_0$$

$$q = 178000 / 17930 = 9,93 \text{ л/с км}^2 = 34,7 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$34,7 + 178 = 212,7 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$212,7 \text{ м}^3 / \text{с} + 1260 \text{ мм} - 175 \text{ м}^3 / \text{с} = \pm \Delta H$$

$$24,8 \text{ мм} + 1260 \text{ мм} - 20,41 \text{ мм}$$

$$25 + 1260 - (20 + \text{исп}) = \pm \Delta H \quad (\text{где исп} = 855 \text{ мм})$$

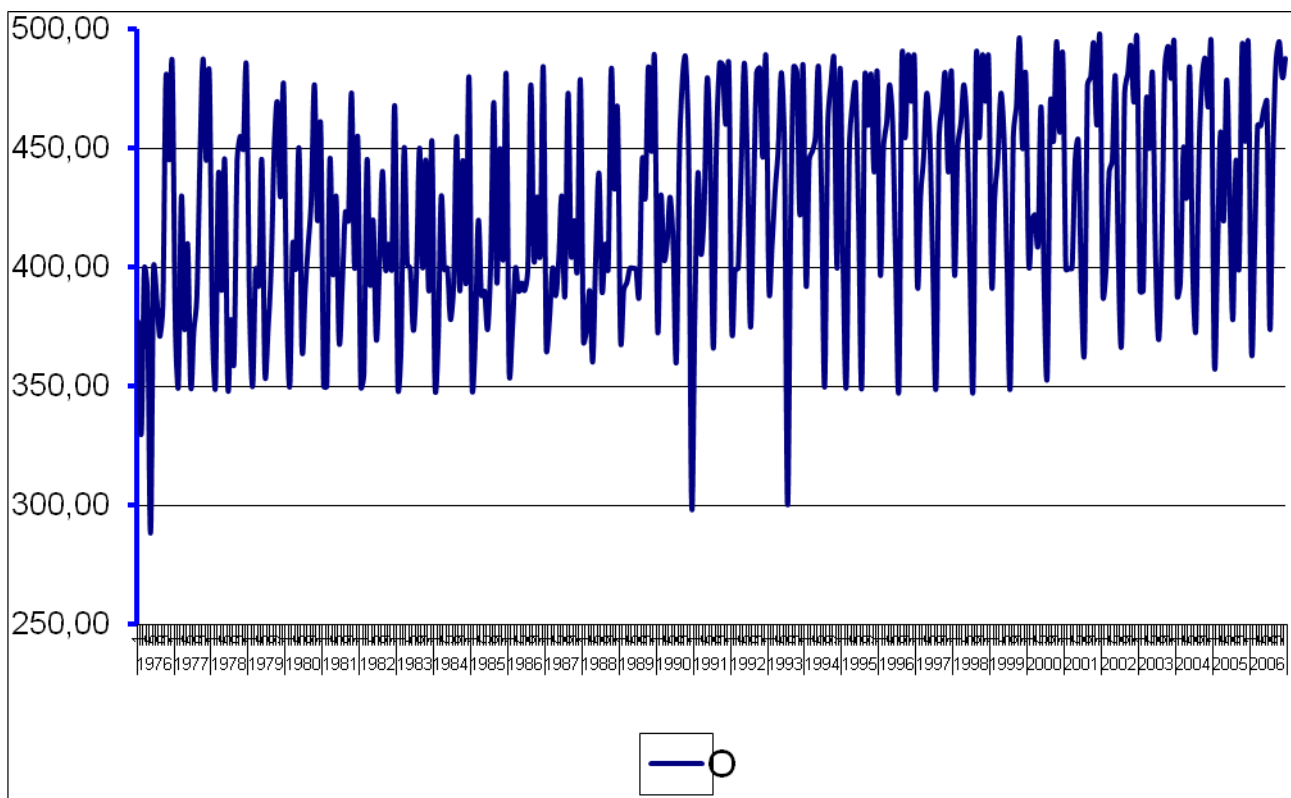
$$1285 - 875 = \pm \Delta H$$

$$410 \text{ мм} = \pm \Delta H$$

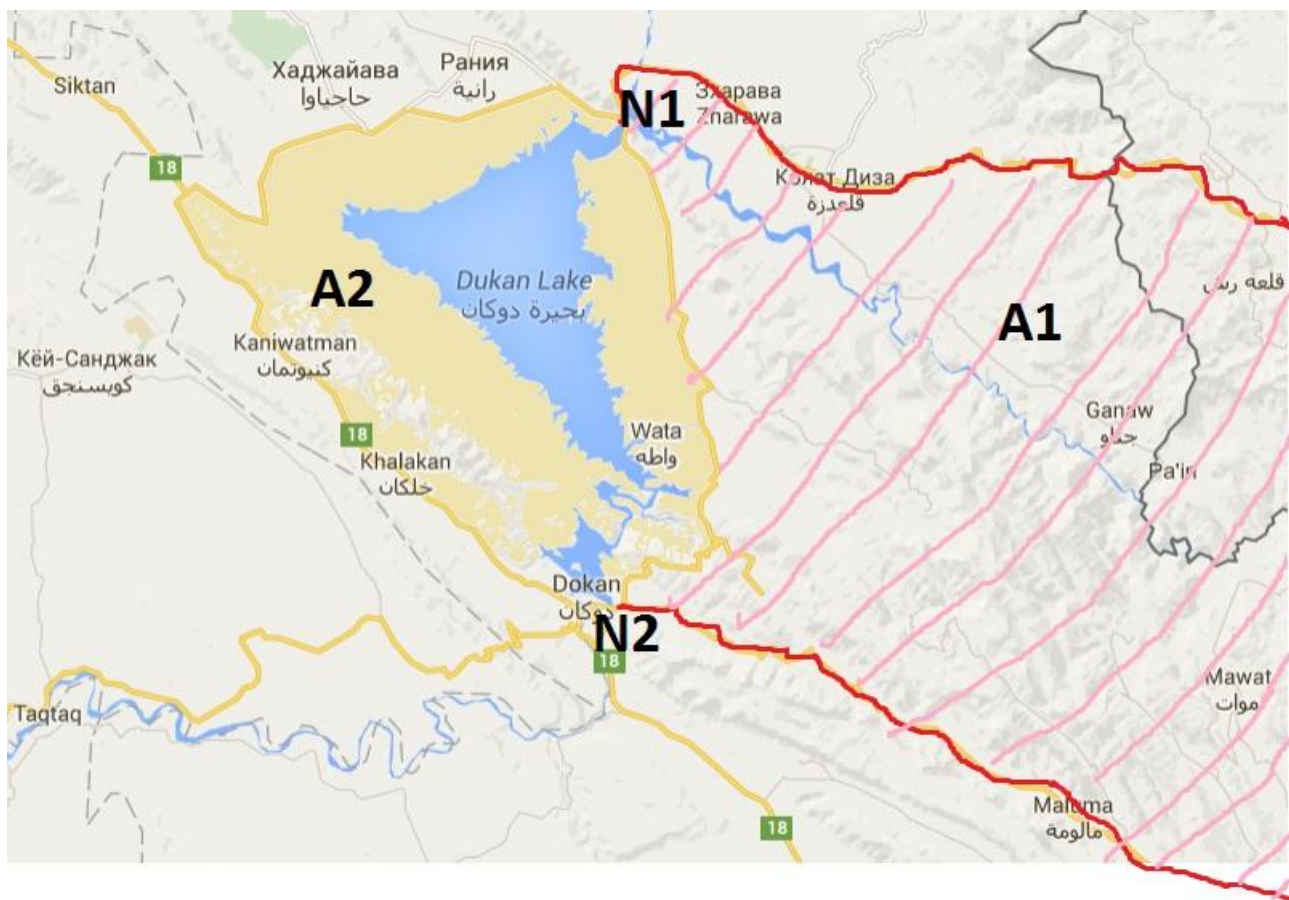
$$\pm\Delta H = 41 \text{ см.}$$

Таким образом, по методу аналогии, уровень водохранилища поднялся на 41 см.

### Уровень воды в водохранилище Дукан



## Схема объема водохранилища и его водосбора.



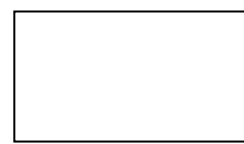
Озеро Дукан



Водосбор



Бассейн озера



Река Заб Ал- Асваль

A1- бассейн – 11700 км<sup>2</sup>

A2- водосбор + озеро - 3500+270 км<sup>2</sup>



N1, N2 - Гидрологические и метеорологические станции Дукан.

