

УДК: 556.52(282)

*Рахимова М.Н., PhD, ведущий специалист НИЦ МКВК, Ташкент,
Узбекистан*

*Долдудко А.И., PhD, ведущий специалист НИЦ МКВК,
Ташкент, Узбекистан*

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Р.СЫРДАРЬЯ

Аннотация. В статье рассмотрены основные природные и антропогенные факторы, определяющие формирование гидрохимического состава воды реки Сырдарья на различных участках её русла. Проведен анализ влияния геологических условий бассейна, климатических особенностей, регулирования речного стока, орошаемого земледелия и поступления коллекторно-дренажных вод на изменение минерализации и ионного состава воды. Установлено, что в верхнем течении реки преобладают природные процессы формирования химического состава воды, тогда как в среднем и нижнем течении возрастает влияние хозяйственной деятельности, приводящее к увеличению содержания растворенных солей и изменению гидрохимического режима.

Ключевые слова: река Сырдарья, гидрохимический состав, минерализация, ионный состав, коллекторно-дренажные воды, засоление.\

*M.N. Rakhimova, PhD, Leading Specialist, Scientific Research Center of the
International Water Coordination Center (ICWC), Tashkent, Uzbekistan*

*A.I. Dolidudko, PhD, Leading Specialist, Scientific Research Center of the
International Water Coordination Center (ICWC), Tashkent, Uzbekistan*

ANALYSIS OF FACTORS FORMING THE HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SYRDARYA RIVER

Abstract. This article examines the main natural and anthropogenic factors determining the hydrochemical composition of the Syr Darya River water in various sections of its channel. The basin's geological conditions, climatic conditions, river flow regulation, irrigated agriculture, and drainage water inflow influence changes in the water's mineralization and ionic composition. It has been established that natural processes predominate in the upper reaches of the river,

followed by chemical processes that shape the water composition, both on average and during the ongoing impact of economic activity. These processes lead to an increase in the content of dissolved salts and determine the hydrochemical regime.

Keywords: Syr Darya River, hydrochemical composition, mineralization, ionic composition, drainage waters, salinization.

Введение.

Река Сырдарья является второй по водности рекой Центральной Азии после Амударьи и представляет собой основную водную артерию региона. Средний объем поверхностного стока бассейна Сырдарьи составляет около 36,3 км³ в год, при этом величина стока значительно изменяется в зависимости от водности года и климатических условий. Основной вклад в формирование водных ресурсов бассейна вносят крупные притоки - реки Нарын и Чирчик, которые определяют гидрологический режим и водность основной реки. Главным источником питания Сырдарьи являются талые воды сезонного снежного покрова. Дополнительное значение имеют ледниковое питание и атмосферные осадки в виде дождевых вод. Соотношение различных источников питания изменяется в зависимости от высотной зональности водосборной территории, характера распределения осадков и условий их накопления, что оказывает непосредственное влияние на сезонную динамику речного стока.

Материалы и методы исследования. Исследование основано на анализе гидрохимических особенностей реки Сырдарья на верхнем и среднем течениях. Анализ выполнялся с учетом пространственного изменения состава воды вдоль русла реки от горной части бассейна до нижнего течения.

Формирование химического состава речных вод происходит под воздействием факторов природного и антропогенного характера.

Природные факторы формирования гидрохимического состава Сырдарьи. Природными источниками поступления растворенных веществ в поверхностные воды являются атмосферные выпадения, горные породы, слагающие водосборные бассейны, почвенный покров и др. Климатический фактор играет важную роль в сезонной динамике химического состава речных вод, определяя соотношение источников питания реки в различные гидрологические сезоны.

Влияние гидрогеологических условий. В верхнем течении Сырдарьи формируется в результате слияния рек Нарын и Карадарья, берущих начало в горных районах. На данном участке химический состав воды преимущественно определяется природными процессами

выветривания и растворения минералов горных пород. В горной части бассейна вода характеризуется относительно низкой минерализацией (до 500 мг/л) и преобладанием гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевого типа. В речной воде среди анионов преобладает сульфатный ион ($R^2=0,65$), на втором месте – гидрокарбонатный ион, на третьем – хлоридный ион. Среди катионов преобладает ион магния ($R^2=0,58$). На втором месте – ион кальция, на третьем месте – ион натрия плюс калий (рис.1).

