



*Қазақстан Республикасының  
Экология, геология және табиғи  
ресурстар Министрлігі*

*Министерство экологии, геологии и  
природных ресурсов  
Республики Казахстан*

«Қазгидромет» Республикалық  
мемлекеттік кәсіпорны

Республиканское государственное  
предприятие «Казгидромет»

# **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ**

әр тоқсанда шығарылатын  
ғылыми-техникалық журнал

**№ 3**

# **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ**

Ежеквартальный  
научно-технический журнал

АЛМАТЫ  
2019

*ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР* М.П. Кынатов

*РЕДКОЛЛЕГИЯ*

Н.И. Ивкина (*зам. главного редактора*)  
С.Б. Саиров (*зам. главного редактора*)  
Н.Н. Абаев (*ответственный секретарь*)

Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан)  
А.Х. Ахмеджанов (Алматы, Казахстан)  
М.Ж. Бурлибаев (Алматы, Казахстан)  
А.А. Волчек (Брест, Беларусь)  
А.В. Галаева (Алматы, Казахстан)  
В.Ю. Георгиевский (Санкт-Петербург, Россия)  
С.А. Долгих (Алматы, Казахстан)  
И.Б. Есеркепова (Алматы, Казахстан)  
А.Р. Медеу (Алматы, Казахстан)  
Е.Ж. Муртазин (Алматы, Казахстан)  
А.М. Мусакулкызы (Алматы, Казахстан)  
Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан)  
К. Опп (Марбург, ФРГ)  
Е.В. Островская (Астрахань, Россия)  
В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан)  
С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан)  
А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан)  
А.Г. Терехов (Алматы, Казахстан)

## **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ**

**№ 3 (94)**

©

Журнал издается с 1995 года.  
Регистрационное свидетельство  
№ 1538 от 14 марта 1995 г.

*Адрес редакции:* 050022, Алматы,  
пр. Абая, д. 32, к. 309,307  
*Телефон:* (7272) 67-64-91; 55-84-06;  
*E-mail:* [Hydromet.journal@gmail.com](mailto:Hydromet.journal@gmail.com)  
<http://www.kazhydromet.kz>

Подписано в печать 12 декабря 2019 г.

Формат бумаги 70 × 100/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Объем 14,1 п.л. Тираж 500 экз. Заказ

Цена договорная.

Отпечатано в типографии  
ТОО «Жетисуское учебно-производственное предприятие»  
ОО «Казахское общество слепых»  
г. Талдыкорган, ул. Тауелсиздык, 135

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

- П.С. Дмитриев, Т.Н. Лысакова, И.А. Фомин,  
А.В. Нестеренко**  
Перспективы применения экстракта сапропеля с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур. . . . . 7
- А.Г. Елтай, Н.И. Ивкина, К.Т. Нарбаева**  
Явление апвеллинга у казахстанского побережья Каспия. . . . . 17
- А.А. Болатова, Т.А. Тілләкәрім, М.Н. Раимжанова**  
Применение гидрологической модели HBV для прогнозирования стока рек на примере бокового притока воды в Шульбинское водохранилище. . . . . 26
- А.А. Нурбаццина, Ю. Дидовец, А. Лобанова**  
Адаптация гидрологической модели SWIM для прогнозирования стока равнинных рек Казахстана во время паводков/половодья. . . . 44
- Н.И. Ивкина, И.В. Шенбергер, А.Г. Терехов**  
Особенности водного режима р. Шарын в современных условиях. . . . . 59
- В.Н. Тальских, Л.Ю. Шардакова**  
Разработка регионального метода балльно-индексной оценки состояния озерных систем бассейна Аральского моря. . . . . 68
- В.Н. Тальских, Л.Ю. Шардакова**  
Результаты оценки озерных систем бассейна Аральского моря с помощью индекса экологического состояния. . . . . 80
- С.К. Давлеткалиев, С.К. Алимкулов, Э.К. Талипова**  
Өзен ағындысы мен жауын-шашынның айлық мөндерін бірлестіріп, статистикалық модельдеу арқылы Іле өзенінің гидрографын ұзақ мерзімге болжау. . . . . 92
- С.К. Давлеткалиев, Ж.Н. Баймахан**  
Каспий маңы аймағының шығыс бөлігі өзендерінің көктемгі ағынды сипаттамаларын есептеу. . . . . 105
- Ж.Ж. Смагулов, А.А. Сапарова, А.Р. Загидуллина,  
Г.Р. Баспакова**  
Водохозяйственные исследования и разработка сценариев развития водопотребления в трансграничном бассейне реки Ертыс (казахстанская часть). . . . . 114

**А.С. Курманбаева, И.Б. Фахруденова, З.Е. Баязитова,  
А.А. Какабаев, Т.В. Карнаухова**

Изучение динамики индекса загрязнения воды озера Улькен  
Шабакты. . . . . 130

**А.О. Бимаганбетова, Т.А. Базарбаева, Г.А. Муканова,  
А.Б. Атыгаев**

Экологическое состояние растительного покрова на месте аварий  
Протон-М. . . . . 139

**Л.В. Лебедь, И.Б. Есеркепова, М.А. Атабаев,  
Н.И. Васильченко, З.Р. Токпаев**

Экологический мониторинг возделываемых земель в националь-  
ной системе инвентаризации парниковых газов. . . . . 151

**Т.Н. Лысакова, А.М. Нукжанова, П.С. Дмитриев**

Исследования почв в 2016 и 2018 годах на территории свалок твер-  
дых бытовых отходов Северо-казахстанской области с помощью  
биоиндикационного метода. . . . . 171

## **ОБЗОРЫ И КОНСУЛЬТАЦИИ**

**А.А. Медеу, К.М. Кыргызбай**

Эволюция экономических взглядов на воду: концепции и теории. . . 181

## CONTENTS

### SCIENTIFIC ARTICLES

<b>P.S. Dmitriev, T.N. Lyssakova, I.A Fomin, A.V. Nesterenko</b> Prospects for the use of spropel extract to increase crop yields. . . . .	7
<b>A.G. Yeltay, N.I. Ivkina, K.T. Narbayeva</b> Upwelling at the kazakhstan coast of the Caspian Sea. . . . .	17
<b>A.A. Bolatova, T.A. Tillakarim, M.N. Raymzhanova</b> Using hydrological model hbv for forecasting river discharge on the example of the lateral water flow to the SHulbi Reservoir. . . . .	26
<b>A.A. Nurbatsina, Yu. Didovets, A. Lobanova</b> Adaptation of hydrological model SWIM for forecasting plain rivers discharge of Kazakhstan during flood/snow melt flood periods. . . . .	44
<b>N.I. Ivkina, I.V. Shenberger, A.G. Terekhov</b> Features of the SHaryn River water regime in the modern conditions. . . . .	59
<b>V.N. Talskikh, L.Yu. Shardakova</b> Regional method development for point-index assessment of lake sys- tems state in the aral sea basin. . . . .	68
<b>V.N. Talskikh, L.Yu. Shardakova</b> Assessment results of the lake systems of the Aral Sea Basin using the ecological state index. . . . .	80
<b>S. K. Davletgaliev, S. K. Alimkulov, E. K. Talipova</b> Long-term forecast of the monthly flow hydrograph of Ile River based on joint statistical modeling of flow and precipitation. . . . .	92
<b>S.K. Davletgaliev, Zh.N. Baimahan</b> Calculation of spring flow river characteristics of the Eeastern Caspian Region. . . . .	105
<b>J.J. Smagulov, A.A. Saparova, A.R. Zagidullina, G.R. Baspakova</b> Water management studies and working-out of scenarios for the development of water consumption in the transboundary Ertis River Basin (Kazakhstan part). . . . .	114
<b>A.S. Kurmanbaeva, I.B. Fakhrudanova, Z.E. Bayazitova, A.A. Kakabaev, T.V. Karnaukhova</b> Studying the dynamics of water pollution index of the Ulken SHabakty Lake. . . . .	130

<p><b>A.O. Bimaganbetova, T.A. Bazarbaeva, G.A. Mukanova, A.B. Atygayev</b></p>	
Ecological condition of the vegetation cover at the Proton-M accident site. ....	139
<p><b>L.V. Lebed, I.B. Yesserkepova, M.A. Atabayev, N.I. Vassilchenko, Z.R. Tokpayev</b></p>	
Environmental monitoring of the cultivated lands in the national greenhouse gas inventory system. ....	151
<p><b>T.N. Lyssakova, A.M. Nukzhanova A.M., P.S. Dmitriev</b></p>	
Research of soils within the territory of solid household waste landfills of the North Kazakhstan Oblast in 2016 and 2018 by means of the bioindication method. ....	171
<p><b>REVIEWS AND CONSULTATIONS</b></p>	
<p><b>A.A. Medeu, M.K. Kyrgyzbay</b></p>	
The evolution of economic views on water: concepts and theories . . .	181

УДК 630.232.322

Канд. биол. наук  
Канд. биол. наукП.С. Дмитриев<sup>1</sup>  
Т.Н. Лысакова<sup>1</sup>  
И.А. Фомин<sup>1</sup>  
А.В. Нестеренко<sup>1</sup>**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСТРАКТА САПРОПЕЛЯ С  
ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**Ключевые слова:** плодородие, почва, органические удобрения, сапропель, повышение урожайности, органическое земледелие, органоминеральные накопления озер

*В данной статье рассматривается возможность использования органических удобрений на основе местных ресурсов озер для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а также научно-исследовательская деятельность по использованию сапропеля в качестве удобрений. Авторами предлагается использование сапропеля в качестве удобрения, отличающегося от раннего тем, что он будет применяться в виде концентрированного экстракта. Научные исследования по теме использования органических ресурсов озер в сельском хозяйстве, для повышения качественных и количественных показателей сельскохозяйственной продукции, проведены на базе Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева. Представлены результаты эксперимента с применением сапропеля, сделаны выводы о его положительном эффекте.*

**Введение.** Увеличение использования минеральных удобрений в свою очередь приводит к возрастанию нагрузки на окружающую среду, на качество и состояние почвенного покрова. Применение минеральных удобрений уменьшает степень природного плодородия почв.

С целью предупреждения экологического кризиса и развития «зеленой экономики», следует повысить производительность сельскохозяйственной продукции и значимость органических удобрений,

---

<sup>1</sup> СКГУ им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан

микроэлементов, повышающих устойчивость растений к экологической нагрузке, увеличивают качественные и количественные показатели сельскохозяйственной продукции [1].

Во всем мире популярность внедрения органического сельского хозяйства не столь масштабна, как хотелось бы. При этом в Казахстане имеется огромный потенциал для роста органического производства и потребления. Развитие органического земледелия в Республике Казахстан – одна из сложных и актуальных задач современности [2].

Одной из важных задач агропромышленного комплекса Республики Казахстан для обеспечения продовольственной безопасности является повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В программных документах «Зеленый мост», «Казахстан – 2050» первым президентом Н.А. Назарбаевым поставлена следующая цель: стать Республике Казахстан надежным партнером на мировом зерновом рынке, посредством производства конкурентоспособной экологически чистой продукции [3].

Одним из направлений реализации «зеленых технологий» в сельском хозяйстве является использование органического земледелия на основе местных природных ресурсов [13, 14]. С одной стороны, органическое земледелие позволяет получать экологически чистую продукцию, что имеет важнейшее значение для здоровья населения. С другой стороны, органическое земледелие способствует сохранению естественного плодородия почвенного покрова. Минеральные удобрения способствуют получению высоких урожаев, но стратегически их использование менее желательно, чем использование органического удобрения по экологическим соображениям [4].

На основе озерных накоплений можно получить комплексные удобрения с микроэлементным составом [15]. Перспективным является использование органических удобрений озер – сапропелей. Сапропели представляют собой типичные органоминеральные донные отложения пресноводных озер. По сравнению с торфами и углями органическая масса сапропелей менее богата углеродом и отличается более высоким содержанием легкогидролизуемых веществ, включающих гемицеллюлозу, азотсодержащие соединения [5].

Сапропель является естественным природным органическим отложением пресноводных водоемов, исходным веществом которых считаются водные растения и животные останки в совокупности с

привнесенными с суши частицами растений, пылью, песком, глиной, кроме того, растворами разных минеральных веществ [6].

Сапропели как сырье применяются для получения экологически чистых удобрений разного направления. Подобные удобрения включают совокупность органических и минеральных элементов, соединения азота, фосфора, калия, серы, меди, бора, молибдена и иных микроэлементов. Ключевая оценка сапропеля как удобрения – это высокий уровень зольности и нахождения кремния, железа, серы, карбонатов, кальция, степень кислотности [7].

Опыт применения сапропеля в качестве органического удобрения имеет положительный эффект, как в практике земледелия, так и в практике растениеводства. В сапропеле имеются все необходимые для растений микроэлементы, а экономический эффект от применения сапропелевых удобрений зависит от характера почв, норм внесения и видов сельскохозяйственных культур [8]. В Северо-Казахстанской области уже проводилась научно-исследовательская деятельность по использованию сапропелей озер в качестве удобрений. В 2009...2001 гг. авторами был реализован проект: «Использование новых технологий в производстве удобрений на основе местных ресурсов» финансируемый Министерством сельского хозяйства и Всемирным банком. В результате исследований были получены положительные результаты от внесения сапропеля при выращивании овощных культур.

Сапропель как экологически чистое и высококачественное органоминеральное удобрение, применяется для всех типов почв и всех видов растений для увеличения урожайности, что является важным условием, в том числе, для подверженных деградации и дегумификации почв [9, 12, 13].

Авторами предлагается в качестве удобрения использовать концентрированный экстракт сапропеля, полученный на основе ресурсов местных озер в предпосевной обработке семян. Новая предлагаемая технология может дать заметный экологический эффект - предполагается, что предпосевная обработка экстрактом сапропеля поспособствует непосредственному снабжению семян биологически активными веществами, а также макро- и микроэлементами. Приготовленный на основе сапропеля концентрированный экстракт станет органоминеральной насыщенной структурой, подпитывающей ресурсами семенной материал сельскохозяйственных растений. Экономический эффект может реально

выразиться прибавкой урожайности экологически чистой продукции при малых затратах, а экологический может иметь долгосрочный эффект в виде вклада в дело сохранения естественного плодородия почв. В связи с тем, что Северо-Казахстанская область является зерновым регионом, предлагается использовать данный экстракт, при посевной обработке зерновых культур [11].

В качестве объекта эксперимента были выбраны семена редиса – Дайкон [16]. Данное растение имеет небольшой вегетационный период, отзывчив на внесение удобрений и подходит для произрастания в условиях климата данного региона. Материалы, полученные в ходе проведения эксперимента по выращиванию японского редиса Дайкона – записи, таблицы и фотографии, сделанные во время проведения наблюдений за процессами роста и развития объектов эксперимента.

В процессе исследования применялись следующие методы:

- обработка статистических данных;
- сравнительный анализ;
- эксперимент;
- наблюдение;
- описание.

Сравнительный метод заключался в выявлении преимуществ применения удобрения, сравнении показателей урожайности, состава почв.

Экспериментальный метод включал создание разных условий произрастания редиса.