Гидростанция Дукан	Период наблюдений	Составляющие баланса м <sup>3</sup> /с	$q$	$\Delta V$
N1	39	Приток 178	34,7 м <sup>3</sup> /с	41 см
N2	39	Сброс 175		

Метеостанция Дукан	Период наблюдения	Осадки (P-мм)	Испарения (E-мм)
N Дукан	35	1260	855

### Расчет элементов водного баланса.

$$\Delta V = V_{\text{пр}} - V_{A1} - V_{A2} - V_{\text{ос}} + V_{\text{исп}} \quad (11)$$

$V_{A1} - V_{A2}$  = природные условия бассейна A1 и A2 – одинаковые ( То есть одна природная лесная зона, как в бассейне, так и вокруг его, значит природные условия одни и те же) - значит модуль стока переносится с A1 на A2 = 34,7 м<sup>3</sup>/с

$$\Delta V = 178 \text{ м}^3/\text{с} - 34,7 \text{ м}^3/\text{с} - 1260 \text{ мм} - 855 \text{ мм}$$

$\Delta V = 178 \text{ м}^3/\text{с} * 31,5 * 10^6 + 34,7 \text{ м}^3/\text{с} * 31,5 * 10^6 + 1260 \text{ мм} * 270 \text{ км}^2 - 855 \text{ мм} * 270 \text{ км}^2 = 41 \text{ см}$  в объемных единицах, (где 31,5 \* 10<sup>6</sup>-число секунд в году).

Следовательно, модуль стока может быть перенесен на рассматриваемую прилегающую к водохранилищу.

## Глава 3

### Регулирующая способность водохранилища Дукан

#### 3.1. Приток в водохранилище Дукан

##### 3.1.1. Внутригодовые колебания притока

Для оценки регулирующей способности водохранилища Дукан рассмотрим два процесса - приток в водохранилище Дукан и сброс из водохранилища.

Ряд средних месячных значений притока реки АЛ-ЗАБ АЛ-АСФАЛ за период с 1976 по 2014 годы приведен на рисунке

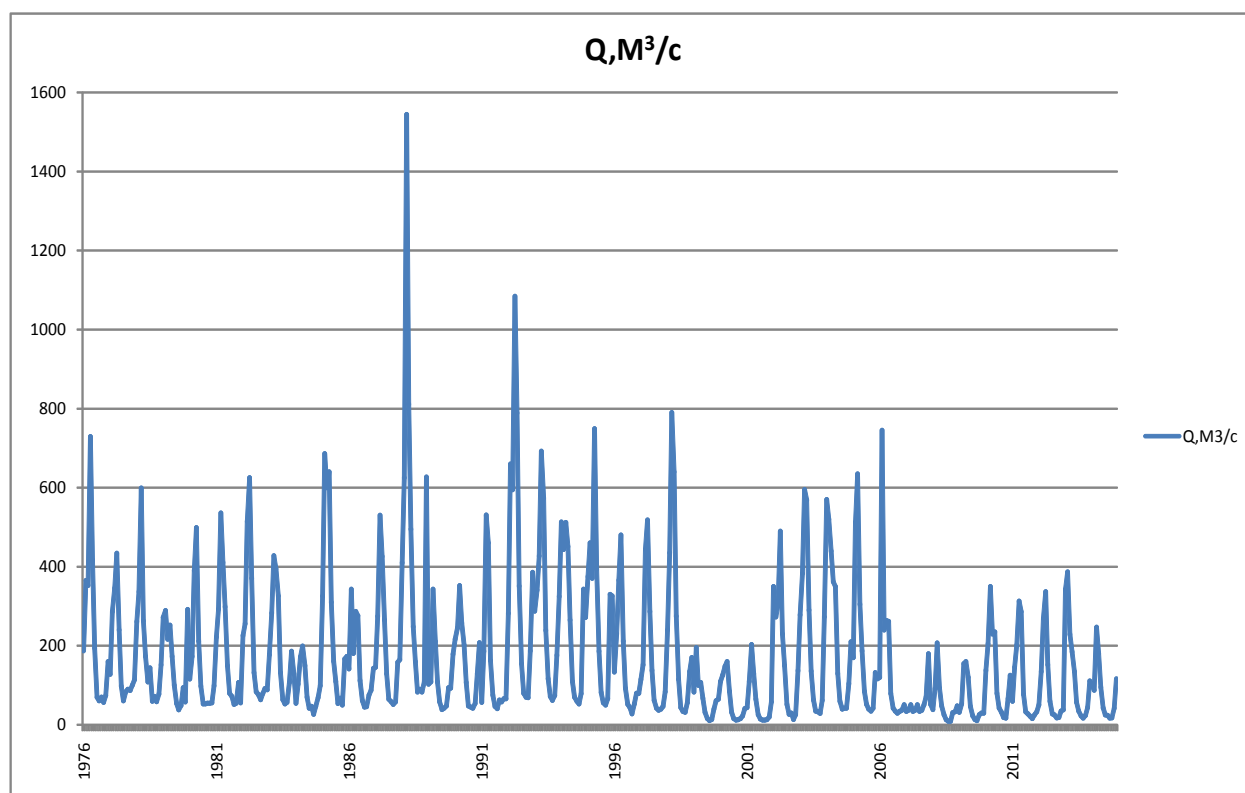


Рисунок 3.1.1.1 График среднемесячных значений притока воды в водохранилище Дукан за 1976-2014 г

Из рисунка видно, что ежегодно в октябре наблюдается увеличение расходов воды в реке, которое продолжается до июня. При этом максимальный расход воды приходится на март. Минимальный расход воды наблюдается с июля по октябрь.

Из года в год меняется амплитуда внутригодового хода. Такой вид изменчивости целесообразно анализировать методом теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП).

Напомним, что в общем случае случайный процесс  $\xi(t)$ ,  $t \in (-\infty, \infty)$ , называют периодически коррелированным, если существует такое фиксированное положительное число  $T$ , при сдвиге на которое, характеристики процесса остаются инвариантными. Математическое ожидание периодически коррелированного случайного процесса определяется как:

$$m_{\xi}(t) = M\{\xi(t+kT)\}, \quad (3.1.1.1)$$

а корреляционная функция – как:

$$K_{\xi}(t, \tau) = M\{\xi^{\circ}(t+kT) \xi^{\circ}(t+\tau+kT)\}, \quad (3.1.1.2)$$

где

$$\xi^{\circ}(t) = \xi(t) - m_{\xi}(t);$$

$\tau$  – сдвиг при расчете корреляционной функции.

При  $\tau = 0$  функция (3.2) равна дисперсии процесса  $D_{\xi}(t)$ . Функции  $m_{\xi}(t)$ ,  $D_{\xi}(t)$ ,  $K_{\xi}(t, \tau)$  являются периодическими по аргументу  $t$  с периодом  $T$ , который называется периодом коррелированности. Естественным периодом коррелированности гидрологических процессов служит период равный одному году. Характеристики ПКСП описывают так называемую повторяемость «в среднем» свойств гидрометеорологических процессов.

Математическое ожидание характеризует регулярную компоненту изменений и позволяет найти средний многолетний образ сезонного или месячного хода (что близко к понятию «норма»); дисперсия – отклонение процесса  $\xi(t)$  от средней многолетней нормы.

Совместный анализ графиков оценок  $m(t)$  и  $D(t)$  дает возможность установить тип межгодовой изменчивости процессов. В случае когерентности этих графиков изменчивость происходит в виде амплитудной модуляции, т.е. ослабления или усиления интенсивности основных элементов внутригодового хода, в случае некогерентности – в виде наложения долгопериодного колебания или частотно – фазовой модуляции. Вид функции  $K_{\xi}(t, \tau)$  определяет закономерности корреляционных зависимостей межгодовых (при  $\tau = 1$  год) или внутригодовых (при  $\tau = 1$  месяц) изменений процесса в заданные моменты времени. Оценки функций  $m_{\xi}(t)$ ,  $D_{\xi}(t)$ ,  $K_{\xi}(t, \tau)$  вычисляются по отсчетам, взятым из исходной реализации через период коррелированности, и имеют вид

$$m_{\xi}^*(t) = 1/N \sum \xi(t+kT), \quad (3.1.1.3)$$

$$D_{\xi}^*(t) = 1/N \sum (\xi^{\circ}(t+kT))^2, \quad (3.1.1.4)$$

$$K_{\xi}^*(t, \tau) = 1/N \sum (\xi^{\circ}(t+kT) \xi^{\circ}(t+kT+\tau)) \quad (3.1.1.5)$$

При использовании исходной информации месячного периода осреднения оценки (3.3) – (3.5) вычисляются по ежегодным последовательностям значений для каждого месяца года в предположении об их стационарности.

Известно, что дискретный процесс авторегрессии первого порядка  $\xi_n = (n\Delta)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , полученный дискретизацией непрерывного процесса, описывается разностным уравнением

$$\xi_n = \phi_1 \xi_{n-1} + \varepsilon_n, \quad (3.1.1.6)$$

где  $\varepsilon_n$  – дискретная последовательность белого шума;  $\phi_1$  – параметр авторегрессии;  $\Delta$  – интервал дискретизации.

Графики оценок вероятностных характеристик ПКСП (математического ожидания  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , корреляционных зависимостей внутригодовой  $K(t, \tau)$  (при  $\tau=1$  мес.) и межгодовой (при  $\tau=1$  год) изменчивости притока речных вод в водохранилище Дукан приведены на рис.3.3.3—3.3.5, а их количественные характеристики – в таблицах 1-3.

