

^{1,2*}Самарханов К., ^{3,4}Исанова Г.

¹Синьцзянский институт экологии и географии АН КНР, Китай, Синьцзян

²Университет Академии наук Китая, Китай, г. Бейжин

³Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды

Центральной Азии (Алматы), Республика Казахстан, г. Алматы

⁴ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им.У.У.Успанова», Республика Казахстан, г. Алматы

e-mail: skgeo@mail.ru, agamprit@gmail.com

ОБЗОР ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАСЕЙНА РЕКИ СЫРДАРΙΑ И АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Бассейн реки Сырдария – второй по водоносности речной бассейн в Центральной Азии, который впадает в Аральское море. Это один из главных источников воды в сельском хозяйстве стран данного региона. Согласно многолетним данным и публикациям, проведен анализ по географическим и экологическим исследованиям в бассейне реки Сырдария и Аральского моря. Динамика публикаций по областям исследования определена по данным за периоды с 1923 г. по 1970 г. и с 1974 г. по 1990 г. Также визуализирована географическая принадлежность и языки публикаций за период с 1923 г. по 2016 г. Кроме того, с помощью ГИС-методов определены граница и площадь бассейна реки Сырдария.

Ключевые слова: бассейн реки Сырдария, Аральское море, опустынивание, Центральная Азия, ГИС.

^{1,2*}Samarkhanov K., ^{3,4}Issanova G.

¹Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi, China, Xinjiang

²University of Chinese Academy of Sciences, China, Beijing

³Research Centre of Ecology and Environment of Central Asia (Almaty), Kazakhstan, Almaty

⁴U.U. Usanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Kazakhstan, Almaty

e-mail: skgeo@mail.ru, agamprit@gmail.com

Review on Geographical and Environmental studies about Syrdarya River Basin and Aral Sea

The Syrdarya river basin is the second largest river basin in Central Asia, which flows into the Aral Sea. It is one of the main water sources for agriculture in the countries of this region. According to long-term data and publications, the analysis on geographical and ecological studies in the Syrdarya River and the Aral Sea basin was carried out. The dynamics of publications by field of study was determined from 1923 to 1970 and from 1974 to 1990. The geographical affiliation and languages of publications from 1923 to 2016 were also visualized. In addition, GIS tools were used to define boundary and area of the Syrdarya river basin.

Key words: Syrdarya River Basin, Aral Sea, desertification, Central Asia, GIS.

^{1,2*}Самарханов К., ^{3,4}Исанова Г.

¹Шынжаң экология және география институты Қытай ғылым академиясы, Қытай, Шынжаң

²Қытай ғылым академиясының университеті, Қытай, Бейжин

³Орталық Азия экология және қоршаған орта ғылыми-зерттеу орталығы (Алматы), Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

⁴Ө.О. Успанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ., e-mail: skgeo@mail.ru, agamprit@gmail.com

Сырдария өзені алабы және Арал теңізіне қатысты географиялық және экологиялық зерттеу жұмыстарына шолу

Сырдария өзенінің алабы – Арал теңізіне құятын Орталық Азиядағы су қоры бойынша екінші орындағы өзен. Осы аумақ елдерінің ауыл шаруашылығын қамтамасыз ететін басты су кө-

зінің бірі. Көпжылдық мәліметтер мен баспа мәліметтеріне сәйкес, Сырдария өзені мен Арал теңізі алабы бойынша жасалған географиялық және экологиялық зерттеу жұмыстарына талдау жасалды. 1923-1970 жж. және 1974-1990 жж. аралығындағы зерттеу бағыттары бойынша әдебиет динамикасы анықталды. 1923-2016 жж. аралығындағы баспа мәліметтерінің географиялық шығу орны мен тілі графикалық түрде көрсетілді. Сонымен қатар, ГАЖ-әдістерінің көмегімен Сырдария өзенінің алабының шекарасы мен ауданы анықталды.

Түйін сөздер: Сырдария өзен алабы, Арал теңізі, шөлейттену, Орталық Азия, ГАЖ.

Введение

В бассейне реки Сырдарья и Аральском море произошли крупные изменения в течение последних 100 лет. С учетом климатических изменений и антропогенного влияния, изменились практически все характеристики этих объектов.

Многие специалисты в начале XX века, основываясь на данных Л. Давыдова (1924) о преобладании количества испарения (около 2 м/год) над осадками (200 мм/год), считали, что территория Средней Азии постепенно превращается в пустыню (Берг, 1952).

В настоящий момент, в связи с высыханием Аральского моря и интенсивным хозяйственным использованием, район исследований испытывает экологический стресс и привлекает к себе внимание специалистов всего мира.

Физико-географические, социально-экономические, экологические характеристики бассейна реки Сырдарья описаны в работах Savoskul and Chevnina (2003). Кроме того, представлены сведения о так называемом «земельном покрове» и «использовании земель», и обсуждены экологические аспекты района исследований.