Наблюдение применялось при выявлении различий в ходе роста и развития объекта эксперимента. Результаты наблюдений фиксировались как при помощи традиционных способов в виде таблиц и записей, так и при помощи инструментального наблюдения – фотографирования.

Описание применялось для упорядочения результатов эксперимента. На заключительном этапе сделаны основные выводы по исследуемой работе.

**Результаты и обсуждение.** Семена редиса Дайкона, смоченные в сапропелевой вытяжке, посеяли в ящик с почвой с добавлением сапропеля 11 июня 2018 г. Наблюдалось следующее:

Первые всходы появились 13 июня 2018 г. в количестве 6 всходов (всего было посажено 15 семян). В течение вегетационного периода образцы с добавлением сапропеля характеризовались более высокими показателями роста и развития.

1) Средняя высота стеблей через неделю после появления первых всходов составляла 6...7 см. На второй неделе взошли еще 2 ростка. Всего образовалось 8 стеблей, их средняя высота составляла 13...15 см.

2) На третьей неделе проредили всходы, так как они были густые и необходимо было место для плода, осталось 5 стеблей, длина увеличилась на 5 см.

3) В последующий период наблюдали высокую скорость роста стеблей и увеличение объема плодов. На пятой неделе эксперимента присыпали грунтом корнеплоды. Высота стеблей составляла 30...35 см.

4) На шестой и седьмой неделях высота стебля в среднем увеличивалась на 5 см.

5) К периоду созревания плода высота стебля составляла 42...45 см. Листья за период роста были пышными и зелеными.

6) После сбора плоды были взвешены, была определена средняя масса одного плода. Наибольшей массой плода характеризовались образцы, семена которых были смочены в сапротелевой вытяжке, выращены в почве с добавлением сапротеля – 0,22 кг. Плоды, выращенные на почве без удобрений, весили в среднем 0,08 кг. Показатели всходов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели всходов

Неделя	Количество всходов, стеблей	Средняя высота стеблей, см	Цвет растений	Общее состояние	Примечание
1 неделя	6 всходов	6...7	Светло зеленый	Хорошее	Посев семян 11.06.2018 г. Появление первых всходов 13.06.2018 г.
2 неделя	8 стеблей	13...15	Зеленый, светло зеленый	Хорошее	Появление следующих 2 всходов
3 неделя	5 стеблей (проредили)	18...20	Зеленый, желтый	Хорошее	После прореживания оставили 5 стеблей
4 неделя	5 стеблей	25...27	Зеленый	Хорошее	Высокая скорость роста
5 неделя	5 стеблей	30...32	Зеленый	Хорошее	Увеличение объема плодов
6 неделя	5 стеблей	35...38	Зеленый	Хорошее	Присыпали грунтом
7 неделя	5 стеблей	4...45	Зеленый	Хорошее	

Сапропели являются очень ценным удобрением для зерновых культур и овощей. Продуктивность в растениеводстве возрастает в 1,5 раза. Отсутствие вредных примесей, семян сорных растений и длительность эффекта после однократного внесения делают его универсальным удобрением [10].

**Заключение:** Эксперимент по выращиванию редиса Дайкона с применением местных ресурсов озер в качестве удобрения дал положительный результат и подтвердил результаты ранее проведенных исследований. Наибольшей массой плода характеризовались образцы, семена которых были смочены в сапропелевой вытяжке, выращены в почве с добавлением сапропеля.

В ходе эксперимента наблюдалось положительное влияние сапропеля на морфометрические параметры, на динамику роста и конечную урожайность, при этом не было замечено отрицательного их влияния на качество продукции по наблюдаемым параметрам.

Следовательно, «Сапролин» является стимулятором роста семян зерновых культур, т.е. в большей степени влияет на энергию прорастания. Экстракт сапропеля относится к стимулирующим препаратам природного происхождения, который содержит водорастворимые природные минеральные вещества. Улучшение питания растений за счет местных природных ресурсов органического происхождения экологично в своей основе. Это – шаг к так называемому органическому земледелию, которое по общему признанию является прогрессивным с точки зрения охраны окружающей среды.

Таким образом, исследования показывают, что сапропель можно использовать в качестве эффективного удобрения. В результате создаются более благоприятные условия для развития растений, увеличивается их урожайность. Следовательно, использование сапропеля в качестве удобрения биогенного происхождения, способствует созданию благоприятных условий в реализации взаимных связей организмов в популяциях растений, которые являются основой существования биоценозов. Сапропель, а также получаемые на их основе удобрения, оказывают существенное влияние на свойства почв и урожай растений. Они характеризуются рядом специфических свойств, присущих только этим природным образованиям. Ожидаемый социально-экономический эффект и значимость применения сапропеля заключается в разработке рекомендаций по эффективному использованию органоминеральных накоплений озер в сельском хозяйстве.

**Перспективы:** На сегодняшний день, научные исследования по теме использования органических ресурсов озер в сельском хозяйстве, для повышения качественных и количественных показателей сельскохозяйственной продукции, на базе СКГУ им. М. Козыбаева переходят на новый этап.

Основные результаты исследований заключаются в создании технологии получения экстракта сапропеля оптимальной концентрации; в определении его свойств, в разработке методики предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур экстрактом.

В результате исследования будут разработаны рекомендации по рациональному использованию местных ресурсов для оптимизации и экологизации сельскохозяйственного природопользования, которые найдут практическое применение природопользователями для развития органического земледелия в целях повышения качества и безопасности продуктов питания. Это в свою очередь способствует увеличению экспорта органической продукции и развитию конкурентоспособной, высокоэффективной предпринимательской деятельности, что в целом будет содействовать социально-экономическому развитию региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкая Н.П. Проект «Использование новых технологий в производстве удобрений на основе местных ресурсов». - Петропавловск, 2010. – 60 с.
2. Белецкая Н.П., Фомин И.А., Дмитриев П.С. Перспективы использования в условиях Северного Казахстана удобрений на основе местного сырья // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Часть I. – 2014. – № 4 (63).– С.121-123.
3. Белецкая Н.П., Дмитриев П.С., Фомин И. А. Современное состояние озер Северо-Казахстанской области. - Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2014. – 153 с.
4. Белецкая Н.П., Фомин И.А. Органоминеральные накопления озер Северо-Казахстанской области // Матер. респуб. научно-практ. конф. «Козыбаевские чтения». – Петропавловск, 2009. – С. 93-97.
5. Белецкая Н.П., Фомин И.А. Производство удобрений на основе местных ресурсов // Матер. междунар. научно-практ. конф., посвященной 60-и летию доктора биол. наук А.Т.Хусаинова. – Кокшетау, 2009. – С. 155-159.

6. Белецкая Н.П., Фомин И.А., Назарова Т.В. Использование органо-минеральных накоплений озёр Северо-Казахстанской области в качестве удобрения // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2012. – № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.snauka.ru/2012/06/442> (дата обращения: 07.02.2019).
7. Белецкая Н.П., Фомин И.А. Использование органо-минеральных озерных накоплений в качестве удобрения // Матер. междунар. научно-практ. конф. «Валихановские чтения». – Кокшетау, 2011. – С. 83-89
8. Белецкая Н.П., Фомин И.А., Ротанова Н.А., Бодуновская Н.С. Рекомендации по использованию удобрений на основе местных ресурсов. – Петропавловск: ТОО «Наносфера», 2011. – 40 с.
9. Климовицкий М.Л., Хохлов Б.Н., Хохлова О.Б., Малышков Л.С. Сапропель озера Неро – уникальный источник богатства земли Ярославской. – Ярославль: Верхневолжский региональный центр РАЕН, 1999. – 125 с.
10. Шлепетинский А.Ю. Метод рационального использования минеральных удобрений // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 5. – С. 29-30.
11. Фомин И.А., Мажитова Г.З., Назарова Т.В. Озерные накопления Северо-Казахстанской области: учебно-методическое пособие. – Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2012. – 92 с.
12. Копёнкина Н. А., Чистяков В. И. Образование торфа и сапропеля и их классификация. - М.: Недра, 1998. – 268 с.
13. Нургизаринов А.М., Жунисов А.Т., Назаров Е.А., Шарипова А.Ж. Экологические основы повышения биологического плодородия орошаемых почв в низовье реки Сырдарьи // Гидрометеорология и Экология. – 2017. – № 1. – С.124-134.
14. Досбергенов С.Н. Изменение состава поглощенных оснований под влиянием гумуса и гуминового препарата-адаптогена ПА 2-1 на аллювиально-луговых почвах опытного участка (Махамбетский массив орошения) // Гидрометеорология и Экология. – 2016. – № 3. – С.141-149.

15. Шарипова О.А., Шарипова А.В. Зависимость накопления микроэлементов в донных отложениях оз. Балхаш от содержания органического вещества в них // Гидрометеорология и Экология. – 2016. – № 2. – С.152-159.
16. Щепетова С.В. Продуктивность редиса и дайкона в зависимости от приемов возделывания на черноземных почвах Саратовского Правобережья. Автореф. дис. канд. сельскохоз. наук / Пензенской государственной сельскохозяйственной академии. – Пенза, 2000. – 21с.

Поступила 17.01.2019

Биол. ғылымд. канд.  
Биол. ғылымд. канд.

П.С. Дмитриев  
Т.Н. Лысакова  
И.А. Фомин  
А.В. Нестеренко

### **АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ МАҚСАТЫНДА САПРОПЕЛЬ СЫҒЫНДЫСЫН ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ**

**Түйін сөздер:** құнарлылық, топырақ, органикалық тыңайтқыштар, сапропел, өнімділікті арттыру, органикалық шаруашылық, көлдердің органоминаралды жинақтары.

*Бұл мақалада ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін арттыру үшін жергілікті көлдердің ресурстары негізінде органикалық тыңайтқыштарды пайдалану мүмкіндігі, сондай-ақ тыңайтқыш ретінде сапропельді пайдалану жөніндегі ғылыми-зерттеу қызметі қарастырылады. Авторлар сапропельді концентрацияланған экстракт түрінде қолданылатындығынан ерте ерекшеленетін тыңайтқыш ретінде пайдалануды ұсынады. Ауыл шаруашылығында көлдердің органикалық ресурстарын пайдалану тақырыбы бойынша, ауыл шаруашылығы өнімдерінің сапалық және сандық көрсеткіштерін арттыру үшін ғылыми зерттеулер м. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университетінің базасында өткізілді. М. Қозыбаев. Сапропельді қолдану арқылы эксперимент нәтижелері ұсынылды, оның оң әсері туралы қорытынды жасалды.*

P.S. Dmitriev, T.N. Lyssakova, I.A Fomin, A.V. Nesterenko

## **PROSPECTS FOR THE USE OF SAPROPEL EXTRACT TO INCREASE CROP YIELDS**

**Key words:** fertility, soil, organic fertilizers, sapropel, yield increase, organic farming, organomineral accumulations of lakes.

*This article discusses the possibility of using organic fertilizers based on local resources of lakes to increase crop yields, as well as research activities on the use of sapropel as fertilizers. The authors propose the use of sapropel as a fertilizer, which differs from the earlier one in that it will be used as a concentrated extract. Scientific research on the use of organic resources of lakes in agriculture, to improve the quality and quantity of agricultural products, conducted based on the North Kazakhstan state University named After M. Kozybayev. The results of the experiment with the use of sapropel are presented; conclusions about its positive effect are made.*

УДК 551.463:551.465

Канд. геогр. наук  
PhD

А.Ф. Елтай<sup>1,2</sup>  
Н.И. Ивкина<sup>2</sup>  
К.Т. Нарбаева<sup>1</sup>

## ЯВЛЕНИЕ АПВЕЛЛИНГА У КАЗАХСТАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЯ

**Ключевые слова:** апвеллинг, казахстанское побережье, Каспийское море, аномалия температуры, температура воды, направление ветра

*В статье приводятся результаты сравнительного анализа случаев апвеллинга в районе Форт-Шевченко и Актау по данным прибрежных наблюдений за период 1961...2018 гг. Выявлено, что апвеллинг у казахстанского побережья носит сезонный характер. Из 179 случаев апвеллинга 87,7 % наблюдались летом, а 6,7 % осенью.*

Явление, в результате которого водные массы с более низкой температурой и более высокой плотностью поднимаются на поверхность, называется апвеллингом. В основном оно характерно для западных побережий континентов, где ветры дуют параллельно берегу, и вода, уносимая поверхностным течением, заменяется водой, поднимающейся с глубины [12].

Как показывают исследования, у западного и восточного берегов Каспийского моря апвеллинг проявляется часто. При его возникновении понижения температуры воды имеет широкий диапазон – от 2 °С до 10...15 °С. Как правило, это явление длится от 3 до 5...6 сут., после чего температура воды повышается до нормальных климатических значений. У восточного побережья моря повторяемость и продолжительность данного явления таковы, что вода не успевает прогреться до температуры, которую она имела до апвеллинга. Понижение температуры воды во время апвеллинга начинает преобладать над сезонным прогревом моря, что способствует образованию здесь сезонного апвеллинга [1, 2].

Изучению апвеллинга на Каспийском море и причин его возникновения посвящено достаточное количество работ. Исследователи Н.М. Книпович, С.Я. Щербак, В.Б. Штокман [8, 14, 13] в своих работах отмечают,

<sup>1</sup> КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> РГП «Казгидромет» НИЦ, г. Алматы, Казахстан

что сгонно-нагонные циркуляции являются причиной формирования подъема глубинных вод на поверхность моря. В 1960...1966 гг. появились статьи Г.П. Маянцева и Ю.А. Осянина [9], в которых они объясняли температурную аномалию у восточного побережья Среднего Каспия выходом подземных вод. Одним из аргументов против предположения о выходе грунтовых вод, стали факты обнаружения однородности солевого состава вод и другие гидрохимические особенности акватории моря у восточного побережья Среднего Каспия [11, 7]. В 1977 г. А.А. Керимовым и Н.Ц. Клевцовой была высказана гипотеза о связи температурных аномалий с внутренними волнами [6]. Работы Г.А. Монаховой и Г.А. Ахмедовой, подтверждают «синоптический» характер апвеллинга на Каспийском море [10].