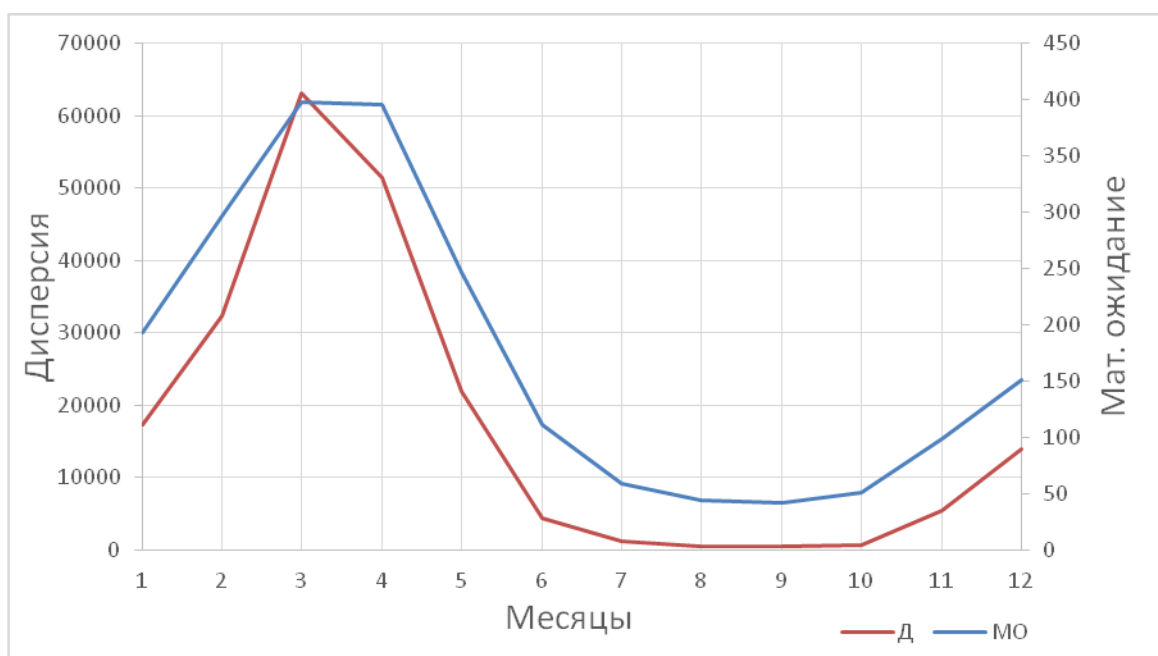


Рисунок 3.1.1.2 Графики оценок математического ожидания  $m(t)$  и дисперсии  $D(t)$ внутригодового хода притока в водохранилище Дукан

Таблица 3.1.1.1 Значения математического ожидания и дисперсии притока в водохранилище Дукан

месяцы	I	II	III	IV	V
$m(t)$ м <sup>3</sup> /с	192.7	297	397.9	395.7	246.7
$D(t)$ м <sup>3</sup> /с	17207.6	32250.1	63051.6	51477.9	21811.1

VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
110.7	59.3	43.7	42.3	51.3	98.7	151.3
4331.2	1264.5	411.9	468.7	628.7	5438.5	13906.8

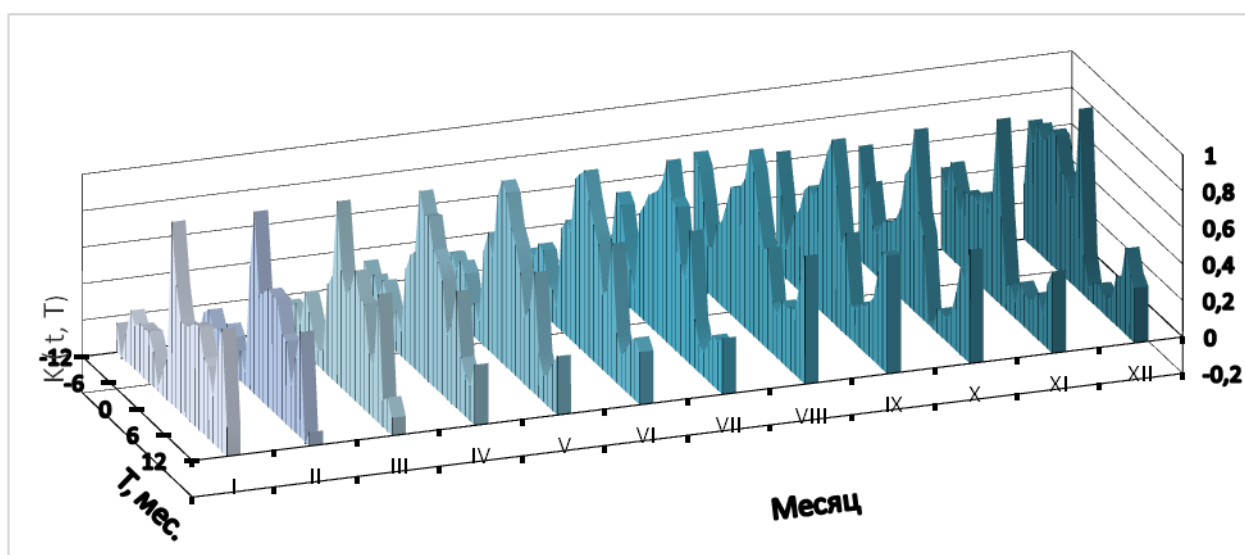


Рисунок 3.1.1.3 Графики оценок корреляционных зависимостей  $K(t, \tau)$  ( $\tau=1$  мес.) внутригодовой изменчивости притока в водохранилище Дукан.

Графики оценок корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости притока  $K(t, \tau)$ ,  $\tau=1$  месяц (рисунок 3.1.1.3) не затухают внутри года для всех месяцев, практически симметричны, однотипны и значимы для апреля – августа – периода летней межени. Асимметричность связей «вперед» и «назад» нарушается для периода половодья

Таблица 3.1.1.2 Матрица корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости  $K(t, \tau)$ , ( $\tau = 1$  мес) притока воды в водохранилище Дукан

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-12	0,16	0,08	0,10	0,33	0,32	0,29	0,31	0,70	0,65	0,62	0,45	0,30
-11	-0,01	0,19	0,20	0,25	0,34	0,26	0,56	0,65	0,43	0,36	0,35	0,68
-10	0,15	0,23	0,18	0,30	0,28	0,36	0,52	0,48	0,16	0,47	0,52	0,58
-9	0,30	0,14	0,23	0,20	0,35	0,34	0,32	0,26	0,28	0,26	0,41	0,70
-8	0,24	0,17	0,14	0,32	0,30	0,19	0,21	0,27	0,40	0,24	0,28	0,64
-7	0,27	0,15	0,34	0,25	0,13	0,18	0,13	0,42	0,45	0,33	0,44	0,66
-6	0,27	0,24	0,25	0,14	0,19	0,11	0,57	0,47	0,58	0,35	0,44	0,74
-5	0,28	0,19	0,13	0,22	0,11	0,56	0,63	0,58	0,63	0,37	0,47	0,73
-4	0,19	0,00	0,09	0,13	0,52	0,63	0,72	0,70	0,59	0,42	0,44	0,56
-3	0,02	0,16	0,11	0,50	0,65	0,60	0,75	0,72	0,66	0,50	0,53	0,56
-2	0,13	0,07	0,50	0,60	0,53	0,91	0,79	0,75	0,79	0,71	0,47	0,47
-1	0,22	0,68	0,57	0,64	0,89	0,96	0,86	0,82	0,91	0,77	0,57	0,49
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,68	0,57	0,64	0,89	0,96	0,86	0,82	0,91	0,77	0,57	0,49	0,22
2	0,50	0,60	0,53	0,91	0,79	0,75	0,79	0,71	0,47	0,47	0,13	0,07
3	0,50	0,65	0,60	0,75	0,72	0,66	0,50	0,53	0,56	0,02	0,16	0,11
4	0,52	0,63	0,72	0,70	0,59	0,42	0,44	0,56	0,19	0,00	0,09	0,13
5	0,56	0,63	0,58	0,63	0,37	0,47	0,73	0,28	0,19	0,13	0,22	0,11
6	0,57	0,47	0,58	0,35	0,44	0,74	0,27	0,24	0,25	0,14	0,19	0,11
7	0,42	0,45	0,33	0,44	0,66	0,27	0,15	0,34	0,25	0,13	0,18	0,13
8	0,40	0,24	0,28	0,64	0,24	0,17	0,14	0,32	0,30	0,19	0,21	0,27
9	0,26	0,41	0,70	0,30	0,14	0,23	0,20	0,35	0,34	0,32	0,26	0,28
10	0,52	0,58	0,15	0,23	0,18	0,30	0,28	0,36	0,52	0,48	0,16	0,47
11	0,68	-0,01	0,19	0,20	0,25	0,34	0,26	0,56	0,65	0,43	0,36	0,35
12	0,16	0,08	0,10	0,33	0,32	0,29	0,31	0,70	0,65	0,62	0,45	0,30