Специалисты Научно-информационного центра МКВК (НИЦ МКВК) Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (МКВК) регулярно изучают проблемы бассейна всего Аральского моря. Ими, с привлечением международных экспертов разработана и предложена программа по «Переход к интегрированному управлению водными ресурсами (ИУВР) в низовьях и дельтах рек Амударья и Сырдарья» (Хоринкова и др, 2005).

Предприняты попытки оценить эффективность использования трансграничных водных ресурсов (Siegfried and Bernauer, 2007). В рамках проекта интегрированного управления водными ресурсами при поддержке Научного комитета НАТО «Наука во имя мира» разработан комплекс мероприятий, включающий полевые экспериментальные работы, использование данных ДЗЗ, разработку имитационно-оптимизацион-

ных моделей (Мальковский и др, 2009). Предложены мероприятия по восстановлению экосистемы дельты реки Сырдарии и Северной части Аральского моря при поддержке НАТО (Кипшакбаев и др, 2010). Есть международные публикации на тему оптимизации эффективности орошения в бассейне Аральского моря в целом (Bekchanov et al., 2016).

Предложены мероприятия по мелиорации осушенного дна Аральского моря в дельте реки Амудария (Духовный и Навратил, 2008; Рузиев и др, 2008).

Проблема осушения Аральского моря рассмотрена международными экспертами, описаны наблюдаемые последствия, а также приведена информация о предлагаемых и предпринимаемых мерах по смягчению последствий (Aladin et al., 2017; Micklin, 2007).

Опубликованы данные по результатам отбора проб и измерений уровня радиации в бассейне реки Сырдарья на территории Казахстана (Жанбеков и Мукатаева, 2010) с указанием мест отбора проб. Изучено качество поверхностных вод в бассейне реки Сырдарья (Gapparov et al., 2011).

Одно из последствий осушения Аральского моря – пыльные бури, изучается как на территории Узбекистана (Aslanov, 2013), так и Казахстана (Issanova et al., 2015; Issanova et al., 2015; Issanova and Abuduwaili, 2017).

По изменениям размера и режима Аральского моря, некоторые специалисты указывают на отсутствие регулярной сети наблюдения и видят космическую съемку в качестве источника информации (Гуров и др, 2006). Одним из направлений исследований, которое активно развивается, является использование данных дистанционного зондирования и геоинформационных систем для мониторинга землепользования, изменения окружающей среды и моделирования в районе исследований (Jin et al., 2017; Оразбекова, 2016; Löw et al., 2015).

После рассмотрения этих работ, для всесторонней оценки экологической ситуации в районе исследований, считаем, что требуется выполнить анализ взаимосвязи изменений природной среды и антропогенного влияния в районе исс-

ледований, в низовьях бассейна реки Сырдарья, путем использования методов ДЗЗ и ГИС с учетом осушения Аральского моря, климатических изменений и хозяйственного использования природных ресурсов за большой период.

Материалы и методы

Работа включила анализ динамики тематики и языка публикации литературы по району исследований. За основу взята библиографическая база данных Научно-информационного центра Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (НИЦ МКВК) (НИЦ МКВК, 2016). Она содержит более 6000 наименований научных публикаций. Проведена выборка наименований, содержащих слово «Сырдарья» и «Арал».

Для определения наиболее приоритетных направлений научных исследований проведенных в районе исследований, проанализированы тематические направления публикаций за период с 1923 по 1990 год. В дальнейшем библиографический список разделен на 2 части: 20-60-ые гг. и 70-90-ые гг. XX в., 28 наименований за период с 1923 по 1969 гг. и 132 наименований за период с 1970 по 1990 гг. Проведена классификация тематической принадлежности научных публикаций с динамикой за периоды с 1923 по 1969 гг. и 1970 по 1990 гг.

Дополнительно для анализа динамики географической принадлежности публикаций, проанализирован список из 522 наименований за весь период.

Граница водосборного бассейна реки Сырдарья определена с помощью цифровой модели рельефа GTOPO 30 для подробного изучения, и подходит для анализа рельефа в мелком масштабе. Анализ границ водосборной области показал, что алгоритм ее определения также учитывает высотные отметки Шу-Илейских гор на востоке, Казахского мелкосопочника на севере. Для векторизации использовались топографические карты масштаба 1:1 000 000 (J-32, 33, K-41, 42, 43, 44, L-41, 42, 43). Полуавтоматизированная выборка высших точек проведена с использованием инструментов программного продукта ArcGIS 10.4:

Применен алгоритм обнаружения и заполнения локальных понижений ЦМР (Planchon and Frederic, 2002). Он используется повышения точности анализа ЦМР и исключить ошибочные значения высот.

Для определения направления стока каждой ячейки по разнице высот использован алгоритм «Направление стока».

Вычислено значение так называемого «суммарного стока» – количества ячеек ЦМР вверх по уклону, с которых сток идет в каждую ячейку.