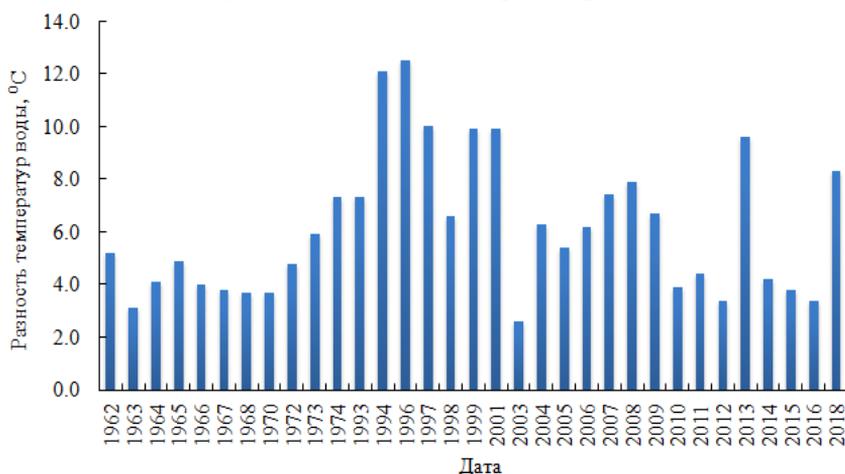
Основными материалами для анализа апвеллинга в прибрежной восточной части казахстанского сектора Каспийского моря послужили наблюдения на 2-х береговых гидрометеорологических станциях и постах, МГ-I Форт-Шевченко за период 1961...2018 гг. и МГ-II Актау 1980...2018 гг. На их основе создан «Каталог явлений апвеллинга», включающий в себя информацию о температуре воды и воздуха, уровня моря, скорости и направления ветра. Учитывая характер развития этих явлений в казахстанском секторе, было выделено две зоны. Первая зона примыкает к району Форт-Шевченко, расположенного на мысе Тюбкараган, является одним из центров развития рыбной промышленности. Вторая к району г. Актау, расположенного на Мангыстауском полуострове, где береговая линия с песчаными пляжами в прибрежной зоне создаёт хорошие условия для развития туризма.

Для оценки интенсивности апвеллинга использована разность между температурой воды в последние сутки до его наступления и минимальной температурой, зафиксированной во время апвеллинга. В результате исследования было выявлено 179 случаев, из которых 62 приходится на первую зону и 117 на вторую.

Анализ данных наблюдений за уровнем моря и температурой воды, показал, что только 18 % случаев апвеллинга могли быть образованы под влиянием сгонно-нагонных процессов на море. У Форт-Шевченко, в 5-ти случаях, апвеллинг наблюдался в период сгонно-нагонных явлений, при колебаниях уровня моря больше 15 см (21.08.1970 г. – повышение уровня на 20 см, 17.08.2004 г. – падение уровня на 15 см, 10-11.06.2009 г., 28.07.2011 г., 18.08.2015 г. – подъемы уровня на 16, 23, 17 см соответственно), и 17

случаев когда изменения уровня моря были немногим больше 10 см. В Актау только в 4 случаях наблюдались изменения уровня моря более чем на 15 см из-за сгонно-нагонных явлений: 10-12.07.1980 г., 02- 03.06.2008 г., 24.06.2014 г. – подъем уровня на 16, 19 и 17 см соответственно, 26.07.2017 г. – падение на 16 см. Колебания уровня моря на 10 см и более при апвеллинге наблюдалось в 15 случаях.

Сравнительный анализ падения температур воды, показал, что апвеллинг наиболее интенсивно проявляется в районе Форт-Шевченко и разность температуры воды может превышать 12 °С (рис. 1). В среднем понижение температуры воды в результате апвеллинга в районе Форт-Шевченко составляет 6,1°С, а в районе Актау – 5,4°С [3, 4, 5].



*Рис. 1. Максимальное падение температур воды в результате апвеллинга в районе Форт-Шевченко по годам.*

Примером апвеллинга, который произошел за последние 10 лет у Форт-Шевченко, является понижение температуры воды 3...6 сентября 2013 г. на 9,6 °С (рис. 2), под воздействием устойчивого ветра со скоростью 6 м/с и направлением на север.

Еще один характерный пример апвеллинга был в период 24...27 июня 2018 г., при ветре со скоростью 5 м/с и направлением на север, температура воды снизилась на 8,3 °С.

Во второй зоне исследования, в районе Актау, в 55% (или 65 случаев) апвеллинга аномалии температуры воды не превышали 4 °С. Максимальное падение температуры воды было зарегистрировано 12...13 июня 1980 г., которое составило 7,6 °С (рис. 3).

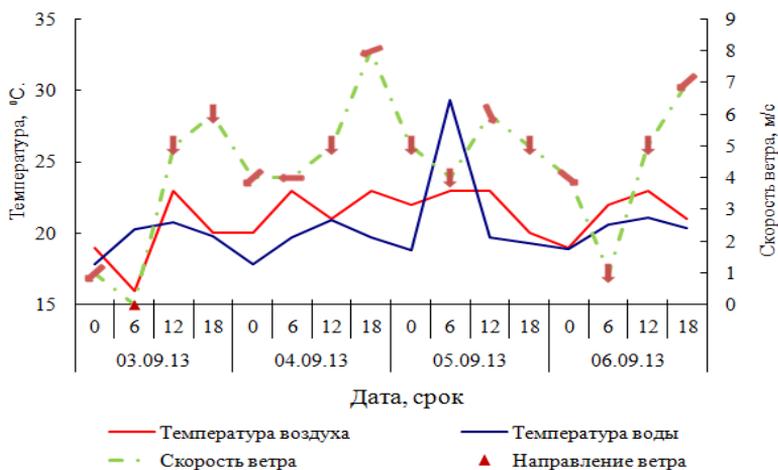


Рис.2. График совмещённого хода срочных значений температуры воздуха и воды, скорости и направления ветра по Форт-Шевченко в период 03...06.09. 2013 г.

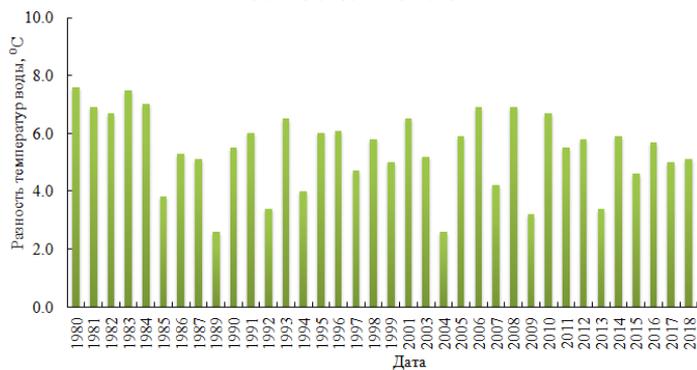
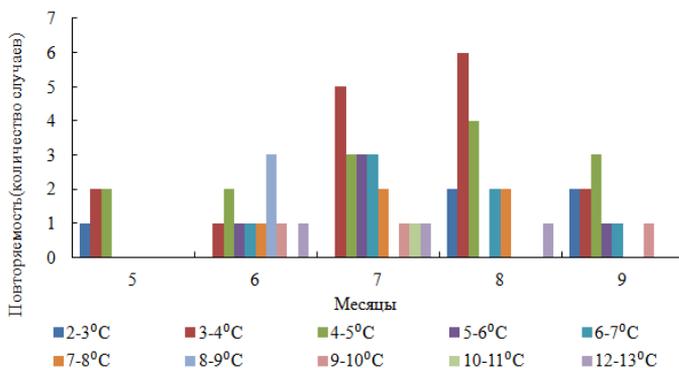


Рис. 3. Максимальное падение температур воды в результате явления апвеллинга в районе Актау по годам.

Характерным примером апвеллинга в районе Актау является случай, зафиксированный 18...21 июня 2010 г. В течение 3х дней температура воды понизилась на 6,7 °C. График хода, показал, что в этот период преобладало северное направление, при скорости ветра до 9 м/с.

Одним из классических примеров апвеллинга, является ситуация 23...26 июня 2014 г., когда после продолжительного действия (около суток) сильного северного ветра (8...11 м/с) теплые поверхностные слои морской воды (20...22 °C) были вынесены в открытое море, а непосредственно у берега температура поверхностного слоя воды понизилась на 5,9 °C.

Результаты анализа повторяемости термических аномалий, рассчитанных по данным гидрометеорологических наблюдений у Форт-Шевченко, показывают, что частота прибрежного апвеллинга невелика. Всего за период 1961...2018 гг. у Форт-Шевченко наблюдалось 21 случай отрицательных аномалий температуры воды, превышавших по абсолютному значению 3 °С. Аномалии же, превышавшие по абсолютному значению 5, 7, 9 и 12 °С, наблюдались соответственно в 19, 12, 6 и 4-х случаях. Причем, судя по гистограммам повторяемостей (рис. 4), прибрежный апвеллинг имеет место главным образом в июле и августе. Апвеллинг, сопровождающийся экстремальными отрицательными аномалиями (превышающими по абсолютной величине 8 °С), наблюдался только в 10-ти случаях: 5 случая в июне, 3 – в июле и лишь два случая имели место в конце лета – начале осени, в августе 1994 г. и в сентябре 2013 г.



*Рис. 4. Повторяемость отрицательных аномалий температур воды в районе Форт-Шевченко за период 1961...2018 гг.*

В районе Актау наблюдалось 65 случаев отрицательных аномалий температуры воды, превышавших по абсолютному значению 3 °С. Количество случаев превышения по абсолютному значению 5 и 7 °С, наблюдались соответственно в 36 и 17 случаях. Как видно из графика (рис. 5), апвеллинг вдоль срединной части восточного берега Каспийского моря, имеет место в июне и июле. Максимальные падения температур в период наблюдений превышали 7 °С в 5-ти случаях: 2 – в июне, 3 – в июле.

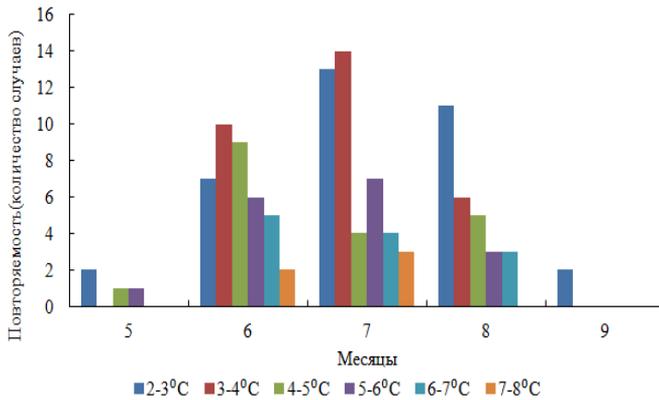


Рис. 5. Повторяемость отрицательных аномалий температур воды в районе Актау за период 1980...2018 гг.

Необходимо отметить, что явления апвеллинга в казахстанской части Каспийского моря могут наблюдаться в течение всего теплого периода (рис. 6). Продолжительность явления не превышает нескольких суток. Частота данного явления, как правило, 2...3 случая в среднем за год в каждой зоне.

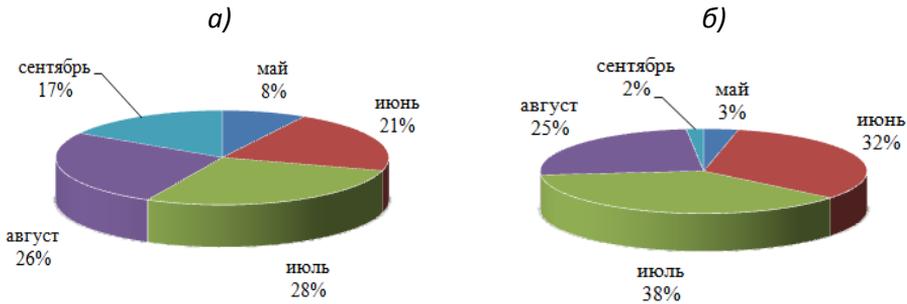


Рис. 6. Повторяемость случаев с явлением апвеллинга в течение теплого сезона в районе а) Форт-Шевченко, б) Актау.

Причем, для районов исследования наиболее активным является июль, 28 % в первой зоне и 38 % во второй. Возникновение этих явлений в первой зоне связано с эффективными ветрами, которыми являются ветры восточной четверти: северо-восточные и юго-восточные (рис. 7, а). Во второй же зоне эффективными ветрами являются, северо-восточные, северо-западные и западные направления ветра (рис. 7, б).

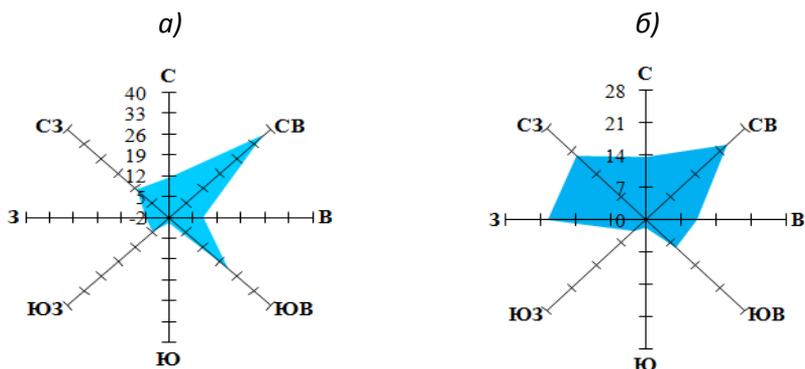


Рис. 7. Преобладающее направление ветра при возникновении явлений апвеллинга в районе а) Форт-Шевченко, б) Актау.

Таким образом, у казахстанского побережья Среднего Каспия апвеллинг имеет сезонный характер, обусловленный западными, северо-западными, северо-восточными и юго-восточными ветрами. Прибрежный апвеллинг может наблюдаться в течение всего теплого периода, но наиболее часто в июне-июле. Наиболее часто явление апвеллинга наблюдается во второй зоне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В.С. Гидрология прибрежного апвеллинга Черного и Каспийского морей. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – М., 1996. – 22 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 6. Каспийское море. Вып. 1. / Под ред. Ф.С. Терзиева, А.Н. Косарева, А.А. Керимова. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – С. 358-359.
3. Ивкина Н.И., Соколова Л.М. Температурный режим морской воды в районе порта Баутино // Гидрометеорология и экология. – 2007. – №2. – С. 66-72.
4. Ивкина Н.И., Соколова Л.М., Кожухметова Л.К. Режим температуры воды в районе порта Актау // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №2. – С. 58-65.
5. Ивкина Н.И. Особенности прибрежного апвеллинга в восточной части Среднего Каспия // Гидрометеорология и экология. – 2012. – №2. – С. 81-88.
6. Керимов А.А., Клевцова Н.Ц. Аномалия температуры воды и внутренние волны в Среднем Каспии // Тр. ЗаКНИИГМИ. – 1977. – Вып. 70. – С. 53-63.

7. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М: Изд-во МГУ, 1975. – С. 174-194.
8. Косарев А.Н. Структура вод и условия формирования биологической продуктивности Среднего и Южного Каспия // Водные ресурсы. – 1980. – № 3. – С. 26-36.
9. Маянцев Г.П., Осянин Ю.А. О подземном стоке с Мангышлака в Каспийское море // Океанология. – 1965. – Т. 5. – Вып. 5. – С. 854-855.
10. Монахова Г.А., Ахмедова Г.А. Подъем глубинных вод у западного побережья Среднего Каспия // Научный журнал КубГАУ. – №63(09). – 2010. – С. 334-345.
11. Семенов Ю.Л. Температурный режим и распределение кислорода, активной реакции (рН) и солености в восточной части Среднего Каспия // Матер. 3-й межобласт. научно-практич. конф. по охране природных ресурсов Северного Кавказа. Махачкала, 1975. – С. 109-111.
12. Снакин В.В. Экология и охрана природы. Словарь-справочник. – Москва: Academia, 2000. – 384 с.
13. Штокман В.Б. О циркуляции, возбуждаемой ветром в глубоководных частях Каспийского моря // Метеорология и гидрология. –1947. – № 2. – С. 42-50.
14. Щербак С.Я. Температура воды на поверхности в средней и южной частях Каспийского моря // Труды по комплексному изучению Каспийского моря. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – С. 66-69.