Таблица 3.1.1.3 Матрица корреляционных зависимостей межгодовой изменчивости притока воды в водохранилище Дукан

годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0,17	0,15	0,06	0,24	0,28	0,25	0,29	0,70	0,69	0,62	0,45	0,30
2	0,11	0,07	-0,09	-0,01	-0,01	0,12	0,15	0,43	0,52	0,51	0,30	0,18
3	-0,18	-0,07	0,12	0,13	-0,10	0,03	0,22	0,35	0,54	0,49	0,13	0,05
4	-0,21	-0,26	-0,05	0,09	0,00	0,10	0,24	0,42	0,38	0,42	0,01	0,13

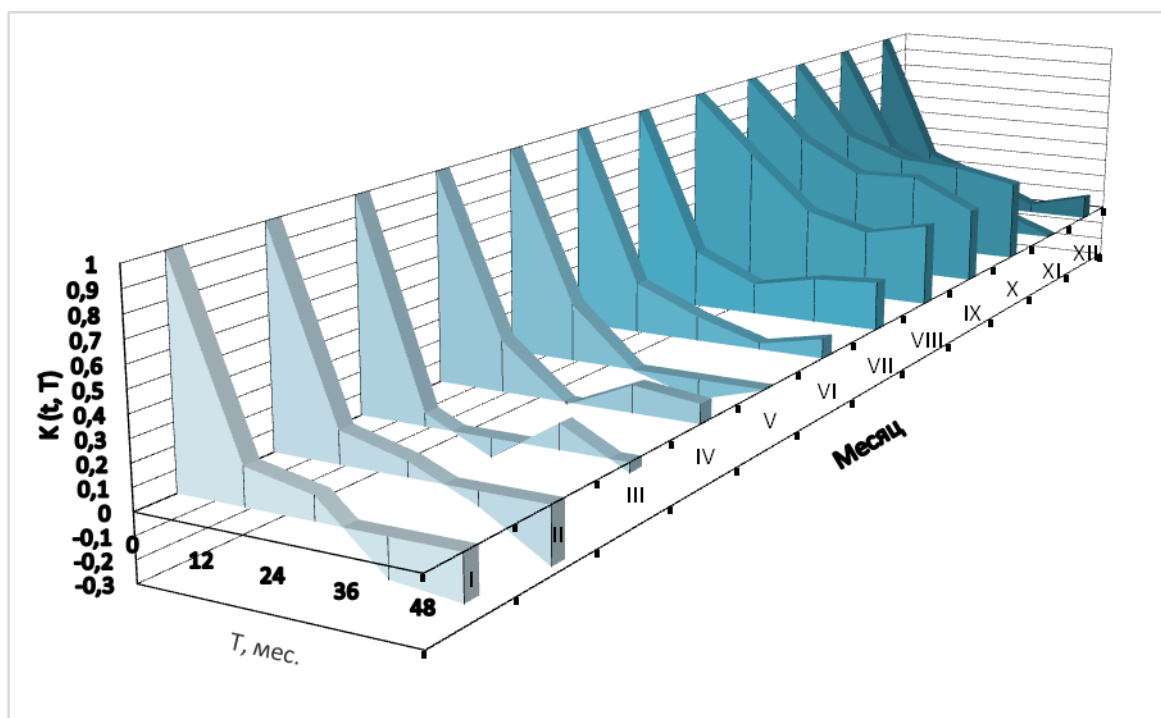


Рисунок 3.1.1.4 Графики оценок корреляционных зависимостей  $K(t, \tau)$ , ( $\tau = 1$  год) межгодовой изменчивости притока в водохранилище Дукан

Графики оценок корреляционных зависимостей межгодовой изменчивости притока  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  год для периода зимнего половодья достаточно быстро затухают на начальном участке, продолжая флуктуировать около нулевого уровня в дальнейшем. Для периода летне-осенней межени межгодовые зависимости притока практически не затухают.



### 3.1.2. Межгодовые колебания притока

Для характеристики межгодовой изменчивости притока вод в водохранилище Дукан воспользуемся квантильным анализом. Кратко рассмотрим теорию.

Пусть из генеральной совокупности взята случайная выборка объемом  $n$ . Интересующий нас признак принял следующие значения:

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n.$$

Расположим полученные результаты в порядке возрастания их алгебраической величины:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(i)} \leq \dots \leq x_{(n)}.$$

В таком упорядоченном (ранжированном) ряду  $i$ -й по порядку член называется  $i$ -й порядковой статистикой ряда объемом  $n$ . Любая порядковая статистика представляет собой функцию всей совокупности результатов данной выборки: чтобы найти нужную порядковую статистику, следует предварительно расположить по порядку все элементы выборки. Одна и та же статистика может варьировать от выборки к выборке. Крайние порядковые статистики  $x_{(1)}$  и  $x_{(n)}$  называются экстремумами выборки, причем  $x_{(1)}$  называется наименьшим значением, а  $x_{(n)}$  — наибольшим значением выборки. Разность  $R = x_{(n)} - x_{(1)}$  — носит название размаха выборки. При нечетном объеме выборки  $n = 2k - 1$  порядковая статистика  $x_{(k)}$  называется выборочной медианой. В случае четного объема выборки  $n = 2k$  она определяется как полусумма двух центральных порядковых статистик, а именно:

$$Me = \frac{x_k + x_{k+1}}{2}.$$

С порядковыми статистиками тесно связаны понятия выборочных

квантилей, децилей, квартилей и т. д. Квантилем генеральной совокупности, отвечающим некоторому уровню вероятности  $p$ , называют такое значение признака  $x = x_p$ , при котором функция распределения достигает значения  $p$ , т.е.

$$F(x_p) = p.$$

Выборочный  $p$ -й квантиль в выборке объемом  $n$  определяют как порядковую статистику  $x_{(i)}$  номер  $i$  которой представляет собой наибольшее целое число, содержащееся в  $np + 1$ . Так, например, в выборке объемом  $n = 15$  выборочными квантилями, отвечающими уровням  $p$ , равным 0,25, 0,50, 0,75 (т.е. выборочными квартилями) являются порядковые статистики  $x_{(4)}$ ,  $x_{(8)}$ , и  $x_{(12)}$ .

Первой работой по математической теории порядковых статистик была статья Карла Пирсона (1902 г.), в которой он рассмотрел наиболее «справедливое» соотношение между размерами первого и второго призов.

К. Пирсон нашел математическое ожидание разности между двумя соседними порядковыми статистиками в выборке произвольного объема из генеральной совокупности с непрерывной функцией распределения.

Следующий шаг был сделан Дж. Ирвином, который в 1925 г. дал общее выражение для математического ожидания разности любых двух порядковых статистик. В том же году появились таблицы Типпета, содержащие распределение крайней порядковой статистики в выборках из нормально распределенной генеральной совокупности.

В последующее десятилетие составляются таблицы математических ожиданий и дисперсий порядковых статистик в выборках из совокупности с нормальным распределением. В 1932 г. А. Крег вывел формулу распределения выборочных медиан и квартилей. Из более общих работ следует отметить глубокое исследование Н. В. Смирнова, который нашел, в частности, распределение  $i$ -й порядковой статистики при неограниченном увеличении объема выборки  $n$  из генеральной совокупности с произвольной функцией плотности распределения  $f(x)$ .

В 1930-е годы намечается практическое использование порядковых статистик для оценивания параметров. И здесь сначала были исследованы выборки из генеральной совокупности с нормальным распределением. В 1934 г. О. Девис и Э. Пирсон доказали, что при небольшом числе наблюдений (не более 10) оценка дисперсии, вычисленная по размаху выборки, имеет почти такую же точность, что и оценка по обычной формуле

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

Простая и удобная оценка рассеяния по размаху выборки вскоре стала широко применяться в контроле качества продукции. Многие исследования 1940-х годов по-прежнему посвящены крайним членам и размаху выборки. Но в то же время изучаются возможности использования порядковых статистик для решения таких задач, как упрощенная оценка коэффициента корреляции, определение принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности и оценка параметров распределения. В работах С. Уилкса и Д. Огавы даются общие формулы распределения одной порядковой статистики и совместного распределения нескольких порядковых статистик.

С начала 1950-х годов интерес к теории порядковых статистик резко возрастает, особенно в связи с оцениванием неизвестных параметров по небольшому числу наблюдений. Этому способствовало широкое распространение в промышленности статистических методов контроля качества, надежности и долговечности изделий. Основополагающей стала работа Э. Ллойда, который нашел общий способ вычисления оптимальных линейных оценок. Вслед за этим многие авторы, применяя идею Ллойда к различным исходным распределениям, вычисляли оптимальные веса для различного числа наблюдений и анализировали эффективность полученных линейных оценок.