Это связано с активным водообменом, значительным количеством атмосферных осадков и быстрым течением воды. По мере продвижения реки вниз по течению увеличивается контакт воды с различными геологическими породами, что способствует постепенному накоплению растворенных веществ [2].

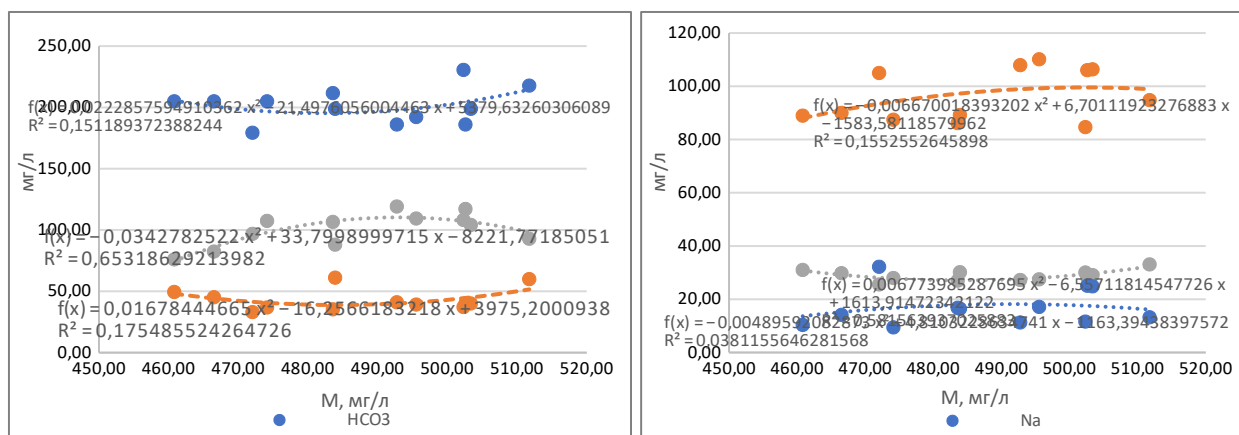


Рисунок 1. Зависимость изменения содержания главных ионов от величины минерализации воды р.Нарын у гидропоста Учкурган

В нижней части среднего течения р.Сырдарья–г.Чиназ среди анионов преобладает сульфатный ион ($R^2=0,88$), на втором месте – гидрокарбонатный ион ($R^2=0,87$), на третьем – хлоридный. Среди катионов преобладает ион натрия ($R^2=0,87$). На втором месте – ион кальция, на третьем месте – ион магния.

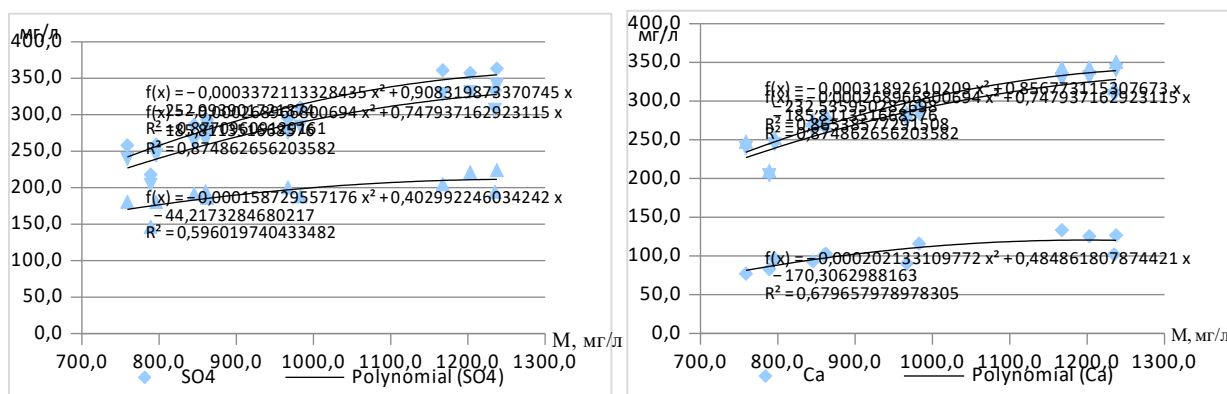


Рисунок 2. Зависимость изменения содержания главных ионов от величины минерализации воды р.Сырдарья у гидропоста Чиназ

Таким образом, на створах, расположенных в верхних и средних течениях реки, в связи с влиянием орошения в последние годы диапазон колебания минерализации вод внутри года возрос. Одновременно наблюдается рост минерализации речных вод и по длине водотока.