Применен алгоритм вычисления водосборной области.

Полученные растровые и векторные слои (водные объекты, песчаные массивы, орография, государственные границы) сохранены в базе геоданных ArcGIS.

Объект исследования

Исследование проводилось в бассейне реки Сырдарья в пределах территории Казахстана. Основное течение р. Сырдарья также можно разделить на три части: верхнее течение в Кыргызстане, где образуется большая часть водного стока; среднее течение в Узбекистане и Таджикистане, а также в нижнее течение в Казахстане, до впадения в Аральское море (рисунок 1).

В Ферганской долине сливаются 2х горных реки, поступающих из территории Кыргызстана – Нарын и Карадарья. Основными притоками реки в Узбекистане являются р. Чирчик и Ахангаран, которые также берут начало в Кыргызстане. На территории Казахстана основные притоки Сырдарьи – реки Келес, Арыс, Бадам, Боролдай, Бугун.

Объем стока бассейна р. Сырдарья, оценивается в 36,57 км³/год. Он получен путём суммирования внутренних возобновляемых поверхностных водных ресурсов (ВВПВР) бассейна в разных странах. Так, в Кыргызстане он равен 27,42 км³/год, в Таджикистане – 1,01 км³/год, в Узбекистане – 4,84 км³/год и в Казахстане – 3,3 км³/год. С 5 и 95% вероятностью стока соответственно в 54,1 и 21,4 км³/год. Около 4,84 км³/год или 13% от среднего объема поверхностных водных ресурсов бассейна р. Сырдарья образуются на территории Узбекистана (Френкен, 2013).

Наблюдаются существенные потери воды на пустынном отрезке реки, отбор большей части воды сельским хозяйством, аналогично с р. Амударья. В наиболее засушливые годы, оставшийся сток, достигающий Аральского моря, составляет менее 10% (Френкен, 2013).

Длина реки от истоков до устья – 3019 км, из них в пределах Республики Казахстан – 1400 км. Наряду с рекой Есиль, делит второе место по длине реки после р. Ертис.

Восточная область водосбора бассейна относится к бассейну р. Нарын. Она расположена в пределах хребтов Северного (высшая точка 4855

м) и Южного (наивысшая отметка – 7439 м, пик Победы) Тянь-Шаня (Ильин, 1969). На западной окраине горной части на Ферганском хребте берет начало второй крупный приток – река Карадарья.

Затем ниже по течению, в Ферганской долине две реки образуют основное русло Сырдарьи. С юга Ферганская долина обрамлена Алайским и Туркестанским хребтами Памиро-Алая (Рис. 1).

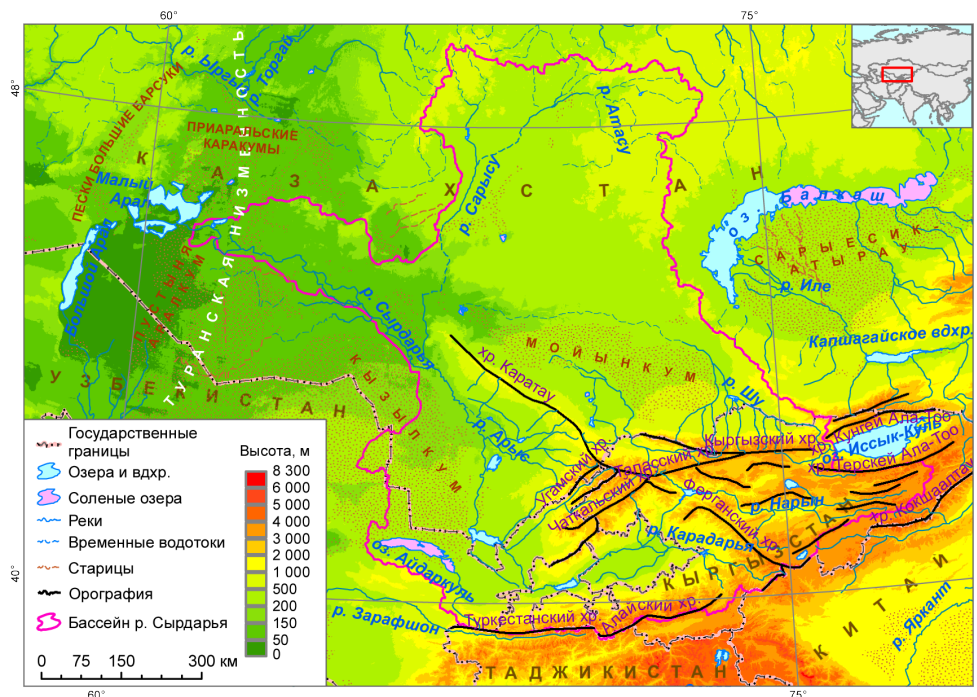


Рисунок 1 – Объект исследования

Равнинная часть бассейна расположена в пределах Туранской плиты (Чупахин, 1968). Это крупная геоструктура с герцинским фундаментом и относительно маломощным платформенным чехлом. Она занимает значительную часть территории Казахстана, простираясь от Каспийского моря на западе до и Шу-Илейских гор на востоке, от отрогов Северного Тянь-Шаня на юге до Мугалжар и Костанайского вала на севере Торгайской страны. Рельеф плиты равнинный, большей частью низменный. Так как в равнинной части реки водоразделы четко не выражены (Ильина, 1969), интерпретации высотных отметок могут отличаться.