Поступила 11.11.2019

А.Ф. Елтай  
Геогр. ғылым. канд. Н.И. Ивкина  
PhD К.Т. Нарбаева

## КАСПИЙДІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ЖАҒАЛАУЫНДАҒЫ АПВЕЛЛИНГ

**Түйін сөздер:** апвеллинг, Қазақстан жағалауы, Каспий теңізі, температурасы аномалиясы, су температурасы, желдің бағыты

*Мақалада Форт-Шевченко және Ақтау аудандарындағы 1961...2018 ж.ж. аралығындағы жағажайлық бақылаулар бойынша апвеллинг жағдайларының салыстырмалы талдау нәтижелері келтірілген. Қазақстандық жағалаулардағы апвеллинг құбылысы маусымдық сипатқа ие екендігі анықталды. Апвеллингтің 179 жағдайдың 87,7 % -ы жазда, 6,7 % -ы күзде байқалды.*

A.G. Yeltay, N.I. Ivkina, K.T. Narbayeva

## UPWELLING AT THE KAZAKHSTAN COAST OF THE CASPIAN SEA

**Key words:** upwelling, Kazakhstan coast, Caspian Sea, temperature anomaly, water temperature, wind direction

*The article presents the results of a comparative analysis of upwelling in the Fort Shevchenko and Aktau areas according to coastal observations for the period 1961...2018. It was revealed that upwelling off the Kazakhstan coast is seasonal. Of the 179 cases of upwelling, 87,7 % were observed in the summer, and 6,7 % in the autumn.*

---

УДК 556.3.013; 556.3.072

А.А. Болатова<sup>1,2</sup>  
Т.А. Тілләкәрім<sup>1,2</sup>  
М.Н. Раимжанова<sup>1</sup>

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ HBV ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА РЕК НА ПРИМЕРЕ БОКОВОГО ПРИТОКА ВОДЫ В ШУЛЬБИНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**Ключевые слова:** гидрологическое моделирование, концептуальная модель HBV, калибрование, весеннее половодье, краткосрочный прогноз стока, Шульбинское водохранилище

*В данной статье рассматривается возможность применения концептуальной гидрологической модели HBV при составлении краткосрочного прогноза стока рек, на примере бокового притока воды в Шульбинское водохранилище. В связи с изменениями погодноклиматических условий, а также антропогенного влияния на окружающую среду, методики расчета и прогноза притока воды, разработанные в прошлом столетии в научно-методическом отношении, устарели. Составление краткосрочного прогноза притока воды в Шульбинское водохранилище с помощью численных методов прогнозирования является важным фактором повышения эффективности управления водохозяйственными системами. Приведены краткое описание модели, входные гидрометеорологические данные и данные цифровой модели рельефа, а также данные ледниковых составляющих и их обработка с помощью информационной платформы ArcGIS. Калибрация модели была произведена за период 1978...2018 г.г., выбраны периоды с наилучшими результатами калибрования стока рек Оба и Ульби. В качестве оценки эффективности модели используется критерий Нэша-Сатклиффа. В результате подбора наилучших параметров эффективность моделей для рек составила 0,908...0,922 соответственно. Результаты краткосрочного прогноза стока с использованием численного моделирования с заблаговременностью*

---

<sup>1</sup> КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан.

<sup>2</sup> Казгидромет, г. Алматы, Казахстан.

*на 1, 3 и 7 суток характеризуются хорошими показателями оправдываемости прогнозов. При прогнозировании стока на 1 сутки оправдываемость прогнозов составила 81 %, 3 суток – 80 , 7 суток – 77 %.*

**Введение.** Прогнозирование речного стока является одной из мер, используемых в управлении водными ресурсами для решения проблем неопределенности климата, а также в управлении водопользованием, в том числе гидроэнергетика, водоснабжение, орошение, судоходство, борьба с наводнениями и охрана окружающей среды, зависящих от количества воды в речных системах [26]. Прогнозирование паводков, вследствие таяния снежного покрова и льда в реках весной; по причине сильных осадков и волновых явлений в районах вдоль побережья и устьев рек [17], является сложной областью оперативной гидрологии. Прогнозы речного стока могут быть произведены в краткосрочном периоде – в течение нескольких часов или нескольких дней и в долгосрочном периоде – до девяти месяцев [10]. Обычно краткосрочные прогнозы стока используются для управления рисками наводнений и при эффективной системе заблаговременного оповещения могут значительно повысить общественную безопасность, уменьшить социальный ущерб и сократить экономические потери [17, 22].

Для исследования гидрологических процессов используются стандартные инструменты – модели дождевого стока, которые используются для моделирования как изученных, так и неизученных водосборов, помогают в прогнозировании паводков, надлежащем управлении водными ресурсами и оценке качества воды, эрозии и седиментации, циркуляции питательных веществ и пестицидов, землепользовании и изменении климата и т. д. [9]. Гидрологические модели являясь важным и необходимым инструментом для управления водными и природными ресурсами на сегодняшний день исчисляются многими десятками – от простейших точечных до распределенных, с сотнями пространственных элементов и десятками параметров в каждом [3]. В работе [15] приведены технические обзоры крупномасштабных гидрологических моделей для внедрения в оперативные схемы прогнозирования паводков на континентальном уровне. Используемая концептуальная модель HBV описана [27, 11, 21] и широко применяется при моделировании гидрологических процессов [23, 14, 19, 24].

В Казахстане наводнения представляют значительную угрозу для части населения, проживающего на берегах крупных рек, таких как Иртыш,

Урал, Тобол, Ишим и др. Во время весеннего таяния снега объем стока в этих реках увеличивается, иногда более чем в 1000 раз, часто выходя из берегов и затапливая большие территории [20]. Данные о притоке воды к водохранилищам необходимы для эффективного управления ущербом от наводнений [16], таким образом целью данного исследования является составление краткосрочных прогнозов стока с использованием гидрологической модели HBV на примере рек Оба и Ульби, составляющих боковой приток Шульбинского водохранилища.

**Область исследования.** Шульбинское водохранилище является одним из крупных водохранилищ Иртышского каскада, емкость которых составляет 52,7 км<sup>3</sup> комплексного назначения. Общий объем составляет 2390 млн. м<sup>3</sup>, площадь 255 га. Шульбинское водохранилище введено в эксплуатацию в 1988 г. Главными притоками водохранилища являются реки Оба и Ульби (рис. 1). Гидроузел осуществляет неполное сезонное регулирование стока боковой проточности ниже плотины Бухтарминской ГЭС при природоохранных весенних попусках и при прохождении летне-осенних паводков. Режим водохранилища – полностью искусственный, исключая период попусков рек Оба и Ульби в период паводков. В апреле – мае водохранилище сбрасывается более чем на половину, чем обеспечивает орошение поймы Иртыша. При сбросе максимального расхода очень редкой повторяемости (0,01 %) при горизонте форсировки возможный расход составляет 8770 м<sup>3</sup>/с. В состав сооружений Шульбинского гидроузла входят здание ГЭС с шестью агрегатами общей мощностью 702 МВт, земляная русловая плотина высотой 36 м и судоходный шлюз [4].

Водный режим р. Иртыш в районе Шульбинского водохранилища в основном определяется особенностями стока в верхней части реки, сильно зарегулированного Бухтарминским и Усть-Каменогорским водохранилищами, и стока правобережных притоков Ульби, Оба, Шульбинка и др., питающихся за счет таяния горных снегов и выпадающих дождей. Бассейны рек Оба и Ульби составляют 75 % площади правобережной части бассейна р. Иртыш на участке между Усть-Каменогорским и Шульбинским водохранилищами. Важной фазой гидрологического режима рек Оба и Ульби, необходимой для оценки их водности в весенний период, является вскрытие. Начало ледохода на этих реках наблюдается в среднем во второй декаде апреля. Даты поздних сроков вскрытия совпадают со средней датой начала расчетных попусков воды из Бухтарминского водохранилища. Весеннее половодье начинается обычно через 5...8 сут. после наступления устойчивого

перехода среднесуточных температур воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к положительным значениям. Переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  происходит, как правило, во второй декаде марта. Максимальные уровни и расходы воды в период весеннего половодья обычно наблюдаются в конце апреля – начале мая и продолжаются 1...2 сут. Конец половодья на реках Оба и Ульби происходит в весенне-летние (апрель-сентябрь) месяцы. Зимний сток имеет почти постоянную величину и составляет 5...9 % годового стока. Сток весеннего половодья рек Оба и Ульби используется для осуществления специализированных попусков с целью затопления поймы р. Иртыш ниже с. Шульба. Дата начала попусков соответствует дате наибольшего расхода за половодье, обеспеченного в течение 18 сут. [8].

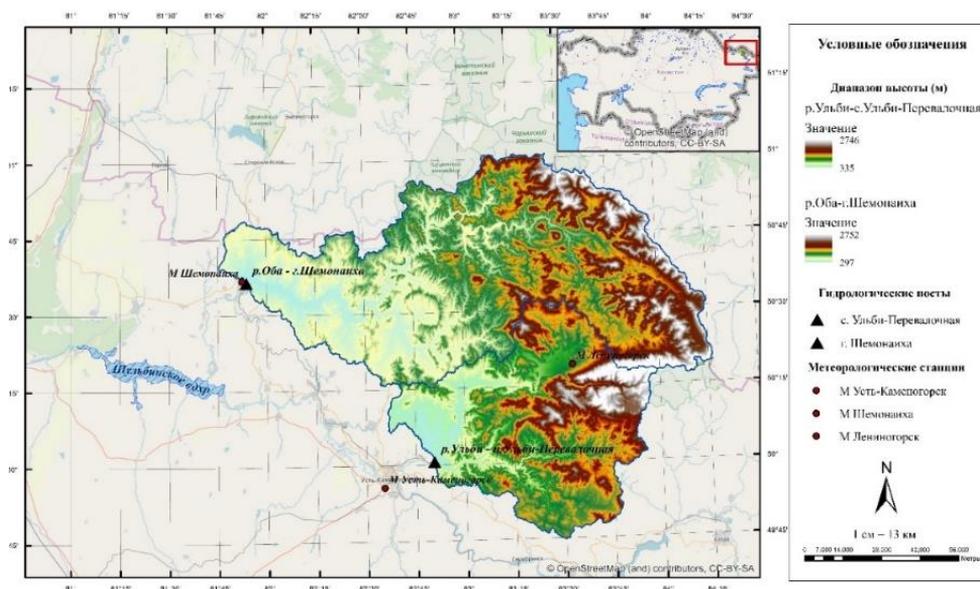


Рис. 1. Высотная карта р. Оба – г. Шемонаиха и р. Ульби – с. Ульби-Перевалочная.

**Материалы и методы исследования.** Математическое моделирование процессов формирования речного стока образует базовый исследовательский и инженерный инструментарий современной гидрологии. На сегодняшний день существует большое количество моделей для речных водосборов с различной степенью сложности, от простых в основе которых лежат простые эмпирические формулы до сложных математических моделей, представляющих все этапы водного баланса речного бассейна [25]. В настоящее время для моделирования стока рек разработано

и используется множество методов, в особенности модели, основанные на гидролого-геологических процессах.

В данной работе для прогнозирования стока использовалась гидрологическая концептуальная модель HBV [11]. Важнейшими задачами моделирования являются повышение эффективности их функционирования, в связи с этим для оценки эффективности модели, т.е. взаимосвязь смоделированного и фактического значений используется критерий Нэша-Сатклиффа [18], который варьируется от  $-\infty$  до  $+1.0$ , где  $1.0$  является наилучшим показателем:

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}, \quad (1)$$

где  $Q_{obs}$  – наблюдаемый расход воды,  $м^3/с$ ;  $Q_{sim}$  – смоделированный расход воды,  $м^3/с$ .

Моделирование гидрографа стока производилось по фактическим данным о среднесуточных температурах и суточных сумм осадков до даты выпуска прогноза и по прогнозируемым величинами этих метеорологических элементов на период заблаговременности прогноза. Расходы воды на каждые сутки прогнозируемого периода, по рассчитанному таким образом гидрографу, принимались в качестве ожидаемых. Такая процедура составления прогнозов повторялась ежедневно, что позволяло уточнять выпущенные прогнозы в предыдущие сутки. Заблаговременность прогнозов в принципе может быть любой.

**Модель HBV.** Модель HBV [21] классифицируется как полураспределенная концептуальная модель. Модель разработана в Шведском метеорологическом и гидрологическом институте (SMHI) [11]. В качестве первичных гидрологических единиц используется суббассейны и их распределение по высотным зонам. Модель состоит из трех основных компонентов [21]:

- подпрограмма для накопления и таяния снега;
- подпрограмма для учета влажности почвы;
- ответные и речные подпрограммы.

Модель включает ряд процедур (рис. 2): накопление и таяние снега, расчет почвенной влаги, учет подземных вод, расчет гидрографа стока [13].



Рис. 2. Структура модели HBV [12].

Модель HBV моделирует среднесуточный сток используя в качестве входных данных средневзвешанные осадки, температуру воздуха и потенциальное испарение. Основными выходными данными модели являются расходы воды на каждом водосборном участке. Формула (2) общего водного баланса может быть описана как [14]:

$$P-E-Q=d [SP+SM+UZ+LZ+lakes]/dt, \quad (2)$$

где P – осадки, E – испарение, Q – сток, SP- снежный покров, SM - влажность почвы, UZ - верхняя зона грунтовых вод, LZ - нижняя зона грунтовых вод, lakes – объем озера.

**Результаты исследования.** Объектом исследования данной работы является Шульбинское водохранилище, боковой приток которого составляют реки Оба и Ульби. Калибровка модели HBV для рек Оба – г. Шемонаиха и Ульби – с. Ульби-Перевалочная производилась за период 1978...2018 гг. Из множества вариантов калибровки были выбраны годы с наилучшими результатами. Подробное описание калибровки модели и подобранные параметры приведены в работе [1].

**Входные данные.** В качестве входных данных модель использует данные цифровой модели рельефа (ЦМР), классифицируемые по высоте с помощью Геоинформационной системы (ГИС). Для подготовки ЦМР использовались трехмерные снимки SRTM (Shuttle radar topography mission) с разрешением 30 x 30 м, полученные из официального сайта Геологической службы США [6]. Бассейны были построены в проекционной системе координат WGS\_1984\_UTM\_Zone\_44N. Последующая обработка

трехмерного снимка производилось в модуле ESRI ArcGIS Desktop. На основе данных SRTM подготовлены высотные карты бассейнов рек Оба и Ульби (рис. 1). Проведен анализ рельефа каждого бассейна (направление потока, локальное понижение, заполнение, общий суммарный сток, идентификация, порядок водотоков, привязка точек устьев), классификация площади бассейнов по высотным зонам и выделены склоны различных экспозиций. А также использовались данные ледников, полигоны которых получены из официального сайта GLIMS: глобального измерения сухопутного льда из космоса [7].