В предшествующей главе было показано, что каждой выборочной

совокупности  $(x_1 \dots, x_n)$  можно поставить в соответствие ее функцию распределения  $F^*(x)$ .

При квантильном анализе выборочной совокупности, кроме  $Me$ ,  $x_{0,25}$ ,  $x_{0,75}$  наиболее часто используют крайние члены  $x_{min}$ ,  $x_{max}$  ранжированного ряда, равные  $x_1$  и  $x_n$  соответственно, а также их линейные комбинации: интерквартильное расстояние  $Q = x_{0,75} - x_{0,25}$ , размах  $R = x_{max} - x_{min}$  трехсреднее значение

$$T_3 = (x_{0,25} + 2Me + x_{0,75})/4.$$

Кроме того, различия между  $T_3$  и  $Me$ , а также  $(x_{min}, Me)$ ,  $(x_{max}, Me)$ ,  $(x_{0,25}, Me)$ ,  $(x_{0,75}, Me)$  являются оценками асимметрии  $As$  распределения в разных точках области значений переменной  $x_i$ , поскольку

$$As = \frac{x_{1-p} + x_p - 2Me}{x_{1-p} - x_p}.$$

Статистики  $T_3$  и  $Me$  имеют смысл оценок центра распределения.

Чертеж может быть дополнен «барьерами», которые вводятся через масштаб распределения, записанный в виде  $m = 1,5Q$  и получивший название «шаг».

Внутренние барьеры находятся на расстоянии шага от верхней и нижней сторон ящика, наружные барьеры — на шаг дальше. Для случайной величины с нормальным законом распределения между внутренними барьерами содержится 99 % значений выборки, между внешними 99,9997 %. За внешними барьерами расположены «отскакивающие» значения.

На рисунке 3.1.1.5. приведен график средних годовых значений притока воды в водохранилище Дукан, а также результаты квантильного анализа и линия тренда. В таблицах 3.1.1.5. и 3.1.1.6. содержится информация о многоводных и маловодных годах притока.

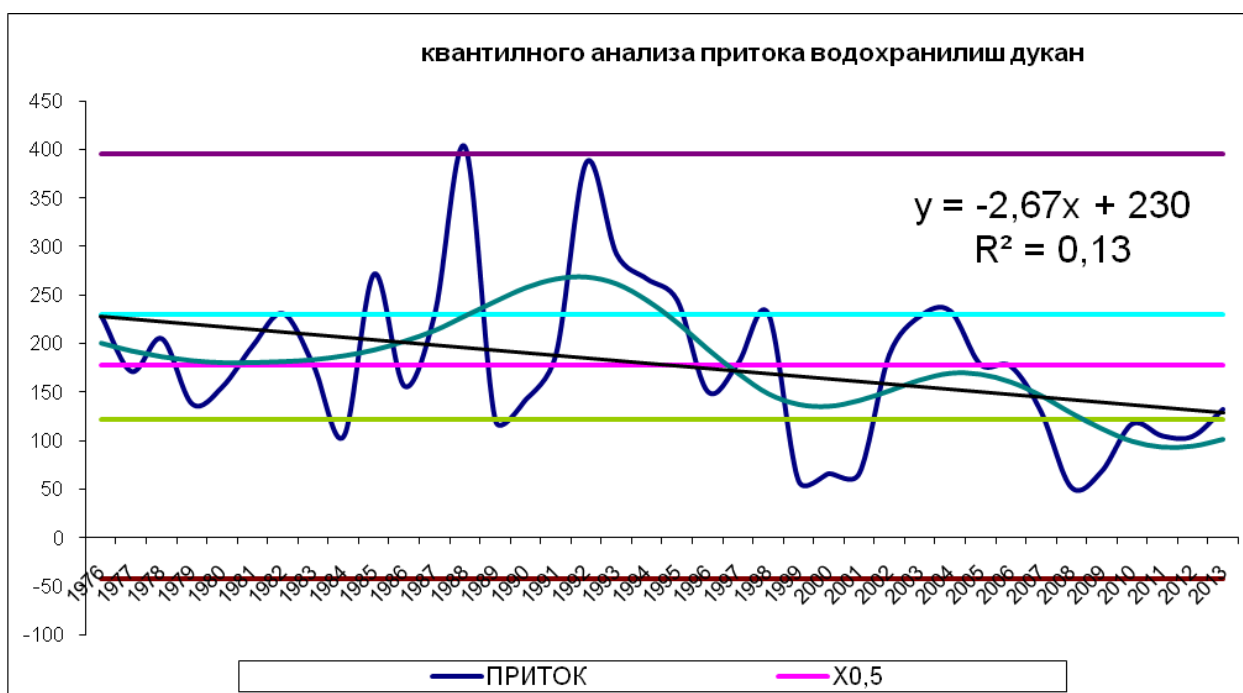


Рис. 3.1.1.5.График среднегодового притока воды в водохранилище Дукан за период 1976-2014гг.

Из таблиц 3.1.1.5 и 3.1.1.6. видно, что многоводные и маловодные годы притока наблюдались как разрозненно, так и группировались в фазы циклов. Так многоводный период наблюдался с 1992 по 1995 гг. Маловодный период пришелся на 1979-1980 гг. Экстремально многоводным был 1988 г. Экстремально маловодных лет за рассматриваемый период не наблюдалось. Необходимо обратить внимание на наличие тренда на уменьшение притока за рассматриваемый период. Однако тренд не выходит за пределы интерквартильного расстояния.

Вероятностные характеристики притока воды в водохранилище Дукан  
за период 1976-2014 гг. (39 лет)

	$\chi_{\min}$	$\chi_{0.25}$	$\chi_{0.5}$	$\chi_{0.75}$	$\chi_{\max}$	$R$	$Q$	$T^*$	$\chi_B$	$\chi_H$
Сред. год	51.83	121	178	231	402.7	350.8	110	17.66	395	-43

Табл.3.1.1.5.Многоводные годы

Ср. год $\chi_{0.75}=231$
1982
1985
1988
1992
1993

Табл.3.1.1.16.Маловодные годы

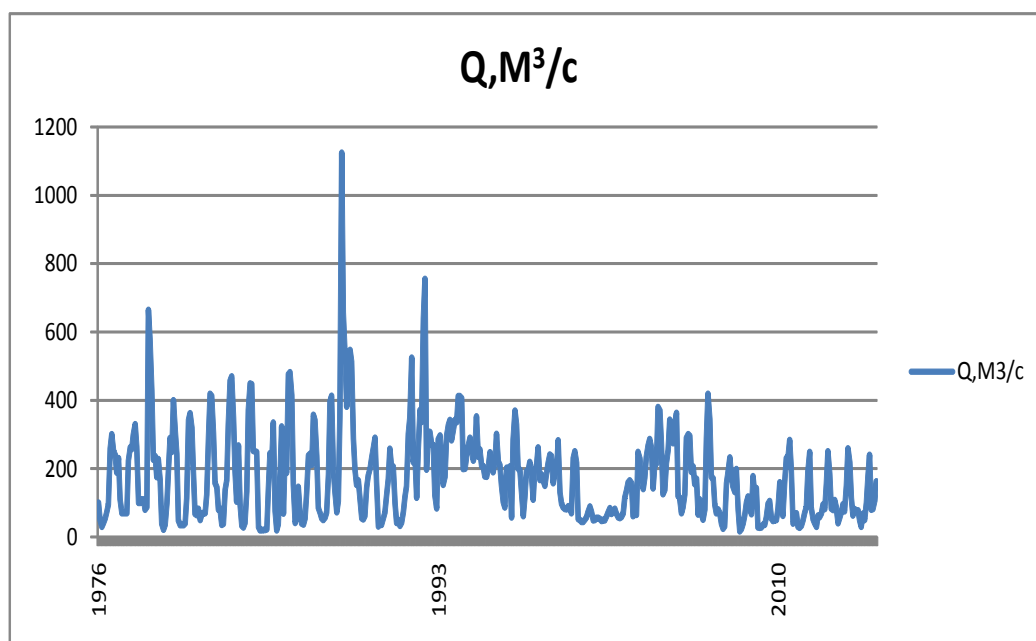
Ср. год $\chi_{0.25}=121$
1977
1979
1980
1986
1990

1994	
1995	
	1996
1998	
2004	
	2007
	2013

## 3.2. Сброс из водохранилища Дукан

### 3.2.1 Внутригодовые колебания сброса

Ряд средних месячных значений сброса из водохранилища за период с 1976 по 2014 годы приведен на рисунке