В пределах плиты выделяются аккумулятивные равнины Сырдарьинской впадины, аккумулятивные и пластовые денудационные равнины Северного Приаралья, аккумулятивные равнины осушки Аральского моря, аккумулятивные и денудационные равнины Шу-Сарысуйской впадины (Абдулин, 1981) (Акиянова и др. 2006).

Северная часть бассейна находится в умеренном, а южная часть – в субтропическом

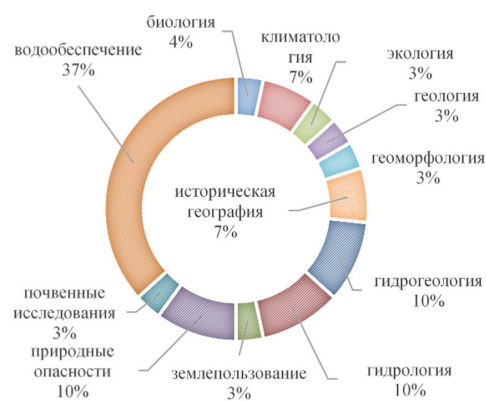
климатическом поясе. Широтная зональность в равнинной части сменяется высотной поясностью в горной части бассейна. Она определяет режим увлажнения и речного стока. Основная часть стока реки формируется в горной части и составляет 22170 млн. куб. м. Расход воды равен 703 куб. м/с (Джаналиева и др. 1998).

Результаты и обсуждения

Динамика исследований по бассейну реки Сырдария и Аральского моря (20-90 годы XX века)

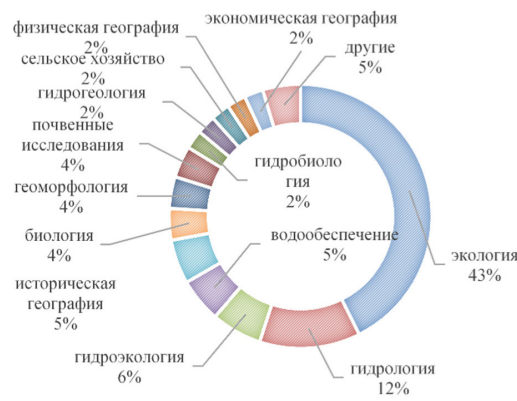
В 20-х годах XX века в СССР произошли большие изменения в народном хозяйстве. Активно развивалось сельское хозяйство для обеспечения населения. Специалисты решали вопросы ирригационного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря, что отражалось в публикациях того времени. Тематическая структура публикаций, связанных с районном исследованиях за период с 1923 года до 1970 года такова: биология (4%), климатология (7%), экология (3%), геология (3%), геоморфология

(3%), историческая география (7%), гидрогеология (10%), гидрология (10%), землепользование (3%), природные бедствия (опасности) (10%), исследования по почвенным ресурсам (3%) и водообеспечение (37%) (рисунок 2А).



а) 1923-1970 гг.

Диаграмма показывает приоритетность водообеспечения народного хозяйства, которая составила почти 40% всех публикаций библиографического списка за рассматриваемый период.



б) 1974-1990 гг.

Рисунок 2 – Распределение публикаций по областям исследования за периоды с 1923 г по 1970 г и с 1974 г по 1990 г

В период с 1974 по 1990 гг. структура публикаций, посвященных району данного исследования изменилась: сельское хозяйство (2%), биология (4%), климатология (2%), экология (43%), экономическая география (2%), геология (1%), геоморфология (4%), историческая география (5%), гидробиология (2%), гидрохимия (2%), гидроэкология (6%), гидрогеология (2%), гидрология (12%), медицинская география (1%), физическая география (2%), исследования по почвенным ресурсам (4%), водообеспечение (5%). Большинство из них (43,7%) посвящены вопросам охраны окружающей среды, изучению последствий осушения Аральского моря, Приаралья, бассейна р. Сырдарья, борьбы с последствиями данной экологической катастрофы (рисунок 2Б).

Такие изменения тематики свидетельствуют об актуальности проблемы нарушения экологического баланса Аральского моря и Приаралья, бассейна р. Сырдарья, в начале 70-х гг. XX века. Хлопок был и остается важной сельскохозяйственной культурой, особенно в Узбекистане, что сильно влияет на количество и качество используемой воды. Растущие потребности в водных ресурсах, острая нехватка, вызвали необходимость подробного изучения гидрологических характеристик реки Сырдарья и Приаралья в указанный период.