При процессе калибрования параметров в модель необходимо внести исходные данные: среднесуточная температура воздуха, сумма осадков, испарение и среднесуточный расход воды [11]. Для расчета испаряемости в данной работе использовалось уравнение Н.Н. Иванова [3]:

$$E_0 = 0.0018(T + 25)^2(100 - r) \quad (3)$$

где  $T$  – среднемесячная температура,  $r$  – среднемесячная относительная влажность воздуха.

В качестве входных данных в модель закладываются среднесуточные расходы воды [5] и значения средней температуры воздуха, суммы осадков с дневным шагом. Для прогнозирования стока на исследуемых реках были использованы синоптические данные ГМЦ РГП «Казгидромет» с заблаговременностью 7 сут.

Важным фактором при калибровании параметров гидрологической модели является правильный выбор метеорологических станций, данные которых наиболее точно отражают режим стока реки. Для возможности калибрования параметров модели необходимо иметь однородный ряд с гидрометеорологическими данными без пропусков, с исключением ошибок, чтобы получить набор параметров, описывающих гидрологический режим исследуемой реки.

**Результаты и обсуждение.** *Река Оба.* В программном средстве ArcGIS определены: площадь водосборной области р. Оба – г. Шемонаиха 8552 км<sup>2</sup>, высотный диапазон водосборной области варьируется в пределах от 297 до 2752 м. Для исследуемой территории использовались метеорологические данные М Лениногорск и Шемонаиха, средняя высота которых составляет 559 м н.у.м. (табл. 1). На рис. 3 представлены графики результата калибрования среднесуточных (рис. 3а) и среднемесячных (рис. 3б) расходов воды для р. Оба – г. Шемонаиха.

Таблица 1

Характеристики водосбора и результаты калибрования рек Оба и Ульби

Характеристики	Река-пункт	
	р.Оба- г.Шемонаиха	р.Ульби-с.Ульби- Перевалочная
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	8552	4931
Диапазон высот водосбора, м	297...2752	335...2746
Метеостанции (М)	Лениногорск, Шемонаиха	Лениногорск, Усть- Каменогорск
Средняя высота М, м н.у.м.*	559	547
Период калибровки, г.г.	2002...2005	1986...1990
Эффективность модели (NSE)	0,908	0,922
Коэффициент корреляции	0,947	0,963

*Примечание:* \* - для запуска модели применяется средняя высота используемых метеорологических станции.

Согласно графику связи моделированного и фактического стока (рис. 4), можно сделать вывод, что корреляционная связь тесная, так как  $R^2=0,918$ .

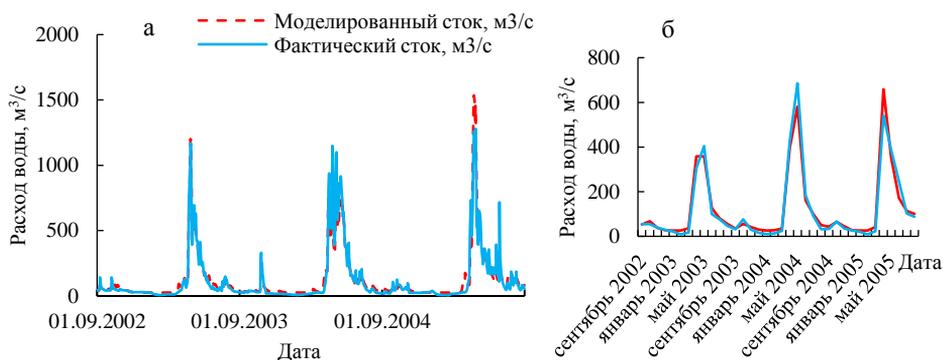


Рис. 3. Результаты калибрования среднесуточных (а) и среднемесячных расходов воды (б) р. Оба – г. Шемонаиха.

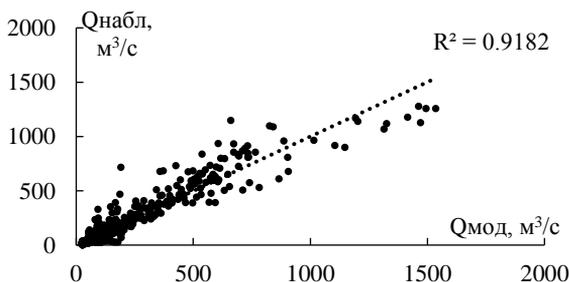


Рис. 4. Связь моделированного и фактического стока р. Оба – г. Шемонаиха.

Наилучшая согласованность наблюдаемого стока с моделированным для р. Оба – г. Шемонаиха наблюдается в период 2002 по 2005 гг. и эффективность модели, рассчитанная критерием Нэша-Сатклиффа [18], составляет 0,908. Коэффициент корреляционной связи смоделированного и наблюдаемого стока составил  $r=0,947$  (табл. 1).

*Река Ульби.* Площадь водосборной области р. Ульби–с. Ульби-Перевалочная 4931 км<sup>2</sup>, высотный диапазон водосборной области варьируется в пределах от 335 до 2746 м. Для исследуемой территории использовались метеорологические данные М Лениногорск и Усть-Каменогорск, средняя высота которых составляет 547 м н.у.м. (табл. 1).

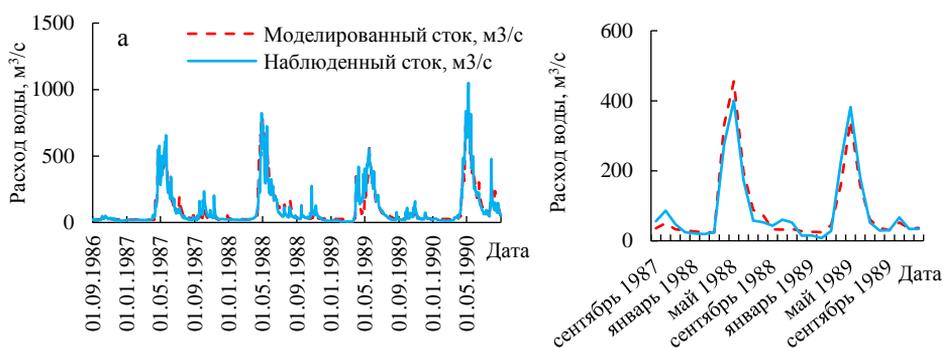


Рис. 5. Результаты калибрования (а) и среднемесячные расходы моделированного и фактического расхода воды (б) р. Ульби – с.Ульби-Перевалочная.

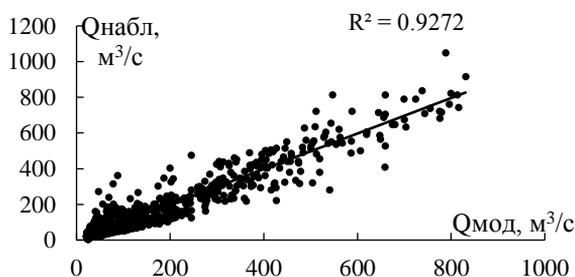


Рис. 6. Связь моделированного и фактического стока р. Ульби – с.Ульби-Перевалочная.

Для р. Ульби –с. Ульби-Перевалочная наилучшая согласованность наблюдаемого стока с моделированным наблюдается в период 1986 по 1990 гг., а эффективность модели составляет 0,922. Коэффициент корреляционной связи смоделированного и наблюдаемого стока составил  $r=0,963$  (табл.

1). На рис. 5 представлены графики результата калибрования среднесуточных (рис. 5а) и среднемесячных (рис. 5б) расходов воды для р. Ульби–г. Ульби-Перевалочная. Согласно графику связи моделированного и фактического стока (рис. 6) наблюдается тесная корреляционная связь.

Результаты работ по прогнозированию стока бокового притока в Шульбинское водохранилище с заблаговременностью 1 сут., проведенные в период 28 марта по 26 апреля 2018 г. показывают, что оправдываемость прогнозов варьируются в пределах от 63 до 100 %, составляя в среднем 81 % (табл. 2, рис. 7).

Таблица 2

Результаты рассчитанного и фактического стока в период 28 марта по 26 апреля с заблаговременностью 1 сутки

Прогнозируемая дата	Рассчитанный сток, м <sup>3</sup> /с	Фактический сток, м <sup>3</sup> /с	Разница между фактическим и рассчитанным	P, %
28 марта	357	398	41	90
29 марта	316	406	90	78
30 марта	575	496	-79	86
31 марта	507	716	209	71
3 апреля	749	591	-158	79
4 апреля	586	377	-209	64
5 апреля	369	299	-70	81
6 апреля	396	298	-98	75
7 апреля	479	401	-78	84
10 апреля	658	703	45	94
11 апреля	628	744	116	84
12 апреля	797	529	-268	66
13 апреля	730	441	-289	60
14 апреля	513	502	-11	98
17 апреля	892	977	85	91
18 апреля	899	960	61	94
19 апреля	929	801	-128	86
20 апреля	564	682	118	83
21 апреля	479	611	132	78
22 апреля	573	522	-51	91
23 апреля	982	618	-364	63
24 апреля	1382	951	-431	69
25 апреля	1159	1510	351	77
26 апреля	1443	1446	3	100

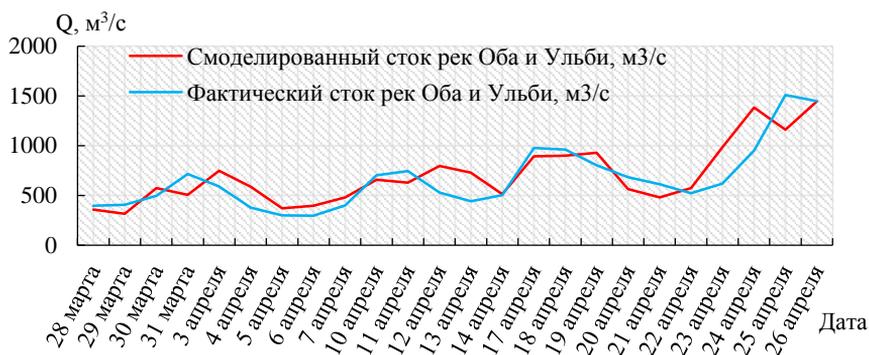


Рис. 7. Результаты прогнозирования притока в Шульбинское водохранилище (суммарный сток р.Ульби – с.Ульби-Перевалочная и р.Оба – г.Шемонаиха) с заблаговременностью 1 сутки.

Моделирование гидрографа стока с заблаговременностью 3 и 7 сут. производились следующим способом. Например, если прогноз составлялся 8-го марта на период до 10-го марта, то для расчета гидрографа объема до 7-го марта включительно использовались фактические температуры воздуха и осадки, а за период с 8 по 10 марта – прогнозируемые. Полученные результаты принимались в качестве ожидаемых.

На рис. 8(а) и рис. 8(б) и табл. 3-4 показаны результаты прогнозирования объема бокового притока в Шульбинское водохранилище с наблюдаемыми данными с заблаговременностью 3 и 7 сут. соответственно в период с марта по сентябрь 2018 г. По результатам работы модели оправдываемость объема воды на 3 сут. составила 80 %, а коэффициент корреляции между смоделированным и фактическим объемом воды составил 0,935.

Таблица 3

Результаты рассчитанного и фактического объема воды с заблаговременностью 3 суток.

Прогнозируемые даты (3 суток)	Расчитанный объем, млн.м <sup>3</sup>	Фактический объем, млн.м <sup>3</sup>	Факт - Расчитанный, млн.м <sup>3</sup>	P, %
8-10 марта	12,1	8,3	-3,8	69
15...17 марта	12,9	13,3	0,5	104
22...24 марта	121,1	32,8	-88,3	27
29...31 марта	99,2	139,3	40,1	71
5...7 апреля	105,7	86,2	-19,5	82
12...14 апреля	185,5	127,2	-58,3	69

Прогнозируемые даты (3 суток)	Рассчитанный объем, млн.м <sup>3</sup>	Фактический объем, млн.м <sup>3</sup>	Факт - Рассчитанный, млн.м <sup>3</sup>	P, %
18...20 апреля	127,1	211,1	84,0	60
25...27 апреля	356,1	356,1	-0,1	100
2...4 мая	295,6	335,1	39,5	88
9...11 мая	116,9	140,2	23,3	83
16...18 мая	115,5	134,8	19,3	86
24...25 мая	143,0	146,7	3,7	97
30 мая...1 июня	158,8	192,6	33,8	82
6...8 июня	115,3	188,6	73,3	61
13...15 июня	145,1	157,5	12,4	92
20...22 июня	70,6	115,9	45,3	61
27...29 июня	59,9	73,2	13,2	82
4...6 июля	46,6	54,4	7,8	86
11...13 июля	30,7	26,4	-4,3	86
18...20 июля	20,8	23,6	2,9	88
25-27 июля	20,5	25,6	5,1	80
1...3 августа	17,8	16,4	-1,4	92
8...10 августа	14,9	15,1	0,2	98
15...17 августа	21,3	21,2	-0,1	99
22...24 августа	20,3	15,2	-5,1	75
29...31 августа	20,6	15,3	-5,3	74

Таблица 4

Результаты рассчитанного и фактического объема воды с заблаговременностью 7 суток.

Прогнозируемые даты (7 суток)	Рассчитанный объем, млн.м <sup>3</sup>	Фактический объем, млн.м <sup>3</sup>	Факт – Рассчит., млн.м <sup>3</sup>	P, %
2...9 марта	28,3	18,7	-9,6	66
9...16 марта	51,4	25,5	-25,9	50
16...23 марта	56,3	42,1	-14,2	75
23...30 марта	299,8	185,5	-114,3	62
30 марта... 6 апреля	183,5	340,5	157,0	54
6...13 апреля	380,0	337,0	-43,0	89
13...20 апреля	609,9	495,2	-114,7	81
20...27 апреля	541,0	447,9	-93,1	83
27 апреля...4 мая	591,5	624,5	33,0	95
4...11 мая	363,7	411,7	48,0	88
11...18 мая	289,5	287,3	-2,2	99

Прогнозируемые даты (7 суток)	Рассчитанный объем, млн.м <sup>3</sup>	Фактический объем, млн.м <sup>3</sup>	Факт – Рассчит., млн.м <sup>3</sup>	P, %
18...25 мая	203,5	247,9	44,4	82
25 мая...1 июня	307,5	364,4	57,0	84
1...8 июня	316,7	462,7	146,0	68
8...15 июня	267,5	398,1	130,7	67
15...22 июня	96,9	175,7	78,8	55
22...29 июня	172,5	186,4	13,9	93
30 июня...6 июля	183,7	127,5	-56,2	69
6...13 июля	116,4	69,9	-46,5	60
14...20 июля	67,3	55,6	-11,7	83
21...27 июля	90,5	52,3	-38,2	58
27 июля...3 августа	47,7	42,6	-5,1	89
3...11 августа	45,5	39,5	-6,0	87
10...17 августа	53,1	46,6	-6,5	88
17...24 августа	44,3	37,0	-7,2	84
24...31 августа	42,7	36,8	-5,9	86

Согласно рис. 7(б) и табл. 4 результаты прогнозирования оправдываемости объёма воды с заблаговременностью 7 сут., показывают, что смоделированный объём воды хорошо воспроизводит фактический, составляя 77 %, а коэффициент корреляции между смоделированными и фактическими данными равен 0,925.