Влияние климатических условий. Климат бассейна Сырдарьи характеризуется высокой континентальностью, малым количеством осадков и значительным испарением. Особенно сильно климатический фактор проявляется в среднем и нижнем течении. В условиях недостаточного естественного притока воды происходит концентрация растворенных солей за счет испарения. В нижней части бассейна данный процесс усиливается из-за равнинного характера территории и замедленного течения реки.

Для оценки возможного влияния климатических изменений на минерализацию воды р. Сырдарья был выполнен расчет изменения концентрации растворенных солей при прогнозируемом изменении водности реки. В качестве исходного периода использованы данные за 2023 год по среднемесячным объемам стока (W , млн м³) и минерализации воды (M , г/л).

На первом этапе определялось количество растворенных солей, поступающих с существующим объемом воды, по формуле:

$$C = W_{2023} \times M_{2023}, \text{ тыс. т}$$

где: C - количество растворенных солей, тыс. т;

W_{2023} - объем речного стока в 2023 году, млн м³;

M_{2023} - минерализация воды в 2023 году, кг/м³ (г/л).

Полученные значения характеризуют фактическую солевую нагрузку речного потока в течение года. Расчеты показали, что наибольшая масса выноса растворенных солей наблюдается в весенне-летний период, что связано с увеличением объема стока в период снегового питания реки.

Для оценки возможных изменений гидрохимического режима использована оценка Сорокина А.Г. [1], согласно которой к 2050 году в р.Сырдарья ожидается снижение стока рек примерно на 10 % в апрель–сентябрь месяцы, тогда как в октябрь–март существенных изменений водности не прогнозируется. На основе данного сценария были рассчитаны прогнозные месячные объемы стока р. Сырдарья на 2050 год. После определения прогнозного объема воды выполнен расчет ожидаемой минерализации по формуле:

$$M_{2050} = C / W_{2050}, \text{ г/л}$$

где: M_{2050} - прогнозируемая минерализация воды в 2050 году, г/л;

C - количество растворенных солей, тыс. т;

W_{2050} - прогнозный объем стока, млн м³.

Результаты расчетов показали, что сокращение речного стока при сохранении существующей солевой нагрузки приведет к увеличению минерализации воды в отдельные месяцы года. Наиболее выраженное повышение минерализации прогнозируется в летне-осенний период, когда уменьшение объема стока сопровождается ростом концентрации растворенных компонентов.