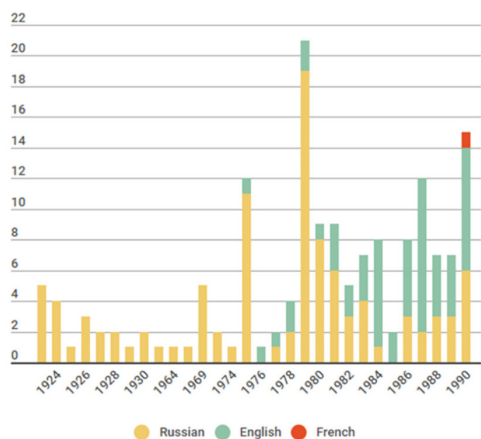
Динамика географической принадлежности и языка публикаций за период (1923-2016 гг)

С 1923 по 1974 год все публикации библиографического списка НИЦ МКВК увидели свет на русском языке. Являясь официальным языком СССР, он использовался и для науки. С 30-х до конца 60-х годов XX в. количество публикаций небольшое. Возможно, это объясняется событиями в социальной сфере населения стран, например, репрессии 30-х, Великая Отечественная война, годы послевоенного восстановления, интенсивное освоение целинных и залежных земель. Однако, с 1975 года увеличилось количество публикации в целом и они появились на иностранном языке (рисунок 3). В дальнейшем эта тенденция усилилась, что свидетельствует о серьезном внимании мировой общественности к дестабилизации экологии Аральского моря и Приаралья.

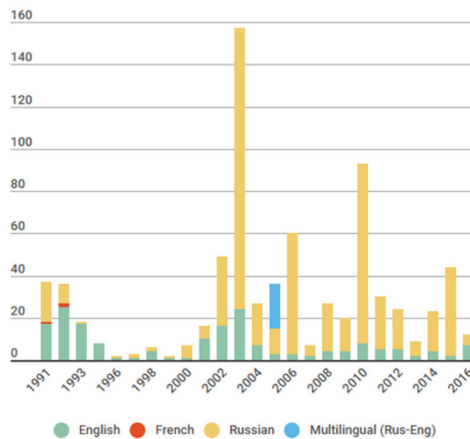
4 пика в гистограммах связаны с серией публикаций в специальных тематических сборниках, приуроченных к конференциям, семинарам или выпусков регулярно печатающихся журналов. Так например, в 1975 г. – сб. тр. «Гидрологические исследования в Средней Азии» (Ленинград, СССР), 1979 – журнал «Проблемы освоения пустынь» (Ашхабад, Туркменистан), 2003 г. – материалы семинара «Capacity building for the Aral sea basin drainage strategy» (Ташкент, Узбекистан) и

2010 г. – конференции «Значение Туркменского озера «Алтын асыр» в улучшении экологического состояния региона» и «Мировой опыт и передовые технологии эффективного использования водных ресурсов» (Ашхабад, Туркменистан).

Пик значений в 1990 г. объясняется внедрением политики открытости информации к концу существования СССР. Исследователи и представители международных организаций стали активно изучать ситуацию Аральского моря и Приаралья.



а)



б)

Рисунок 3 – Языки публикаций, посвященных Аральскому морю, Приаралью, бассейну р. Сырдария: а) 1923-1990 гг., б) 1991-2016 гг.

После изучения динамики языка публикаций, проведен анализ географической принадлежности

сти статей и книг за все рассматриваемые периоды (рисунок 4).

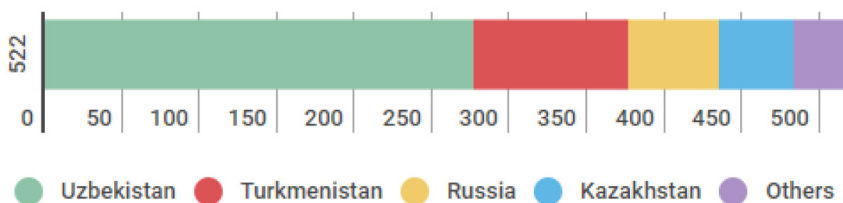


Рисунок 4 – Географическая принадлежность публикации (статей и книг) (1923-2016 гг)

Наибольшее количество публикаций, посвященных Аральскому морю и Приаралью, включая обе реки, были в первую очередь, в странах Приаралья – Узбекистане (277), Туркменистане (99), России (59), Казахстане (48). Это связано с близостью к Аральскому морю и Приаралью, а также значимости бассейна Аральского моря в народном хозяйстве стран Центральной Азии. В других странах опубликовано 39 работ.

Выводы

По результатам анализа литературы и динамики тематических направлений можно сделать следующие заключения:

Проведение географических и экологических исследований в бассейне реки Сырдарья и Приаралье актуально.