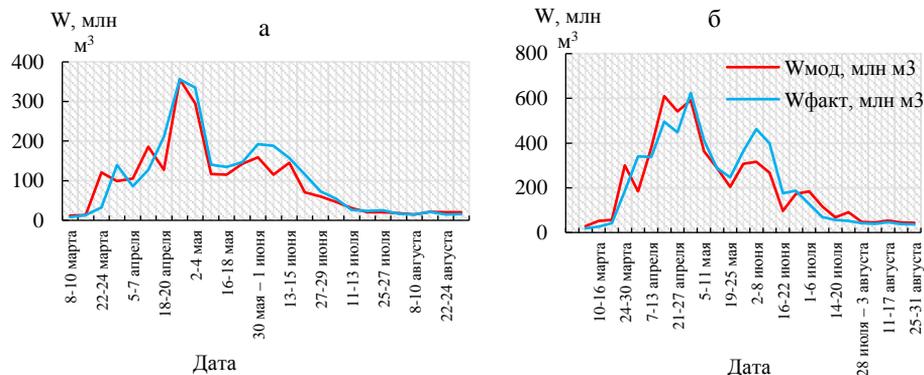


Рис. 8. Результаты прогнозирования притока в Шульбинское водохранилище (р.Ульби – с.Ульби-Перевалочная и р.Оба – г.Шемонаиха) с заблаговременностью на 3 суток (а) и на 7 суток(б).

Данное исследование показывает, что использование концептуальной модели HBV при составлении краткосрочного прогноза стока рек Оба и Ульби дает хорошие результаты. Данные модели

применимы при усовершенствовании методики составления краткосрочных прогнозов притока воды в Шульбинское водохранилище. Вследствие редкой сети метеорологических станций в исследуемой горной территории при калибровке модели возникли проблемы при подборе подходящих метеорологической станций, высоты которых не превышают 1000 м н.у.м. и отсутствием станций в зоне формирования стока, этим объясняются случаи низкой оправдываемости прогнозов.

**Заключение.** Авторами проведена работа по адаптации модели НВУ для рек Оба и Ульби. Эффективность модели составила 0,908...0,922. Модель хорошо воспроизводит динамику моделируемой величины и модельный ряд можно считать адекватным. Полученные параметры при калибровке модели рекомендуется использовать для прогнозирования, а также для восстановления стока р. Оба – г. Шемонаиха и р. Ульби – с. Ульби-Перевалочная.

Таким образом, проведено тестирование работы модели НВУ для прогнозирования объема воды, поступающего в Шульбинское водохранилище с заблаговременностью 1 сут. в период март – апрель и в период март – сентябрь 2018 г. с заблаговременностью 3 и 7 сут. При оценке оправдываемости прогнозирования стока средняя оправдываемость при заблаговременности 1 сут. составляет 81%, при заблаговременности 3 сут. – 80 %, при заблаговременности 7 сут. – 77 %. При практическом использовании модели рекомендуется ограничиваться составлением прогнозов стока с заблаговременностью 1...3 сут.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болатова А.А., Тіллэкәрім Т.А., М.Н. Раимжанова, Серікбай Н.Т., Багитова Б.Е., Болатов К.М. Результаты калибровки гидрологической модели НВУ для горных рек Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 3. – С. 110-124.
2. Браславский А.П. Нормы испарения с поверхности водохранилищ / А.П. Браславский, З.А. Викулина. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 212 с.
3. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 311 с.
4. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление, Т. VII, Кн. 1: Возобновляемые ресурсы поверхностных вод западного, северного, центрального и восточного Казахстана/ под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – 684 с.

5. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Бассейны рек Иртыш, Ишим и Тобол (верхнее течение), Вып. 1, Ч. 1, ГВК РК РГП «Казгидромет», 1978-2018.
6. Официальный сайт Геологической службы США. [Электрон. ресурс] URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 09.11.2017).
7. Официальный сайт GLIMS: глобального измерения сухопутного льда из космоса [Электрон. ресурс] URL: <https://www.glims.org/> (дата обращения: 10.11.2018).
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. – Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 318 с.
9. Gayathri K Devi, Ganasri B.P., Dwarakish G.S. A Review on Hydrological Models / International conference on water resources, Coastal and ocean engineering (ICWRCOE 2015), Aquatic Procedia. – № 4. – 2015.– P. 1001-1007.
10. Georgakakos P.K.; Hudlow, M.D., Quantitative Precipitation Forecast Techniques for use in Hydrological Forecasting // Bull. Am. Meteorol. Soc. – 1984. – № 65. – P.1186-1200.
11. Jan Seibert. HBV light version 2, User's Manual. Stockholm University, Department of Physical Geography and Quaternary Geology. – 2005. – 32 p.
12. Jan Seibert, M.J. Vis Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package // Hydrol. Earth System Sciences. – 2012. – № 16. – P. 3315–3325.
13. Jan Seibert. Multi-criteria calibration of conceptual runoff model using a genetic algorithm // Hydrology and Earth Sciences. – 2000. – № 4(2). – P. 215-224.
14. Jia Q.Y., Sun F.H. Modeling and forecasting process using the HBV model in Liao river delta / The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling, Environmental Sciences. – 2012. – № 8. – P. 122–128.
15. Kauffeldt A., Wetterhall F., Pappenberger F., Salamon P., Thielen J. Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level // Environmental Modelling & Software. – 2016. – № 75. – P. 68-76.
16. Kim N. W.; Jung Y.; Lee J. E. Spatial propagation of streamflow data in ungauged watersheds using a lumped conceptual model // Journal of Water and Climate Change. – 2018. – № 10 (1). – P. 89-101.
17. Merkuryeva G., Merkuryev Y., Boris V. Sokolov, Potryasaev S., Zelentsov Viacheslav A., Lektauers A. Advanced river flood monitoring, modelling

- and forecasting // *Journal of Computational Sciences*. – 2015. – № 10. – P.77-85p.
18. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models, part 1-a discussion of principles // *Journal of Hydrology*. – Amsterdam, 1970. – № 10. – P. 282-290.
  19. Reynolds J.E., Halldin S., Xu C.Y., Seibert J., Kauffeldt A. Sub-daily runoff predictions using parameters calibrated on the basis of data with a daily temporal resolution // *Journal of Hydrology*. – 2017. – № 550. – P. 399-411.
  20. Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G. Space monitoring of floods in Kazakhstan // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 2004. – Vol. 67, Issues 4–5, 3. – P. 365-370.
  21. Sten Bergström, 1992. The HBV model – its structure and applications SMHI RH, №4, April 1992. 35 p.
  22. Tucci C., Collischonn W. Flood forecasting // *WMO Bull.* – 2006. – № 55 (3). – P.179–184.
  23. Valent P., Szolgay J., Riverso C. Assessment of the uncertainties of a conceptual hydrologic model by using artificially generated flows // *Slovak journal of civil engineering*. – 2012. – Vol. XX. – № 4. – P. 35-43.
  24. Vormoor K., Heistermann M., Bronstert A., Lawrence D. Hydrological model parameter (in) stability – “crash testing” the HBV model under contrasting flood seasonality conditions // *Hydrological Sciences journal*. – 2018. – Vol. 63. – № 7. – P. 991–1007.
  25. WMO, 1986. Intercomparison of models of snowmelt runoff. Operational Hydrology. Report № 23. – 1986, WMO-№ 646. – 482 p.
  26. WMO, 2002. Carlos E.M. Tucci Flood flow forecasting, Institute of Hydraulic Research, Federal University of Rio Grande do Sul, 35 p.
  27. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, WMO № 168, Sixth edition, 2009. – 302 p.

Поступила 15.09.2019

А. А. Болатова  
Т. А. Тілләкәрім  
М. Н. Раимжанова

## НВУ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛІН ШҮЛБІ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ БҮЙІР САЛАСЫ МЫСАЛЫНДА ӨЗЕН АҒЫНДЫСЫН БОЛЖАУҒА ҚОЛДАНУ

**Түйін сөздер:** гидрологиялық модельдеу, НВУ концептуалды моделі, калибрлеу, көктемгі су тасу, ағындыны қысқа мерзімді болжау, Шүлбі су қоймасы

*Берілген мақалада өткен ғасырда құрастырылған Шүлбі су қоймасына келіп түсетін ағындының бүйір саласын болжау әдісі климаттың өзгеруімен байланысты ғылыми-әдістемелік тұрғыдан ескіргендіктен, НВУ концептуалды моделінің көмегімен болжау негіздері көрсетілген. Сонымен қатар, модельдің қысқаша сипаттамасы, қолданылатын гидрометеорологиялық мәліметтер мен беткейдің сандық моделінің ақпараттары, сонымен қатар мұздық құрауыштарының мәліметтері мен оларды ArcGIS ақпараттық платформасында өңдеу берілген. Модельдің тиімділігін есептеу үшін Нэш-Сатклиффтің критерийі қолданылған. Шүлбі су қоймасының бүйір салалары болып табылатын Оба және Үлбі өзендерінің ағындыларына 1978...2018 жж. кезеңіне модельдің калибрациясы жүргізіліп, көрсеткіші жоғары нәтижелі кезең таңдалды. Оңтайлы параметрлерді таңдау нәтижесінде модельдің тиімділігі, жоғарыда аталған өзендер үшін, сәйкесінше 0,908...0,922 құрады. Калибрация нәтижесінің параметрлерін қысқа мерзімді, 1, 3, 7 тәулікке, ағынды болжамына қолдану барысында сандық модельдеу жақсы нәтиже көрсетті. Ағындыны 1 тәулікке болжаудың ақталушылығы 81 %, 3 тәулікке – 80 %, 7 тәулікке – 77 % құрады. Оба және Үлбі өзендері ағындыларына болжамның сандық әдістерін қолданып, қысқа мерзімді болжам жасау су шаруашылық жүйелерін басқарудың тиімділігін арттыратын маңызды фактор болып табылады.*

A.A. Bolatova, T.A. Tillakarim, M.N. Raymzhanova

## **USING HYDROLOGICAL MODEL HBV FOR FORECASTING RIVER DISCHARGE ON THE EXAMPLE OF THE LATERAL WATER FLOW TO THE SHULBI RESERVOIR**

**Key words:** hydrological modelling, conceptual model HBV, calibration, spring flood, short-term runoff forecast, Shulbi reservoir

*The article shows short-term runoff forecasting with using hydrological model HBV on the example of the lateral water flow to the Shulbi reservoir that methods of measurements and forecasting water inflow, which developed in last century are outdated in scientifically and methodically due to changes in input parameters taking into account climate change. The article provides a brief description of the model, hydrometeorological input data and digital elevation model data, also given information about glacial components and their processing on the ArcGIS information platform. For calculating of model's efficiency, used the Nash-Sutcliffe Efficiency. The model was calibrated for the period 1978...2018 and were selected the periods with the best results of calibrating for runoff of the Oba and Ulbi rivers, which make up the total lateral tributary to the Shulbi reservoir. The calibration results of the selection of the best parameters the efficiency of the models amounted 0.908...0.922, respectively. The results of a short-term runoff forecast, with using calibration parameters, for a lead time of 1 day, 3 and 7 days, showed good indicators of forecasting quality. The forecast predictability for 1 day was 81 %, 3 day – 80 %, 7 day – 77 %. Preparation of a short-term forecast of runoff of the Oba and Ulbi rivers using numerical forecasting methods is an important factor in improving the management of water management systems.*

УДК 536.16

PhD  
PhDА.А. Нурбацина<sup>1</sup>  
Ю. Дидовец<sup>2</sup>  
А. Лобанова<sup>2</sup>**АДАПТАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SWIM ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА РАВНИННЫХ РЕК КАЗАХСТАНА  
ВО ВРЕМЯ ПАВОДКОВ/ПОЛОВОДЬЯ**

**Ключевые слова:** гидрологическая модель, моделирование стока, весеннее половодье, водосборная область, бассейны рек, объем воды, цифровая модель рельефа, гидротопы

*Произведена адаптация гидрологической модели SWIM для равнинных рек Казахстана. Дана оценка возможности применения модели в оперативной практике гидрологического прогнозирования, с заблаговременностью 3...7 дней. Результаты эффективности модели SWIM для равнинных рек показали, что модель хорошо воспроизводит динамику моделируемого стока с наблюдаемым, критерии Нэша-Сатклиффа составили 0,78...0,88.*

*Средняя оправдываемость гидрологических прогнозов во время паводков/половодья 2018 г., по 4-м равнинным рекам составила – 79 %.*

«Гидрологический прогноз — это предварительная оценка будущих характеристик гидрологического явления». Прогноз по гидрологической модели выполняется для участка реки в районе конкретного поста наблюдения, особенности которого используются при настройке модели, с помощью соответствующей базы данных. Периодичность критических аномалий выпадения осадков, либо резкое таяние снежного покрова при «дружности» весны, могут привести к формированию или слишком большого, или слишком маленького объема водных ресурсов, следствием которого являются наводнения или засухи [14].

По данным исследований, наводнения и засухи во многих регионах Центральной Азии становятся все более разрушительными. При том весенние и дождевые паводки, составляют около 30 % от общего числа бедствий

<sup>1</sup> Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет», Казахстан

<sup>2</sup> Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany

[17]. Паводковые наводнения на реках представляют собой опасное чрезвычайное бедствие, приносящее значительный природный и экономический ущерб. За последние 15 лет в Казахстане произошло более 300 наводнений различного происхождения, из них 70 % вызваны весенним половодьем [1, 3]. Причинами возрастания частоты наступления опасности наводнений являются: увеличение численности и плотности населения, проживающего на берегах рек, прокладка инфраструктурных (транспорт, энергия, связь, вода) объектов вдоль рек, зарегулированность рек и состояние гидротехнических сооружений, а также изменение климата, с которым связано увеличение аномалий среднегодовых температур воздуха и годовых сумм атмосферных осадков [3, 27, 8].

Адаптированная численная модель позволяет определять расход воды в реке на несколько дней вперед (в зависимости от заблаговременности прогнозных данных).

Качество любой модели базируется на качестве входных данных. Необходимые для гидрологического прогнозирования данные, можно разбить на группы: а) физико-географические; б) гидрологические; в) гидро-метеорологические. Данные географических информационных систем (ГИС) требуются, как для калибровки модели, так и для визуализации состояний модели и результатов моделирования. Данные включают различную информацию о подстилающей поверхности, такую как вид почвы, геологическое строение, растительность и высотные отметки цифровых моделей рельефа. Эффективность системы гидрологического прогнозирования будет зависеть от надежности и количества данных наблюдений и данных ГИС, применяемых для определения параметров.

В зависимости от наличия данных и по мере развития методов обработки гидрометеорологической информации, могут применяться различные типы гидрологических, гидрогеологических, гидравлических моделей, таких как концептуальная модель «Сакраменто» для казахстанского типа рек [10], HBV [22, 20] и HBV-96, распределенная модель WASA [23, 7], «Гидрограф» [2, 18], SWAT [12], GMS ModFlow [28, 29], DHI MIKE SHE, MIKE Hydro, MIKE 21 и MIKE 11 [21].