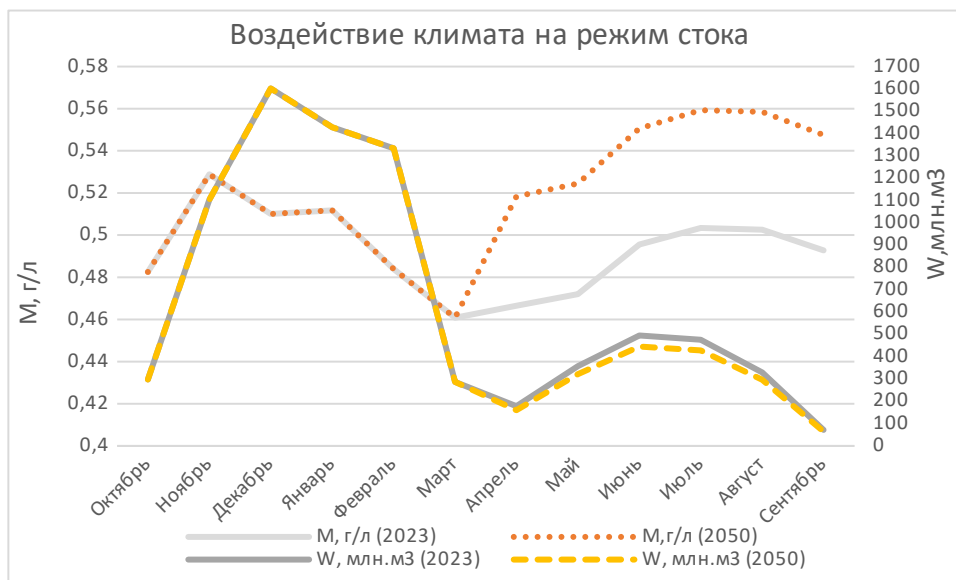


Рисунок 3. Воздействие климата на режим стока и минерализацию воды

Так, при снижении водности в период июль–сентябрь прогнозируемая минерализация увеличивается с 0,47–0,50 г/л в 2023 году до 0,52–0,56 г/л к 2050 году. Максимальное значение минерализации отмечается в октябре (около 0,56 г/л), что связано с уменьшением объема речного стока после завершения вегетационного периода и снижением разбавляющей способности реки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение климата может оказывать влияние на гидрохимический режим р. Сырдарья не только через изменение водности, но и посредством изменения концентрации растворенных веществ. Даже при отсутствии роста абсолютной солевой нагрузки уменьшение объема воды в реке приводит к повышению минерализации, что может негативно отражаться на качестве воды, состоянии водных экосистем и пригодности воды для различных видов водопользования.

Антропогенные факторы изменения гидрохимического состава. Антропогенные источники также вносят существенный вклад в изменение природных гидрохимических характеристик водных объектов

Влияние орошаемого земледелия. Одним из наиболее значимых факторов формирования современного гидрохимического режима Сырдарьи является развитие

ирригации. При орошении сельскохозяйственных угодий происходит растворение и вынос легкорастворимых солей из почвенного слоя. В результате фильтрационных процессов и подъема уровня грунтовых вод формируются дренажные воды, которые аккумулируют минеральные компоненты почвенного раствора. В дальнейшем поступление коллекторно-дренажных вод в р. Сырдарья приводит к увеличению концентрации растворенных веществ и изменению естественного гидрохимического режима реки.

Для оценки влияния КДС на качество воды был выполнен анализ изменения минерализации по данным гидропостов Каль и пос. Надеждинский за 2016-2023 гг., расположенных на участке р. Сырдарья с высокой антропогенной нагрузкой. Полученные данные показывают устойчивое увеличение минерализации воды по направлению течения реки. На гидропосту Каль значения минерализации изменяются в пределах 0,54-0,95 г/л. Минимальные значения наблюдаются в феврале-марте (около 0,54-0,63 г/л), что связано с увеличением водности и усилением разбавления речного потока.

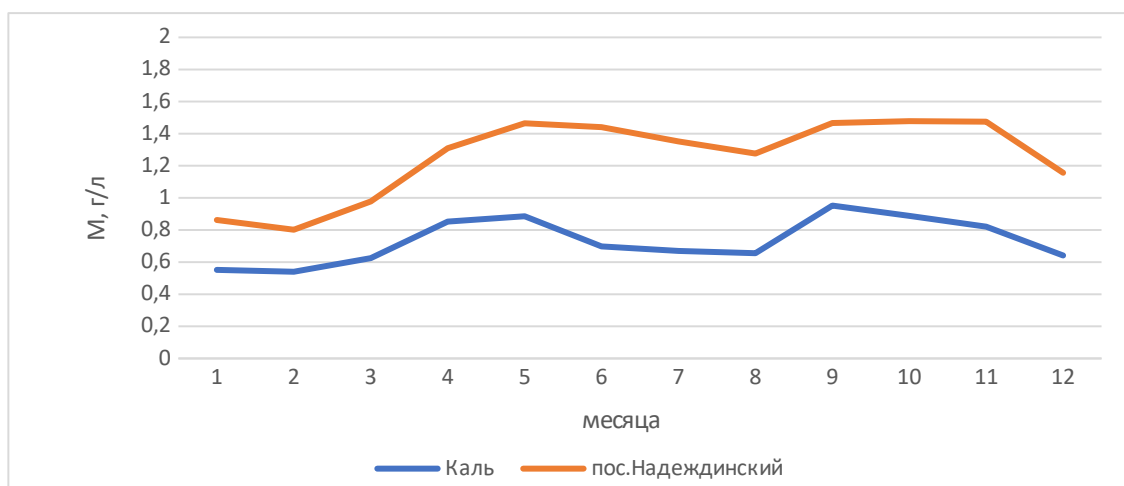


Рисунок 4. Изменение минерализации воды на гидропостах Каль и пос.Надеждинский

Максимальные значения отмечаются в сентябре-октябре (до 0,95 и 0,89 г/л соответственно), когда уменьшается объем речного стока и возрастает влияние возвратных вод с орошаемых территорий (рис.4).