Динамика тем завершенных исследований за рассмотренный период отражает взаимосвязь

с историческими событиями, приоритетами в народном хозяйстве и экологической ситуации.

Динамика языков и ареалы публикаций показывает устойчивый рост и демонстрирует увеличение доли международного сотрудничества при выполнении исследовательских работ по району исследований.

Рассмотренные публикации по природно-антропогенным изменениям не охватывают казахстанскую часть бассейна реки Сырдария.

Несмотря на наличие большого количество исследовательских работ, имеются ин-

формационные пробелы. Одно из возможных направлений – анализ взаимосвязи изменений природной среды и антропогенного влияния в районе исследований, в низовьях бассейна реки Сырдария. В частности это может быть изменения почвенно-растительного покрова, которые являются индикатором экологической ситуации. Охват длительного отрезка может помочь установить ясную картину пространственно-временной взаимосвязи явлений, наблюдаемых в бассейне реки Сырдария и Приаралье.

Литература

- 1 Ильин А.Н. (1969) Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 14, вып. 1. Leningrad: gidrometeoizdat. Retrieved from <http://cawater.info.net/library/rus/hist/resources-syrdarya/index.htm>
- 2 Абдулин А. А. (1981) Геология Казахстана. Алматы: Гылым.
- 3 Акиянова Ф. Ж., Медеу А. Р., Нурмамбетов Э. И., Потапова Г. М., Сарсенова А. С. (2006) Геоморфология. Республика Казахстан. Природные условия и ресурсы. In Алматы: Print-ST (Vol. 1, pp. 171–214).
- 4 Берг Л. С. (1952) Географические зоны Советского Союза. Т.2. (Ю. Г. Саушкин, Ed.). Ленинград: Государственное издательство географической литературы.
- 5 Гуров Ф. Н., Кравцова В. И., Михайлов В. Н. (2006) Катастрофические изменения размеров и режима аральского моря за последние 45 лет. In Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе Труды международной научной конференции Москва, 19-20 октября 2006 г. (pp. 19–20). Москва.
- 6 Джаналиева К. М., Будникова, Т. И., Виселов И. Н., Давлеткалиева К. К., Давлятшин И. И., Жапбасбаев М.Ж., Уваров В. Н. (1998) Физическая география Республики Казахстан. Алматы: Қазақ Университеті.
- 7 Духовный В. А., Навратил, П. (2008) Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря. Ташкент: НИЦ МКВК.
- 8 Жанбеков Х. Н., Мукатаева, Ж. С. (2010) Мониторинг радиохимического состава воды Сырдарьинского бассейна. Вода: химия и экология, 5, 2–9.
- 9 Кипшакбаев Н., Шуттер Ю., Духовный В. А., Мальковский И. М., Огарь Н. П., & Хайбуллин А. С. (2010) Восстановление экологической системы в дельте Сырдарии и северной части Аральского моря. (Е. Б. Жумартов, Ed.). Алматы: Эверо.
- 10 Мальковский И. М., Толеубаева Л. С., Сорокина Т. Е., Таиров А. З., & Аскараров А. Г. (2009) Интегрированное управление водными ресурсами в целях восстановления ветландов аральского моря (северная часть). География Және Геоэкология Мәселелері, 1–2 Алматы, 22–28.
- 11 НИЦ МКВК. (2016) Библиографическая база данных Научно-информационного центра Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (НИЦ МКВК). Retrieved October 31, 2017, from <http://www.cawater-info.net/biblio/Publicationlist.php>
- 12 Оразбекова К. С. (2016) Оценка современного землепользования дельты реки Сырдария в условиях опустынивания с использованием гис-технологий. Известия вузов Кыргызстана, 4, 39–44.
- 13 Рузиев И. Б., Стулина Г. В., Рощенко Е. М., Сапариязов Ж., Косназаров К. А. (2008) Преодолевая кризис. Проблемы Аральского Моря и Приаралья. Сборник Научных Трудов, 38–47.
- 14 Френкен К. (ФАО). (2013) Ирригация в Центральной Азии в цифрах. Исследование АКВАСТАТ 2012. Рим.
- 15 Хоринкова В., Духовный В. А., Рысбеков Ю. (2005) Переход к интегрированному управлению водными ресурсами в низовьях и дельтах рек амударьи и сырдарьи». (В. А. Духовный & М. Г. Хорст, Eds.). Ташкент.
- 16 Чупахин В. М. (1968) Физическая география Казахстана. Алма-Ата: Мектеп. Алма-Ата: Мектеп.
- 17 Aladin N. (2017) Current status of lake Aral. In 16th World Lake Conference CURRENT (pp. 448–457).
- 18 Aslanov I. (2013) Dust storms , dust transfer and depositions in the southern Aral Sea region. Glessen.
- 19 Bekchanov M., Ringler C., Bhaduri A., & Jeuland M. (2016) Optimizing irrigation efficiency improvements in the Aral Sea Basin. Water Resources and Economics, 13, 30–45. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.08.003>
- 20 Gapparov B. K., Beglov I. F., & Nazariy A. M. (2011) Water quality in the Amudarya and Syrdarya river basins. Analytical report.
- 21 Issanova G., Abuduwaili J., Galayeva, O., Semenov O., & Bazarbayeva T. (2015) Aeolian transportation of sand and dust in the Aral Sea region. International Journal of Environmental Science and Technology, 12(10), 3213–3224. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0753-x>
- 22 Issanova G., Abuduwaili J., Kaldybayev A., Semenov O., & Dedova T. (2015) Dust storms in Kazakhstan: Frequency and division. Journal of the Geological Society of India, 85(3), 348–358. <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0224-5>