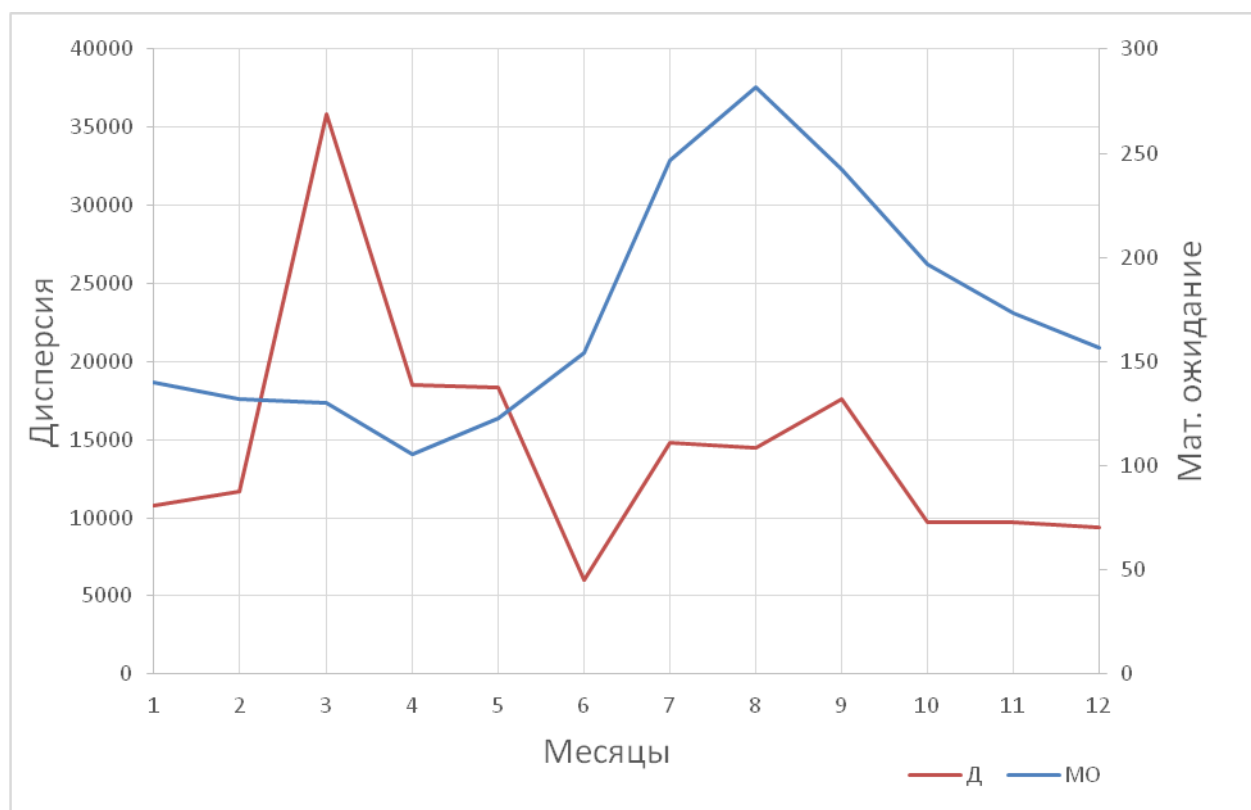
#### 3.2.1.1. Графики средних месячных значений сброса воды в водохранилище Дукан

Графики оценок вероятностных характеристик ПКСП (математического ожидания  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , корреляционных зависимостей внутригодовой  $K(t, \tau)$  при  $\tau=1$  мес. и межгодовой  $K(t, \tau)$  при  $\tau=1$  год изменчивости сброса речных вод из водохранилища Дукан приведены на рис. 3.3.9, а их количественные характеристики – в таблицах 3.3.



Таблица 3.2.1.1. Значения математического ожидания и дисперсии

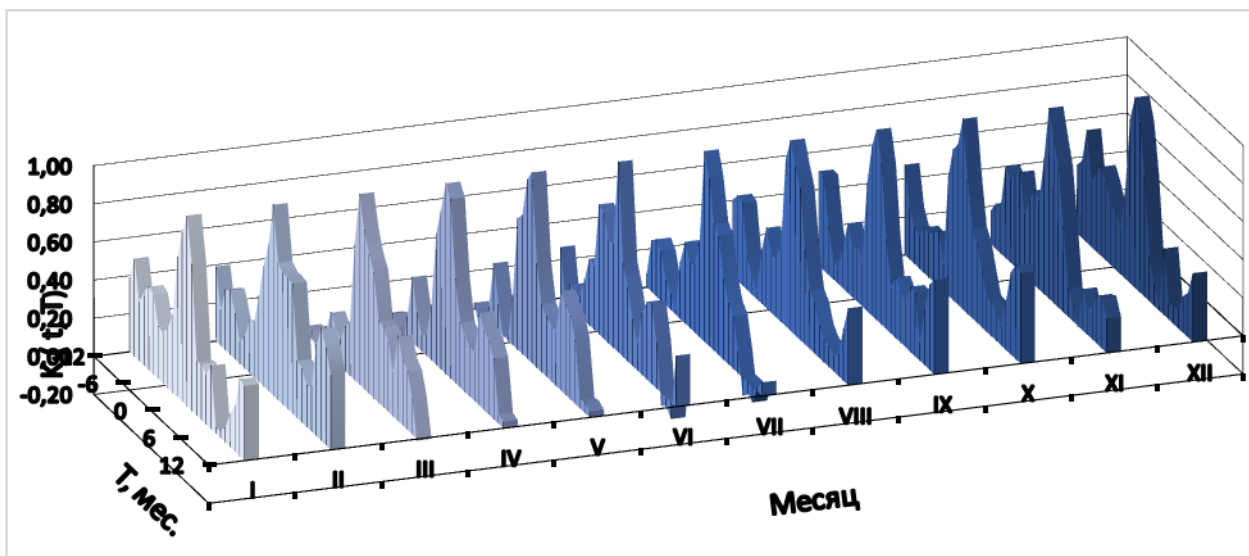
Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$M(t)$ $m^3/c$	140	132	130	106	123	154	247	282	242	197	173	156
$D(t)$ $m^3/c$	10756	11730	35825	18499	18332	6037	14852	14494	17614	9680	9715	9428



3.2.1.2. Графики оценок математического ожидания  $m(t)$  и дисперсия  $D(t)$  внутригодового хода сброса воды из водохранилища Дукан.

Таблица 3.2.1.2. Матрица корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости сброса воды из водохранилища Дукан 1976-2014 гг.  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  мес

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-12	0,39	0,39	-0,01	0,03	0,03	0,27	0,07	0,40	0,50	0,47	0,18	0,36
-11	0,51	0,19	0,05	0,05	-0,09	0,02	0,27	0,45	0,50	0,27	0,24	0,40
-10	0,31	0,32	0,05	-0,04	-0,08	0,12	0,30	0,43	0,25	0,19	0,24	0,59
-9	0,39	0,34	-0,07	-0,06	0,08	0,10	0,26	0,17	0,10	0,17	0,48	0,34
-8	0,44	0,24	-0,09	0,11	0,33	0,11	0,13	0,09	0,08	0,24	0,44	0,42
-7	0,42	0,12	0,12	0,34	0,14	0,22	0,08	0,04	0,22	0,23	0,49	0,47
-6	0,28	0,17	0,24	0,18	-0,01	0,35	0,03	0,28	0,37	0,26	0,52	0,41
-5	0,27	0,27	0,18	0,08	0,02	0,33	0,30	0,42	0,26	0,29	0,33	0,32
-4	0,32	0,29	0,15	0,11	0,26	0,68	0,43	0,30	0,29	0,14	0,43	0,31
-3	0,41	0,45	0,23	0,29	0,69	0,66	0,34	0,32	0,24	0,63	0,50	0,24
-2	0,74	0,64	0,28	0,69	0,73	0,54	0,36	0,39	0,66	0,79	0,47	0,47
-1	0,89	0,77	0,72	0,83	0,94	0,55	0,49	0,88	0,89	0,84	0,71	0,86
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,77	0,72	0,83	0,94	0,55	0,49	0,88	0,89	0,84	0,71	0,86	0,89
2	0,28	0,69	0,73	0,54	0,36	0,39	0,66	0,79	0,47	0,47	0,74	0,64
3	0,29	0,69	0,66	0,34	0,32	0,24	0,63	0,50	0,24	0,41	0,45	0,23
4	0,26	0,68	0,43	0,30	0,29	0,14	0,43	0,31	0,32	0,29	0,15	0,11
5	0,33	0,30	0,42	0,26	0,29	0,33	0,32	0,27	0,27	0,18	0,08	0,02
6	0,03	0,28	0,37	0,26	0,52	0,41	0,28	0,17	0,24	0,18	-0,01	0,35
7	0,04	0,22	0,23	0,49	0,47	0,42	0,12	0,12	0,34	0,14	0,22	0,08
8	0,08	0,24	0,44	0,42	0,44	0,24	-0,09	0,11	0,33	0,11	0,13	0,09
9	0,17	0,48	0,34	0,39	0,34	-0,07	-0,06	0,08	0,10	0,26	0,17	0,10
10	0,24	0,59	0,31	0,32	0,05	-0,04	-0,08	0,12	0,30	0,43	0,25	0,19
11	0,40	0,51	0,19	0,05	0,05	-0,09	0,02	0,27	0,45	0,50	0,27	0,24
12	0,39	0,39	-0,01	0,03	0,03	0,27	0,07	0,40	0,50	0,47	0,18	0,36