Ниже по течению, в районе гидропоста пос. Надеждинский, минерализация значительно выше и составляет 0,80-1,48 г/л. Максимальные значения достигают 1,46-1,48 г/л в мае, сентябре-ноябре, что свидетельствует об увеличении минерализации на гидропосту Надеждинский примерно в 1,5-2 раза по сравнению с гидропостом Каль. уровень [3].

Причиной такого увеличения минерализации является поступление ряд коллекторно-дренажного стока в реку, минерализация которых значительно превышает минерализацию речного стока. Как видно на рис.5 минерализация воды в коллекторе

Уртукли изменяется в диапазоне 0,90-1,80 г/л, достигая максимального значения в апреле. В коллекторе Кумли значения минерализации составляют 0,96-1,85 г/л, при этом наиболее высокие показатели отмечаются в августе. Коллектор Аччиккуль характеризуется еще большей минерализацией – от 1,27 до 2,28 г/л, с максимальными значениями в августе-сентябре. Наиболее минерализованными являются воды коллектора Пограничный, где минерализация находится на уровне 3,32-4,17 г/л в течение года.

Увеличение минерализации воды р. Сырдарья ниже по течению связано не только с естественными процессами концентрирования солей при уменьшении расходов воды, но и с дополнительной солевой нагрузкой от возвратных оросительных вод. Между гидропостами Каль и пос. Надеждинский происходит смешивание речных вод с несколькими минерализованными коллекторами, что приводит к росту концентрации растворенных веществ.

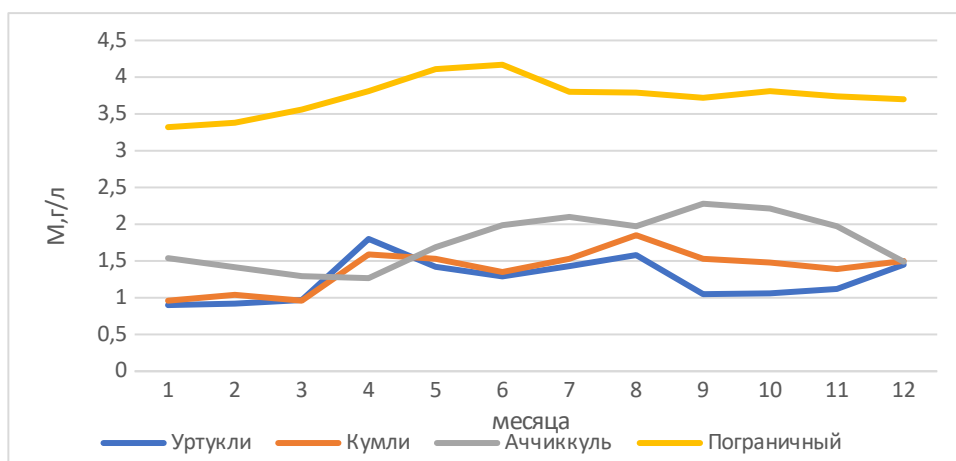


Рисунок 5. Минерализации воды в коллекторах Уртукли, Кумли, Аччиккуль, Пограничный

Таким образом, интенсивное орошаемое земледелие и связанное с ним формирование коллекторно-дренажного стока являются одним из ключевых факторов изменения химического состава р. Сырдарья. Поступление высокоминерализованных КДС приводит к увеличению общей минерализации воды, изменению ионного состава и повышению экологической нагрузки на речную систем.