В 2018 г. в РГП «Казгидромет» произведены значимые изменения в разработке гидрологических прогнозов:

- Были созданы цифровые модели рельефа местности для определения объемов влагозапасов в млн. м<sup>3</sup> в бассейнах равнинных рек Казахстана.

- Производится адаптивное численное моделирование гидрологического прогнозирования, по незарегулированным стокам рек.
- Были созданы карты площадей покрытия снежным покровом (в %) бассейнов рек, при использовании космических снимков спутников NASA, EUMETSAT и ГИС-технологии.
- Филиалами Казгидромет и ДЧС осуществляются совместные маршрутные обследования для определения скопления снеготопивых запасов в оврагах, лощинах, лесопосадках, не учитываемые станциями гидрометеорологического мониторинга [13].

В настоящее время, в Научно-исследовательском центре РГП «Казгидромет», в режиме тестирования, была апробирована немецкая гидрологическая модель SWIM (Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany) [24].

**Объекты исследования.** Определение объектов исследования проводилось в соответствии с рекомендациями использования гидрологической модели SWIM, по следующим ключевым критериям:

- полнота данных, где входными параметрами являются гидрологические данные (среднесуточный расход) и климатические данные (средняя, максимальная и минимальная суточная температура воздуха, количество осадков, относительная влажность воздуха, солнечная радиация, средняя скорость ветра);

- незарегулированность или малая зарегулированность рек;

- рекомендованная площадь речного бассейна – от 1500 км<sup>2</sup> до 40 000 км<sup>2</sup>.

Для адаптации и тестирования модели были выбраны 4 равнинные реки: рр. Деркул и Шаган – реки Западно-Казахстанской области, р. Сарысу в Карагандинской области и р. Тобол в Костанайской области (рис. 1).

Река Деркул в бассейне р. Урал является крупнейшим притоком р. Шаган. Берет свое начало на возвышенности Общий Сырт. Длина реки – 176 км, площадь бассейна – 2250 км<sup>2</sup>. Река пересыхающая, имеет несколько небольших притоков [6]. Река Шаган – правый приток р. Урал. Длина реки 264 км, площадь водосборного бассейна – 7530 км<sup>2</sup> [4]. Многоводна только в весеннее время, образует довольно большие разливы. Река Сарысу берёт начало с Казахского мелкосопочника, образуется слиянием рек Жаксы-Сарысу, Нарбак, Шотан. Длина Сарысу меняется в зависимости от половодья от 800 до 761 км. Площадь бассейна составляет 81 600 км<sup>2</sup> [19].

Река Тобол левый и самый многоводный приток Ертиса. Длина реки – 1591 км, площадь водосборного бассейна – 426 000 км<sup>2</sup>. Образуется р. Тобол при слиянии реки Бозбие с рекой Кокпектысай на границе восточных отрогов Южного Урала и Тургайского плато [5].

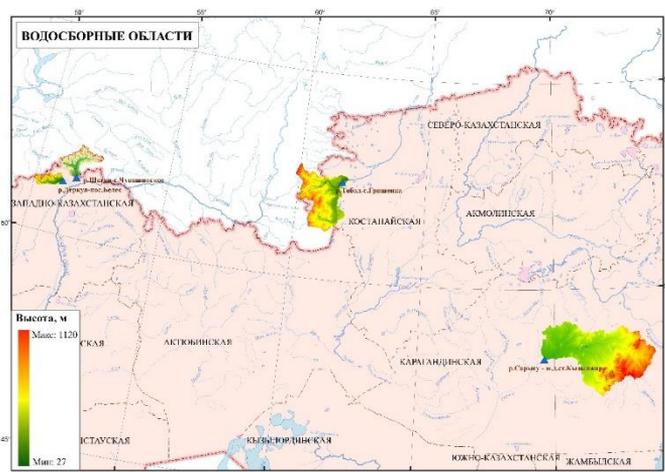


Рис. 1. Карта-схема водосборных областей исследуемых 4-х равнинных рек Казахстана.

Питание на всех реках снегово-дождевое и грунтовое. Основные характеристики исследуемых водосборов (до указанного створа) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные гидрологические характеристики исследуемых водосборов рек.

Гидрологический створ	Длина от истока до створа, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средний многолетний расход, м <sup>3</sup> /с
р. Деркул–пос.Белес	122	1 924	2.32
р. Шаган–с.Чувашинское	186	4 487	6.09
р. Тобол–с.Гришенка	192	13 674	7.35
р. Сарысу–ж.д.ст.Кызылжар	50	34 615	3.91

Достаточная гидрометеорологическая сеть — важнейшее условие для прогнозирования паводков. В большинстве случаев оперативная деятельность наблюдательной сети является самым слабым звеном в рамках комплексной системы. В частности, для прогнозирования паводков и засух необходимо иметь, по крайней мере, однородные и репрезентативные данные постов и станций о стоке, осадках, температуре

воздуха [15]. Для интерполяции метеорологических данных в модели SWIM необходимо наличие минимум 3-х станций наблюдений для исследуемого водосбора.

Плотность наблюдательной сети в Казахстане составляет 1 МС на 10,4 тыс.км<sup>2</sup>, что далеко недостаточно для полноценного освещения нашей территории. По нормам ВМО 1 МС должна освещать не более 4,0 тыс. км<sup>2</sup>, значит в Казахстане должно быть 683 МС, т.е. в 2,6 раза больше имеющихся [16]. На основе действующей гидрометеорологической сети РГП «Казгидромет», были выбраны следующие метеорологические станции и климатические характеристики за период январь 2000...апрель 2018 гг.:

- для бассейнов рр. Деркул и Шаган – МС Каменка, Уральск, Январцево;
- для бассейна р. Сарысу – МС Кызылжар, Кызылтау, Атасу (Жана-Арка), Акадыр, Жарык, Аксу-Аюлы, Берлик.
- для бассейна р. Тобол – МС Жетыкара, Аршалинск (з/свх), Тобол.

**Задачи.** Для ввода модели в оперативную практику необходимо ее тщательное тестирование и проверка результатов на качество. При проведении тестирования были решены следующие задачи:

- проведение анализа гидрометеорологических данных по водосборам исследования, создание информационной базы для моделирования, включающую входную информацию, параметры модели, начальные и граничные условия на основе ГИС-технологий;
- адаптация гидрологической модели SWIM к условиям 4–х равнинных рек, проведение процессов калибровки и валидации модели;
- получение прогностической метеорологической информации и интерполяция параметров в R-studio;
- разработка и составление консультационных прогнозов;
- оценка качества прогнозов.

**Описание модели SWIM.** Модель SWIM (интегрированная модель почвы и воды) впервые была описана в 1989 г., разработчиками которой являются д-р. Крысанова В. и др, и основана на структуре другой модели – SWAT (Soil and Water Assessment Tool), в которую был добавлен концепт гидротопов.

Модель SWIM включает в себя трехуровневую схему разбивки на гидрологические слои и несколько измененных процедур, например трассирование рек и модули лесонасаждений, а также новые процедуры для изу-

чения воздействий, таких как генератор урожая, интерполяция климатических данных, регулирование фотосинтеза и транспирации применительно к высоким значениям  $\text{CO}_2$ , удерживание питательных веществ и модуль углеродного цикла [11].

Модель относится к полу-распределенным, непрерывным, эко-гидрологическим моделям концептуального типа.

Модули и процессы, включенные в модель:

- гидрологический модуль;
- биогеохимический;
- вегетационный.

Модель SWIM работает на суточном временном шаге и использует в качестве входных данных климатические, земельные, топографические, растительные и почвенные наборы данных. Модель была успешно применена для многочисленных водосборов в разных масштабах и с различными природными условиями в Европе, Азии, Америке и Африке.

**Результаты и методы.** Для высотного анализа бассейнов использовались трехмерные снимки SRTM (Shuttle radar topography mission). На основе данных SRTM подготовлены 4 цифровые модели рельефа (ЦМР) исследуемых бассейнов рек, с расширением 30x30 м. Проведен анализ рельефа каждого бассейна (направление потока, локальное понижение, заполнение, общий суммарный сток, идентификация, порядок водотоков, привязка точек устьев).

Используя ЦМР бассейнов, карты землепользования растительности (MODIS) и карты типов почв (F.A.O.) были построены гидротопы водосборов – участки с однородными климатическими и гидрологическими характеристиками (рис. 2).

Для определения периода калибровки и валидации, были проанализированы исторические данные по температуре воздуха, на основе которых можно сделать вывод, что температурный режим Казахстана показывает значения стабильно выше нормы с 2000 г. Каждый год на протяжении 18 лет, начиная с 2001-го, был как минимум на 0,4 °С теплее в сравнении со средним значением за 1961...1990 гг. Глобальные температуры продолжают соответствовать тенденции к потеплению на 0,1...0,2 °С за десятилетие (рис. 2) [9].

Учитывая, что в моделировании температурная характеристика является одной из самых чувствительных и определяющих для калибровки и валидации модели, было принято использовать период после 2000-х гг.

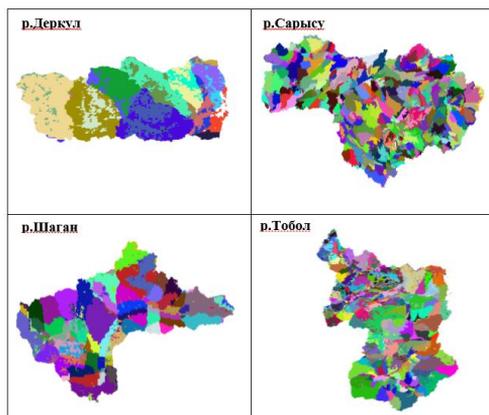


Рис. 2. Карты гидротопов для исследуемых 4-х бассейнов равнинных рек Казахстана.

Результаты адаптации гидрологических моделей на реках имеют высокую зависимость от процесса калибровки, которая является по сути поиском и подбором оптимального набора параметров для исследуемой территории. В модели SWIM более 35 калибровочных параметров [25] и коэффициентов, для каждой реки был выбран свой период калибровки:

**1) р. Деркул-пос. Белес – период калибровки 2009...2017 гг.**

Оптимальные параметры калибровки сначала были подобраны для гидрографа по ежедневным многолетним значениям с 2009 по 2017 гг. (рис. 3), затем уточнение калибровочных параметров проводилось для гидрографов с суточным и месячным шагами (рис. 4).

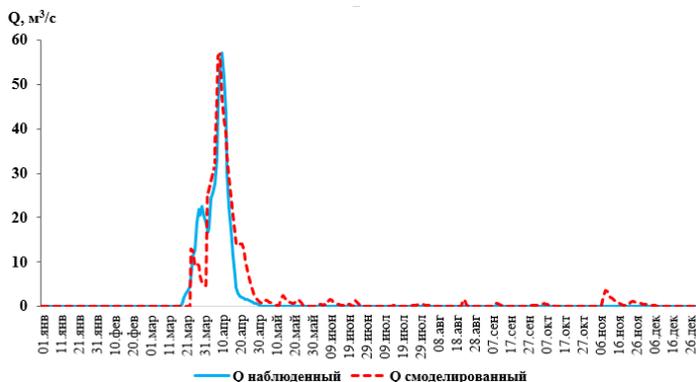


Рис. 3. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов реки Деркул-пос. Белес по ежедневным многолетним расходам воды за 2009...2017 гг.

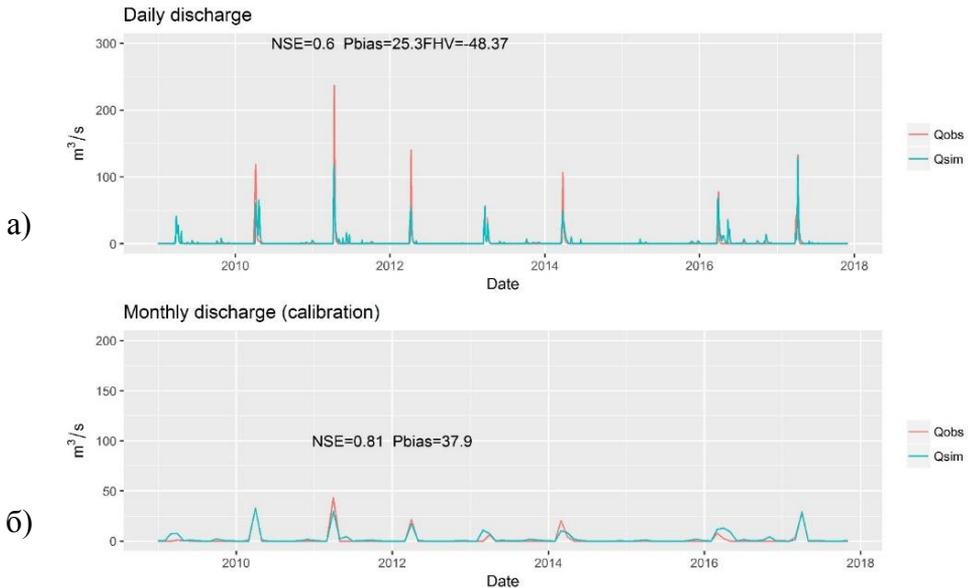


Рис. 4. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов стока р. Деркул – пос. Белес с 2009 по 2017 гг. в результате калибровки а) по ежедневным расходам воды; б) по среднемесячным значениям расхода воды.

**2) р.Сарысу - ж.д.ст. Кызылжар – период калибровки 2007...2017 гг.**

Результаты наилучшей калибровки параметров модели для р. Сарысу – ж.д.ст. Кызылжар, а также сравнение гидрографов стока для данного створа показаны на рис. 5 и 6.

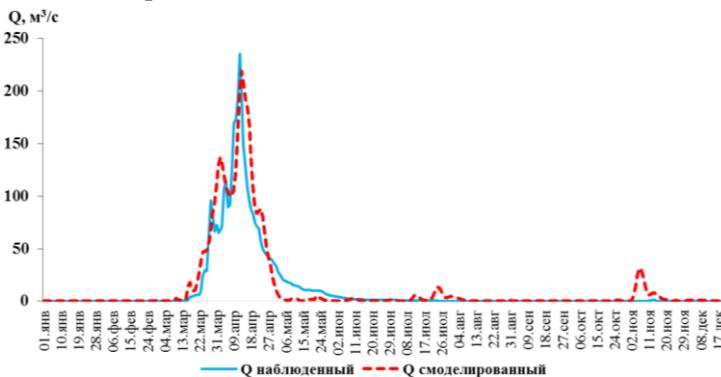


Рис. 5. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов р. Сарысу – ж.д.ст. Кызылжар по ежедневным многолетним расходам воды за 2007...2017 гг.