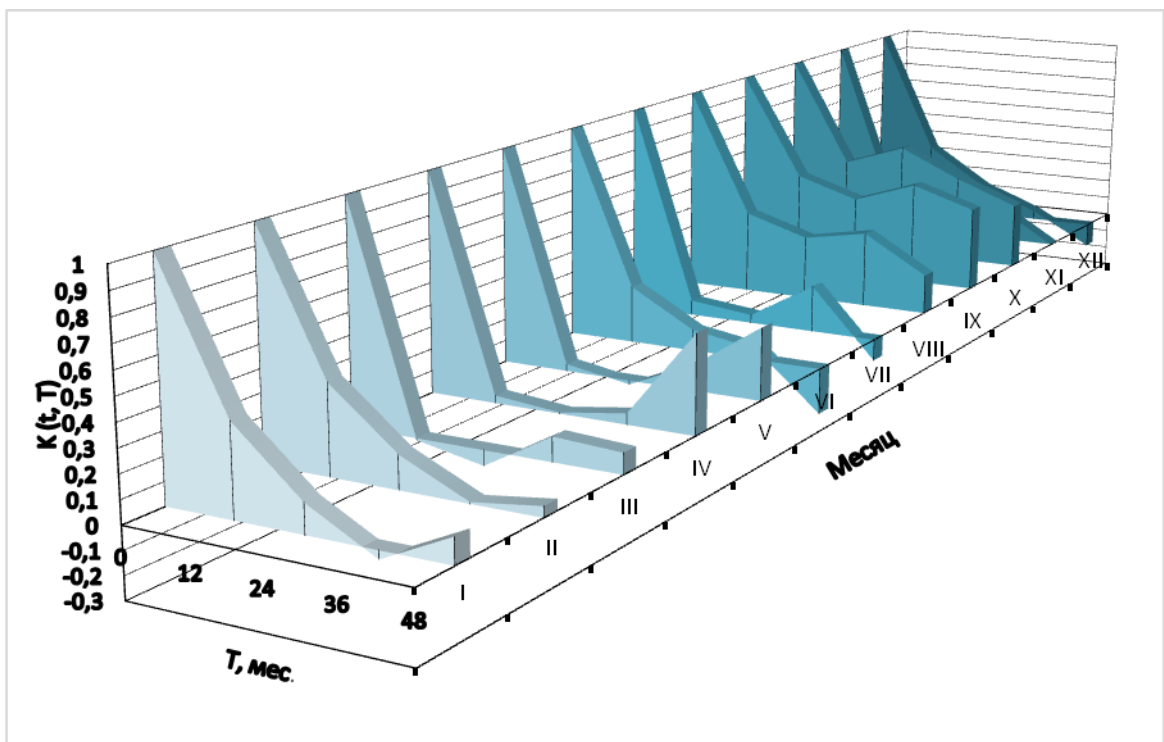


3.2.1.3.График оценок корреляционных зависимостей  $K_{jk}$  ( $k=1$  год) внутригодовой изменчивости сброса воды в водохранилище Дукан

Графики оценок корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости притока  $K(t, \tau)$ ,  $\tau=1$  месяц (рисунок 3.1.1.3) не затухают внутри года для всех месяцев, практически симметричны, однотипны и значимы для марта – июля – периода летней межени. Асимметричность связей «вперед» и «назад» нарушается для периода половодья.

Таблица 3.2.1.3. Матрица корреляционных зависимостей межгодовой сброса воды в водохранилище Дукан

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	0,391	0,391	-0,008	0,034	0,032	0,268	0,071	0,404	0,497	0,475	0,180	0,362
12	0,127	0,148	-0,068	0,006	-0,017	0,099	0,040	0,312	0,404	0,582	0,182	0,166
24	-0,035	0,007	0,109	0,050	0,122	0,052	0,223	0,369	0,512	0,443	0,184	0,046
36	0,110	0,047	0,092	0,445	0,332	-0,214	-0,102	0,192	0,415	0,327	-0,003	-0,122
48	0,391	0,391	-0,008	0,034	0,032	0,268	0,071	0,404	0,497	0,475	0,180	0,362



3.2.1.4. Графики оценок корреляционных зависимостей  $K(t, \tau)$ , ( $\tau = 1$  год)

межгодовой изменчивости сброса воды из водохранилища Дукан.

Графики оценок корреляционных зависимостей межгодовой изменчивости  $K(t, \tau)$ ,  $\tau = 1$  год достаточно быстро затухают на начальном участке, продолжая флуктуировать около нулевого уровня только для некоторых месяцев года (периоды весеннего половодья и осенних паводков). Для остальных месяцев межгодовые зависимости стока затухают по экспоненте с радиусом корреляции два-три года.

## Межгодовые колебания сброса



Рис. 3.2.1.5. График среднегодового сброса воды из водохранилища Дукан за период 1976-2014 гг

Из таблиц 3.2.1.5 и 3.2.1.6. видно, что многоводные и маловодные годы притока наблюдались как разрозненно, так и группировались в фазы или циклы. Так многоводный период наблюдался с 1992 по 1994, 2003-2004 гг. Маловодный период пришелся на 1979-1980 гг. Экстремально многоводным был 1988 г. Экстремально маловодных лет за рассматриваемый период не наблюдалось. Необходимо обратить внимание на наличие тренда на уменьшение притока за рассматриваемый период. Однако тренд не выходит за пределы интерквартильного расстояния.

Вероятностные характеристики сброса воды из водохранилища Дукан  
за период 1976-2014 гг. (39 лет)

	$\chi_{\min}$	$\chi_{0.25}$	$\chi_{0.5}$	$\chi_{0.75}$	$\chi_{\max}$	$R$	$Q$	$T^*$	$\chi_B$	$\chi_H$
Сред. год	52.08	129	167	243	450.5	398.4	114	176.5	414	-42

Табл.3.2.1.5 Многоводные годы

Ср.год $\chi_{0.75}=243$
1978
1985
1988
1992
1993

Табл.3.2.1.6 Маловодные годы

Ср.год $\chi_{0.25}=129$
1976
1979
1980
1986
1990

1994
2003
2004

1996
2005
2010

### 3.3.Обобщение результатов анализа в терминах вероятной модели

Алгоритм анализа исходных реализаций притока и сброса из водохранилища Дукан, основанный на выделении из последовательностей средних месячных величин 12 ежегодных подпоследовательностей значений для каждого месяца года, приводит к целесообразности рассмотрения внутригодового хода и межгодовой изменчивости анализируемых процессов как многомерного случайного вектора

$$\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}^T.$$

Обобщим полученные в ходе анализа результаты о внутригодовых и межгодовых изменениях притока и сброса водохранилища Дукан путем вероятностного моделирования. Под вероятностной моделью процесса будем понимать параметрически заданную дискретную случайную функцию, позволяющую воспроизводить ряд случайных значений с теми же вероятностными свойствами, что и ряд исходных значений. Опишем каждую компоненту вектора  $\beta_{it}$ , т. е. каждую подпоследовательность ежегодных значений притока и сброса, модельным процессом AP (1). В этом случае модель примет вид

$$\beta_{it} = \varphi_i \beta_{it-1} + \varepsilon_{it}, \quad i=1, \dots, 12, \quad (3.3.1)$$

где  $\varepsilon_{it}$  – дискретная последовательность белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\delta^2_i$ ;  $\varphi_i$  – параметр авторегрессии.

Параметры модели определяются через компоненты корреляционной матрицы следующими соотношениями:

$$\varphi_i = K_{i,i+1} / K_{i,i} \quad (3.3.2)$$

$$\delta^2 = (1 - \varphi_i^2) K_{i,i}$$

Дополнив модель членами  $m$ , учитывающими среднее каждого месяца года, получим

$$\beta_t = \varphi \beta_{t-1} + \varepsilon_t + \quad (3.3.3)$$



где  $\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}$ ;  $\varphi\beta_{t-1} = \{\varphi_1\beta_{1,t-1}, \dots, \varphi_{12}\beta_{12,t-1}\}$ ;  $\varepsilon_t = \{\varepsilon_{1,t}, \dots, \varepsilon_{12,t}\}$  – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\delta^2 = \{\delta_{1,t}^2, \dots, \delta_{12,t}^2\}$ ;  $m = \{m_1, \dots, m_{12}\}$  – вектор математического ожидания;  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$  – параметры модели.

Для процессов с несущественными внутригодовыми связями, запись модели будет задаваться 12 параметрами  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$ , которые характеризуют корреляционные зависимости межгодовой изменчивости для каждого месяца года в виде (3.3.1), средним  $m_i$  и дисперсией  $\delta^2$ . Параметры  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$  определяются через компоненты матрицы межгодовой изменчивости по соотношению (3.3.2).