Регулирование стока водохранилищами. Регулирование речного стока является одним из важнейших антропогенных факторов, определяющих формирование гидрохимического режима р. Сырдарья. В бассейне реки естественный режим стока значительно изменен вследствие строительства водохранилищ, гидроузлов и широкого использования воды для орошения. Регулирование стока реки осуществляется системой крупных водохранилищ, включающей Токтогульское, Кайракумское, Андижанское,

Чарвакское и Шардаринское водохранилища. Данная система позволяет регулировать значительную часть естественного стока Сырдарьи (до 90 %), обеспечивая перераспределение водных ресурсов между различными сезонами года и отраслями водопользования. Основным механизмом воздействия регулирования стока на качество воды является изменение естественного соотношения между объемом воды и количеством растворенных веществ. При увеличении водозаборов на орошение и снижении объема транзитного стока уменьшается разбавляющая способность реки, что приводит к повышению концентрации солей и отдельных загрязняющих компонентов. Особенно выражено данное влияние в нижнем течении р. Сырдарья, где наблюдается накопление минеральных веществ вследствие возвратных коллекторно-дренажных вод, поступающих с орошаемых земель.

Для бассейна р. Сырдарья характерно тесное взаимодействие между водным режимом и качеством воды. Значительная доля стока используется в сельскохозяйственном производстве, при этом возвратные воды с орошаемых территорий являются одним из основных источников поступления солей, нитратов, фосфатов и других компонентов. При снижении объемов речного стока вследствие климатических изменений или увеличения водопотребления концентрация этих веществ возрастает.

Заключение

В результате проведенного анализа установлено, что формирование гидрохимических характеристик р. Сырдарья происходит под воздействием комплекса взаимосвязанных природных и антропогенных факторов. На верхних участках реки определяющее значение имеют природные процессы, связанные с геологическим строением бассейна, выветриванием горных пород, условиями питания реки и особенностями водообмена, где вода характеризуется относительно низкой минерализацией и преимущественно природным формированием ионного состава.

По мере продвижения реки вниз по течению возрастает роль климатических условий и хозяйственной деятельности. В условиях аридного климата бассейна Сырдарьи повышение температуры воздуха, значительное испарение и снижение водности способствуют концентрации растворенных веществ и увеличению минерализации воды. Выполненные расчеты влияния климатических изменений показали, что при возможном снижении стока к 2050 году на 10 % в период апрель-сентябрь, при сохранении существующей солевой нагрузки, ожидается повышение минерализации воды в летне-

осенний период. Это связано со снижением разбавляющей способности реки и увеличением концентрации растворенных компонентов.

Существенное влияние на гидрохимический режим оказывает развитие орошаемого земледелия. Анализ изменения минерализации воды на гидропостах Каль и пос. Надеждинский показал увеличение содержания растворенных солей по направлению течения реки. Рост минерализации на данном участке связан с поступлением коллекторно-дренажных вод с орошаемых территорий. Установлено, что минерализация воды отдельных коллекторов значительно превышает минерализацию речного стока и поступление таких вод приводит к увеличению солевой нагрузки, изменению ионного состава и ухудшению качества воды р. Сырдарья.

Регулирование стока системой водохранилищ также является важным фактором изменения гидрохимического режима реки. Изменение естественного внутригодового распределения расходов воды влияет на процессы разбавления и переноса растворенных веществ. В периоды снижения транзитного стока и увеличения водозаборов на орошение уменьшается способность реки к самоочищению, что способствует накоплению минеральных компонентов и повышению минерализации.

В целом, современное состояние качества воды р. Сырдарья определяется не только природными особенностями бассейна, но и степенью антропогенной нагрузки. Наиболее значимыми факторами изменения химического состава являются сокращение водности под влиянием климатических изменений, регулирование речного стока и поступление высокоминерализованных коллекторно-дренажных вод. Для сохранения экологического состояния реки необходимо учитывать взаимосвязь количественных и качественных характеристик водных ресурсов при управлении бассейном Сырдарьи, включая контроль сбросов КДС, повышение эффективности орошения и обеспечение экологически обоснованных режимов регулирования стока.

Список использованной литературы

1. Сорокин А.Г. Учет влияния изменений климата при моделировании стока рек бассейна Аральского моря. Научные записки НИЦ МКВК, вып. 3, 2019 г.
2. Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н. Оценка изменения гидрохимических стадий воды реки Сырдарьи за многолетний период. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции посвященной Дню воды и Дню работника гидрометеорологической службы и празднованию 75-летия Великой победы

«Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии», Уфа. 20-23 марта 2020 г., 36-39 с.

3. Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н. Река Сырдарья: гидрология и гидроэкология. Монография. Ташкент: издатель. «VORIS-NASHRIYOT», 2024, 150 с.