- 23 Issanova G., Abuduwaili J. (2017) Aeolian processes as Dust Storms in the Deserts of Central Asia and Kazakhstan. Springer Nature, Environmental Science and Engineering. 133 p.
- 24 Jin Q., Wei J., Yang Z.-L., & Lin P. (2017) Irrigation-Induced Environmental Changes around the Aral Sea: An Integrated View from Multiple Satellite Observations, (September). <https://doi.org/10.3390/rs9090900>
- 25 Löw F., Fliemann E., Abdullaev I., Conrad C., & Lamers J. P. A. (2015) Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing. *Applied Geography*, 62, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.009>
- 26 Micklin P. (2007) The Aral sea disaster. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35, 47–72.
- 27 Planchon O., Frederic D. (2002) A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, 46(2–3), 159–176. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3)
- 28 Savoskul O., Chevina E. (2003) Water, climate, food, and environment in the Syr Darya Basin. <https://doi.org/10.1.1.202.3222>
- 29 Siegfried T., Bernauer T. (2007) Estimating the performance of international regulatory regimes: Methodology and empirical application to international water management in the Naryn/Syr Darya basin. *Water Resources Research*, 43(11), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2006WR005738>

References

- 1 Ilyin A.N. (1969) Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, t. 14 [Resources of surface waters of the USSR, vol. 14]. Leningrad: gidrometeoizdat. Retrieved from <http://cawater.info.net/library/eng/hist/resources-syrdarya/index.htm>
- 2 Abdulin AA (1981) Geologiya Kazakhstana [Geology of Kazakhstan]. Almaty: Gylym.
- 3 Akiyanova F. Zh., Medeu AR, Nurmambetov EI, Potapova GM, Sarsenova AS (2006) Geomorfologiya. Respublika Kazakhstan. Prirodnyye usloviya i resursy [Geomorphology. The Republic of Kazakhstan. Natural conditions and resources]. In Almaty: Print-ST (Vol.1, pp. 171-214).
- 4 Berg LS (1952) Geograficheskiye zony Sovetskogo Soyuz. T.2. [Geographical zones of the Soviet Union. T.2] (Yu. G. Saushkin, Ed.). Leningrad: State Publishing of Geographical Literature.
- 5 Gurov FN, Kravtsova VI, Mikhailov VN (2006) Katastroficheskiye izmeneniya razmerov i rezhima aral'skogo morya za posledniye 45 let. In Ekstremal'nyye gidrologicheskiye sobytiya v Aralo-Kaspiyskom regione Trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Moskva [Catastrophic changes in the size and regime of the Aral Sea over the past 45 years. In Extreme hydrological events in the Aral-Caspian region] Proceedings of the International Scientific Conference Moscow, October 19-20, 2006 (pp. 19-20). Moscow.
- 6 Dzhanaliev KM, Budnikova, TI, Vicelov IN, Davletkalieva KK, Davlyatshin II, Zhabbasbaev M.Zh., Uvarov VN (1998) Fizicheskaya geografiya Respubliki Kazakhstan [Physical Geography of the Republic of Kazakhstan]. Almaty: Kazakh University.
- 7 Dukhovny VA, Navratil, P. (2008) Kompleksnyye distantsionnyye i nazemnyye issledovaniya osushennogo dna Aral'skogo moray [Integrated remote and terrestrial studies of the dried bottom of the Aral Sea]. Tashkent: SIC ICWC.
- 8 Zhanbekov Kh.N., Mukataeva, Zh. S. (2010) Monitoring radiokhimicheskogo sostava vody Syrdar'inskogo basseyna [Monitoring of radiochemical composition of water in the Syrdarya basin]. *Water: chemistry and ecology*, 5, 2-9.
- 9 Kipshakbaev N., Shutter Yu., Dukhovny VA, Malkovsky IM, Ogar N.P., Khaybullin AS (2010) Vosstanovleniye ekologicheskoy sistemy v del'te Syrdarii i severnoy chasti Aral'skogo moray [Restoration of the ecological system in the delta of the Syrdaria and the northern part of the Aral Sea] (EB Zhumartov, Ed.). Almaty: Evero.
- 10 Malkovsky IM, Toleubaeva LS, Sorokina TE, Tairov AZ, Askarov AG (2009) Integrirovannoye upravleniye vodnymi resursami v tselyakh vosstanovleniya vetlandov aral'skogo morya (severnaya chast') [Integrated water resources management with a view to restoring the Aral Sea wetlands (northern part)]. *Geography and Geoecology*, 1-2 Almaty, 22-28.