Для процессов с существенными внутригодовыми связями, в модели (3.3.3) необходимо учитывать взаимную коррелированность компонент  $\{\beta_t^t\}$  через задания взаимных членов. В этом случае модель (3.3.5) примет вид

$$\beta_{1t} = \varphi_{i,1}\beta_{i,t-1} + \varphi_{i,2}\beta_{i+1,t-1} + \varepsilon_{it} + m_i, \quad i=1, \dots, 12, t=1, 2, \dots, N, \quad (3.3.4)$$

где параметры  $\varphi_{i2}$  определяются через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости, а параметры  $\varphi_{i1}$  – по аналогии с первым случаем.

Таким образом, аппроксимация ежегодных подпоследовательностей  $\{\beta_t^t\}$  модельным процессом AP (1) позволяет в качестве количественных оценок регулирующей способности водохранилища Дукан использовать параметры модели (3.3.4). Согласно определению регулирующей роли водохранилища ее оценка проводится путем сопоставления характеристик притока в водохранилище, с соответствующими характеристиками сброса. Параметры модели (3.6) для анализируемых процессов приведены в таблице 3.3.1.

Обобщение результатов анализа межгодовых и внутригодовых колебаний притока и сброса из водохранилища Дукан в терминах модельных процессов авторегрессии AP первого порядка дает возможность использовать параметры этих моделей для количественной оценки регулирующей способности водохранилища.

Разница параметров вероятностных моделей, описывающих временную изменчивость притока и сброса из водохранилища, характеризует регулируемую способность техногенного сооружения.

Как видно из таблицы 3.3.1 параметры  $\varphi_{i1}$  модели притока меняются от 0,53 в феврале до 0,96 в мае, а модели сброса от 0,49 (июнь) до 0,94 (апрель.). Необходимо обратить внимание на то, что параметр  $\varphi_1$  для притока превышают значение 0,6 для всех месяцев года, кроме февраля и октября, а для сброса – для мая и июня.

Параметры авторегрессии  $\varphi_1$ , описывающие внутригодовые корреляционные зависимости сброса, увеличиваются по сравнению с аналогичными параметрами притока, с октября по апрель. Параметры  $\varphi_1$  для мая – сентября уменьшаются. Таким образом, зарегулированность притока водохранилищем значительна в период зимней межени, в остальные месяцы существенных различий между параметрами  $\varphi_1$  притока и сброса не наблюдается.

Необходимо обратить внимание на то, что параметры  $\varphi_2$ , характеризующие межгодовую коррелированность притока в водохранилище значимы только для августа- октября. Значимые параметры  $\varphi_2$  для сброса отсутствуют. Анализ параметров  $\varphi_2$ , описывающих корреляционные зависимости межгодовой изменчивости притока и сброса водохранилища Дукан (таблица 3.3.1) показывает, что многолетнее регулирование практически отсутствует. Это подтверждается и анализом средних годовых значений рассматриваемых процессов, графики которых приведены на рисунках также содержатся результаты квантильного анализа, нанесена линия линейного тренда и фильтрации Баттерворта.

Таким образом, разница между параметрами авторегрессии AP (1), рассчитанными для притока и сброса из водохранилища Дукан дала возможность оценить его регулируемую способность.

Таблица 3.1.1 Численные значения оценок математического ожидания расходов воды  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , параметров авторегрессии  $\varphi_1$  внутригодового и  $\varphi_2$  многолетнего притока и сброса водохранилища Дукан.

Вероятностная характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Приток в водохранилище Дукан.

$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	196	309	407	411	256	113	60	44	42	51	99	151
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	17085	30029	61593	47939	20537	4234	1258	414	468	644	5565	14271
$\varphi_1$	0,65	0,53	0,61	0,88	0,96	0,85	0,81	0,91	0,85	0,57	0,48	0,69
$\varphi_2$	0,17	0,15	0,06	0,24	0,27	0,24	0,28	0,70	0,69	0,61	0,45	0,30

Сброс из водохранилища Дукан.

$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	140	132	130	106	123	154	247	282	242	197	173	156
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	10756	11730	35825	18499	18332	6037	14852	14494	17614	9680	9715	9428
$\varphi_1$	0,76	0,71	0,83	0,94	0,54	0,49	0,87	0,88	0,84	0,71	0,86	0,88
$\varphi_2$	0,39	0,39	-0,08	0,03	0,03	0,26	0,07	0,40	0,49	0,47	0,18	0,36

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе выполнен анализ многолетних и внутригодовых колебаний водности водохранилища Дукан с использованием данных среднегодовых, среднемесячных расходов воды, а также извлеченных из них ежегодных последовательностей значений для характерных месяцев года.

Привлекались данные по среднегодовым значениям испарения и осадкам в водохранилище. Период наблюдений составил с 1976 по 2014 годы.

Многолетние колебания анализировались по традиционно используемым данным среднегодовых расходов воды, а также по ежегодным последовательностям значений для характерных месяцев года. Ежегодные последовательности рассматривались как стационарные случайные процессы. Для установления многоводных и маловодных лет в стоке анализируемой реки привлекался квантильный анализ данных. В качестве основных вероятностных характеристик использовались квантили  $X_{\min}$ ,  $X_{0.25}$ ,  $X_{0.5}$ ,  $X_{0.75}$ ,  $X_{\max}$  и основанные на них другие расчетные параметры.

Для выделения трендов на отрезках локальной нестационарности использовалась низкочастотная фильтрация Баттерворта.

Выполненный анализ показал, что в водохранилище Дукан, многоводные условия притока пришлись на 1982,1985,1988,1992-1995,1998,2004 гг.; Маловодные условия пришлись на 1977,1979,1980,1986,1990,1996,2007,2013 гг. Наблюдались также экстремальный многоводный год: 1988 г. Экстремальных маловодных лет не было. А многоводные условия сброса пришлись на 1978,1985,1988, 1992-1994,2003-2004 гг; маловодные условия сброса пришлись на 1976,1979,1980,1986,1990, 1996, 2005,2010 гг. Экстремально многоводный год – 1988.

Внутригодовые колебания стока реки анализировались по реализациям среднемесячных расходов воды, которые рассматривались как периодически коррелированные случайные процессы. В качестве основных вероятностных

характеристик внутригодичного хода использовались оценки математического ожидания  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , корреляционных зависимостей внутригодичной  $K^*(t, \tau)$ , при  $\tau=1$  месяц и межгодовой  $K^*(t, \tau)$ , при  $\tau=1$  год изменчивости.

Выполненный анализ показал, что для водохранилища Дукан, ежегодно в октябре наблюдается увеличение расходов воды в реке, которое продолжается до июня. При этом максимальный расход воды приходится на март. Минимальный расход воды наблюдается с июля по октябрь.

Из года в год меняется амплитуда внутригодичного хода. Такой вид изменчивости целесообразно анализировать методом теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП).

Оценки корреляционных зависимостей внутригодичной изменчивости притока  $K(t, \tau)$ ,  $\tau=1$  месяц (рисунок 3.1.1.3) не затухают внутри года для всех месяцев, практически симметричны, однотипны и значимы для апреля – августа – периода летней межени. Асимметричность связей «вперед» и «назад» нарушается для периода половодья.

Обобщение полученных в результате анализа сведений о внутригодичной и межгодовой колебаний речного стока в терминах модельных процессов авторегрессии первого порядка  $AR(1)$  позволяет оценить регулируемую способность водохранилищ.

Таким образом, регулирующая роль водохранилища Дукан проявляется внутри года, и заключается в перераспределении стока с зимне-весеннего периода (половодья) на летнее - осенний (межень), когда вода необходима на различные хозяйственные нужды (выработка электроэнергии, орошение и т.д.), а многолетнее регулирование практически отсутствует.

### Ссылки:

1. <http://www.geo-site.ru/index.php/2011-01-11-14-44-21/84/308-vodohran.html>
2. <https://domashke.com/referati/referaty-po-geologii/referat-vodohranilishha>
3. <http://biblo-ok.ru/bibliok/work/97184/index.php>
4. [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwik1tj3z\\_3MAhXMJSwKHapdAqMQ](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwik1tj3z_3MAhXMJSwKHapdAqMQ)
5. <https://ru.wikipedia.org/wik>
6. <http://vv-travel.ru/tarticle/lake-dukan>
7. <http://www.academia.edu>
8. <http://www.os.x-pdf.ru/>
9. [http://doc2all.ru/article/07042015\\_195980\\_al](http://doc2all.ru/article/07042015_195980_al)
10. <http://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsii-form-reliefa-kotloviny-hamrin-irak-na-osnove-dannyh-distantcionnogo-zondirovaniya>
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lake\\_Dukan](https://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Dukan)

### Литература

1. Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина И. Г. Общая гидрология. Л., 1973.
2. Догановский А.М., Орлов В.Г. Сборник практических задач по определению основных характеристик водных объектов суши. СПб: РГГМУ, 2011.
3. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс) – РГГМУ, 2012.
4. Алхалидый Салам Кулам «Особенности водного баланса озера Ирака (например, озера Эль-Тартар)» Санкт-Петербург 2015.