- 11 BDSIC ICWC. (2016) Bibliograficheskaya baza dannykh Nauchno-informatsionnogo tsentra Mezghosudarstvennoy koordinatsionnoy vodokhozyaystvennoy komissii Tsentral'noy Azii [Bibliographic database of the Scientific Information Center of the Interstate Commission for Water Coordination of Central Asia (SIC ICWC)]. Retrieved October 31, 2017, from <http://www.cawater-info.net/biblio/Publicationlist.php>
- 12 Orazbekova K.S. (2016) Otsenka sovremennogo zemlepol'zovaniya del'ty reki Syrdariya v usloviyakh opustynivaniya s ispol'zovaniyem gis-tekhnologiy [Assessment of the modern land use of the Syrdarya delta in conditions of desertification with the use of GIS-technologies]. *News of Higher Educational Institutions of Kyrgyzstan*, 4, 39-44.
- 13 Ruziev IB, Stulina GV, Roshchenko EM, Saparniyazov Zh., Kosnazarov KA (2008) Preodolevaya krizis. Problemy Aral'skogo Morya i Priaral'ya [Overcoming the crisis. Problems of the Aral Sea and the Aral Sea region]. Collection of Scientific Proceedings, 38-47.
- 14 Frenken K. (FAO). (2013) Irrigatsiya v Tsentral'noy Azii v tsifrakh. Issledovaniye AKVASTAT 2012 [Irrigation in Central Asia in figures. Research AKVASTAT 2012]. Rome.
- 15 Khorinkova V., Dukhovny VA, Rysbekov Y. (2005) Perekhod k integrirovannomu upravleniyu vodnymi resursami v nizov'yakh i del'takh rek amudar'i i syrdar'i [Transition to integrated water resources management in the lower reaches and deltas of the Amudarya and Syrdarya rivers] (VA Dukhovny and MG Horst, Eds.). Tashkent.
- 16 Chupakhin VM (1968) Fizicheskaya geografiya Kazakhstana [Physical Geography of Kazakhstan]. Alma-Ata: Mektep.
- 17 Aladin N. (2017) Current status of lake Aral. In 16th World Lake Conference CURRENT (pp. 448–457).
- 18 Aslanov I. (2013) Dust storms, dust transfer and depositions in the southern Aral Sea region. Glessen.
- 19 Bekchanov M., Ringler C., Bhaduri A., & Jeuland M. (2016) Optimizing irrigation efficiency improvements in the Aral Sea Basin. *Water Resources and Economics*, 13, 30–45. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.08.003>
- 20 Gapparov B. K., Beglov I. F., & Nazariy A. M. (2011) Water quality in the Amudarya and Syrdarya river basins. Analytical report.

- 21 Issanova G., Abuduwaili J., Galayeva, O., Semenov O., & Bazarbayeva T. (2015) Aeolian transportation of sand and dust in the Aral Sea region. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(10), 3213–3224. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0753-x>
- 22 Issanova G., Abuduwaili J., Kaldybayev A., Semenov O., & Dedova T. (2015) Dust storms in Kazakhstan: Frequency and division. *Journal of the Geological Society of India*, 85(3), 348–358. <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0224-5>
- 23 Issanova G., Abuduwaili J. (2017) Aeolian processes as Dust Storms in the Deserts of Central Asia and Kazakhstan. Springer Nature, *Environmental Science and Engineering*. 133 p.
- 24 Jin Q., Wei J., Yang Z.-L., & Lin P. (2017) Irrigation-Induced Environmental Changes around the Aral Sea: An Integrated View from Multiple Satellite Observations, (September). <https://doi.org/10.3390/rs9090900>
- 25 Löw F., Fliemann E., Abdullaev I., Conrad C., & Lamers J. P. A. (2015) Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing. *Applied Geography*, 62, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.009>
- 26 Micklin P. (2007) The Aral sea disaster. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35, 47–72.
- 27 Planchon O., Frederic D. (2002) A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, 46(2–3), 159–176. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3)
- 28 Savoskul O., Chevnina E. (2003) Water, climate, food, and environment in the Syr Darya Basin. <https://doi.org/10.1.1.202.3222>
- 29 Siegfried T., Bernauer T. (2007) Estimating the performance of international regulatory regimes: Methodology and empirical application to international water management in the Naryn/Syr Darya basin. *Water Resources Research*, 43(11), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2006WR005738>