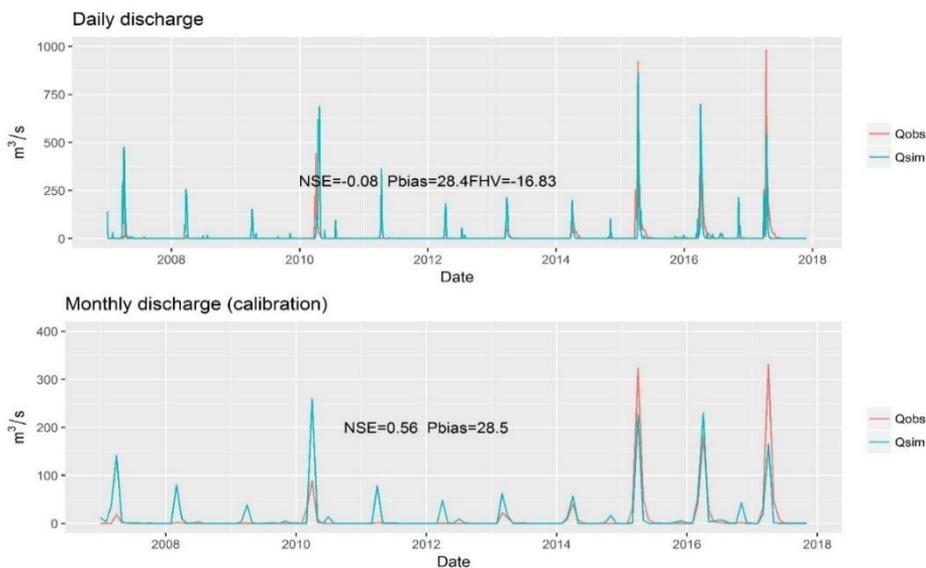


Рис. 6. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов стока р.Сарыусу – ж.д.ст.Кызылжар с 2007 по 2017 гг. в результате калибровки а) по ежедневным расходам воды; б) по средне месячным значениям расхода воды.

### 3) р. Шаган - с. Чувашинское – период калибровки 2008...2017 гг.

Результаты наилучшей калибровки параметров модели для р. Шаган - с. Чувашинское, а также сравнение гидрографов стока для данного створа показаны на рис. 7 и 8.

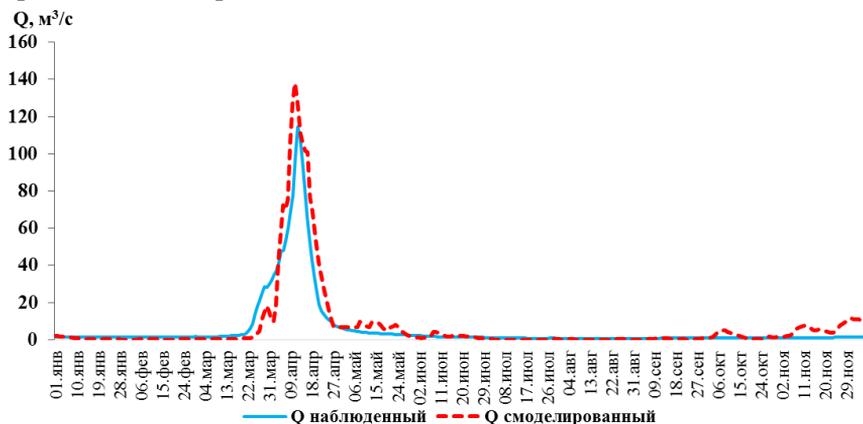


Рис. 7. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов р. Шаган – с. Чувашинское по ежедневным многолетним расходам воды за 2008...2017 гг.

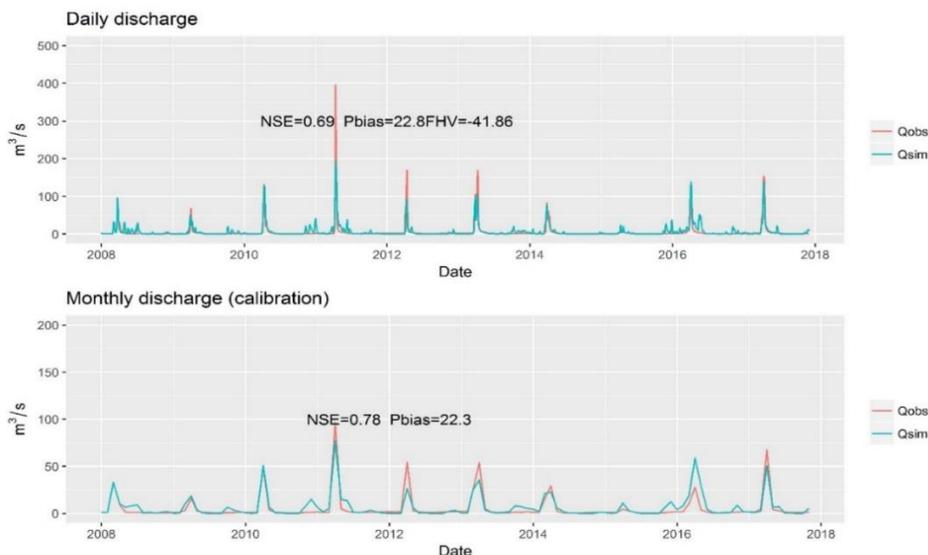


Рис. 8. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов стока р. Шаган – с. Чувашинское с 2008 по 2017 гг. в результате калибровки а) по ежедневным расходам воды; б) по средним месячным значениям расхода воды.

#### 4) р. Тобол - с. Гришенка – период калибровки 2000...2015 гг.

Сравнение гидрографов стока для створа р. Тобол - с. Гришенка по результатам калибровки параметров модели показано на рис. 9.

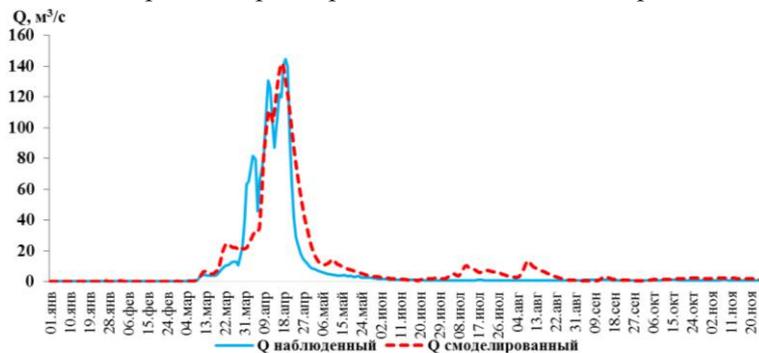


Рис. 9. Сравнение фактического и смоделированного гидрографов реки р. Шаган – с. Чувашинское по ежедневным многолетним расходам воды за 2000...2015 гг.

Для калибровки использовались синхронные ряды стока и метеорологические данные за 9...15 лет. В период калибровки были включены различные по водности гидрологические годы: многоводные, маловодные и средние по водности.

Результаты эффективности модели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки эффективности модели по критерию Нэша-Сатклиффа

Река-пункт	Метеостанции	Период калибровки, гг.	$R_{\text{eff}}$
р. Деркул – пос. Белес	Каменка, Уральск, Январцево.	2009...2017	0,88
р. Сарысу – ж.д.ст. Кызылжар	Кызылжар, Кызылтау, Жана-Арка, Акадыр, Жарык, Аксу-Аюлы, Берлик.	2007...2017	0,85
р. Шаган – с. Чувашинское	Каменка, Уральск, Январцево.	2008...2017	0,83
р. Тобол – с. Гришенка	Жетыкара, Аршалинск (з/свх), Тобол.	2000...2015	0,78

При калибровке параметров исследуемых рек, эффективность модели, рассчитанная по уравнению NSE, составила 0,78...0,88, что говорит о тесной связи между наблюдаемыми и смоделированными расходами воды.

**Заключение.** Для исследуемых водных объектов была адаптирована гидрологическая модель SWIM. Проведена работа по калибровке параметров для каждой реки в отдельности. Результаты эффективности модели SWIM для равнинных рек показали, что модель хорошо воспроизводит динамику моделируемого стока с наблюдаемым, критерии Нэша-Сатклиффа составили 0,78...0,88.

В период производственных испытаний, во время паводков/половодья 2018 г., оправдываемость консультационных прогнозов по SWIM по каждой реке составила:

- 1) р. Деркул – пос.Белес – 84 %;
- 2) р. Сарысу – ж.д.ст.Кызылжар – 75 %;
- 3) р. Шаган – с.Чувашинское – 83 %;
- 4) р. Тобол – с.Гришенка – 76 %.

Средняя оправдываемость гидрологических прогнозов численным методом по 4-м равнинным рекам составила – 79 %.

Таким образом, гидрологическая модель SWIM была адаптирована для прогнозирования стока воды с суточным ходом, с заблаговременностью 3...7 дней. Модель SWIM может применяться в оперативной практике РГП

«Казгидромет», для составления краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов расхода и объема воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Калинин М.Ю. Водные ресурсы Центральной Азии и их использование // «Вода для жизни»: Матер. междунар. научно-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия. Кн. 2. – Алматы, 2016.– С. 372-377.
2. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. — М.: Академия, 2010. – 304 с.
3. Гальперин Р.И. О водных опасностях в Казахстане / Р. И. Гальперин // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование // «Вода для жизни»: Матер. Междунар. научно-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия. Кн. 2. – Алматы, 2016.– С. 378-386.
4. Государственный водный реестр. Река Чаган (Шаган, Бол. Чаган) [Электрон. ресурс]. – 2009. – URL: <https://www.textual.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
5. Государственный водный реестр. Река Тобол [Электрон. ресурс]. – 2009. – URL: <https://www.textual.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
6. Дерколь. Казахстан. Национальная энциклопедия. Т. II. – Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005. – 560 с.
7. Дьютман Д. Наблюдаемые изменения расходов воды и оценка будущих изменений // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. – Т. II. – Гл. II/88. – Москва, 2018.– С. 410.
8. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана за 2016 г. МЭ РК, РГП «Казгидромет», Астана, 2017. – С. 58.
9. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2018 г. МЭГПР РК, НИЦ РГП «Казгидромет», Нур-Султан, 2019. – С. 8-30
10. Кумейко А.С. Концептуальная модель «Сакраменто» применительно к Казахстанскому типу рек на примере р.Калкутан // Сборник материалов IX Междунар. научной конф. студентов и молодых ученых "Наука и образование - 2014", Астана, 2014. – С. 4347-4349.
11. Кожаметов П.Ж. Об оптимизации метеорологической сети Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2012. – № 2. – С. 7-15

12. Лычак А.И., Бобра Т.В., Яценков В.О. SWAT – Моделирование: Возможности и перспективы использования в Крыму // Ученые записки Таврического Национального Университета им. В.И. Вернадского. Серия: География. – Т. 24 (63). – № 2-2. – 2011. – С. 34-43.
13. Официальный сайт РГП «Казгидромет». [Электронный ресурс] - <https://kazhydromet.kz/ru/news/pavodok-2018> (дата обращения: 05.03.2018).
14. Руководство по гидрологической практике. Т II, Глава 7. Раздел 7.1. Пункт 7.1.1. Предметный охват. Издание ВМО, Женева, 2012. – С. II-7-1.
15. Руководство по гидрологической практике, Т. II. Глава 7. Раздел 7.2.2. Данные, необходимые для создания прогностической системы. ВМО, Женева, 2009. – С. II-7-10.
16. Руководство по гидрологической практике. Т. II. Глава 6. Моделирование гидрологических систем. Раздел 6.2 и 6.3. ВМО, Женева, 2009.– С. II. 6-48.
17. Сагинтаев Ж., Атанов С., Гафуров А. Обзор методов моделирования для оценки риска геологической опасности // Центральноазиатский журнал исследований воды. – № 3(1). – 2017. – С. 39-48.
18. Степаненко В.М., Миранда М.П., Лыкосов В.Н. Численное моделирование мезомасштабного взаимодействия атмосферы и гидрологически неоднородной суши // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. – Спец. Вып. 3. – С. 118-128.
19. Стесин Л.Б., Мальцев С.Н. Голубые дороги. – Алма-Ата, 1983. – С. 59-62, 112.
20. Шиварева С.П., Авезова А. Применение модели HBV для расчета стока р. Оба на перспективу с учетом изменения климата // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 4. – С.66-71.
21. DHI MIKE is the global organization dedicated to solving challenges in water environments worldwide. [Электрон. ресурс] – 2017. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>. (дата обращения: 27.11.2018).
22. Gafurov, A., Goetzing, J. and Bårdossy, A. Hydrological modeling for meso scale catchments using globally available data // Hydrology and Earth System Sciences Discussion. – 2016. – № 3(4), P. 2209-2242.
23. Günter, A. and Bonstert. A. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for a large-scale hydrological modeling in semi-arid areas // Journal of Hydrology. – 2004. – №297 (1-4), P. 136-161.
24. Krysanova, V., Müller-Wohlfeil, D.I., Becker, A. Integrated Modelling of Hydrology and Water Quality in mesoscale watersheds // PIK Report №.

- 18, July 1996, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Germany, 1996b. – 32 p.
25. Krysanova V., Wechsung F. SWIM – User Manual. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany in collaboration with Jeff Arnold, Ragavan Srinivasan and Jimmy Williams USDA ARS, Temple, TX, USA Version: SWIM-8, December 2000 / Swim-chapter 4. P. 161-239.
  26. Earth Observatory NASA, Natural Hazards Central Asia. [Электрон. ресурс]. – 2017. – URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards>. (дата обращения: 12.02.2018).
  27. Preventing the flooding of the Seine in the Paris – Ile de France region. Progress made and future challenges. OECD High Level Risk Forum Public Governance Directorate. Report. [Электрон. ресурс] – 2018. – URL: <http://www.oecd.org/gov/risk/preventing-the-flooding-of-the-seine-2018.htm>. (дата обращения: 5.03.2018).
  28. Sagintayev, J., Yerikuly Z., Zhaparkhanov S., Panichkin V., Miroshnichenko O. and Mashtayeva S. Groundwater inflow modeling for Kazakhstan copper ore deposit // Journal of Environmental Hydrology. – 2015. – №1 (23), Paper 9. P. 9-10.
  29. Sagintayev, J., Salybekova V., Kalitov D., Zavaley V. and Rakhimov T. Numerical Modeling of the Intensification Processes of Groundwater Treatment for Hexavalent Chromium Using In Situ Technology // Journal of Environmental Hydrology. – 2016. – №24, Paper 4, P. 1-13.

Поступила 12.12.2019

PhD  
PhD

А.А. Нурбацина  
Ю. Дидовец  
А. Лобанова

## СУ ТАСҚЫНЫ/КӨКТЕМГІ ТАСҚЫНЫ КЕЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖАЗЫҚ ӨЗЕНДЕРІНІҢ АҒЫСЫН БОЛЖАУ ҮШІН SWIM ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛІН БЕЙІМДЕУ

**Түйінді сөздер:** гидрологиялық үлгі, ағысты модельдеу, көктемгі су тасқыны, су жинау облысы, өзен бассейндері, су көлемі, рельефтің сандық моделі, гидротоптар

*SWIM гидрологиялық моделінің Қазақстанның жазық өзендерінде бейімделуі жүргізілді. Жедел тәжірибеде гидрологиялық болжауды қолдану мүмкіндігін 3...7 күн бұрын бағалау анықталды. Жазық өзендерге арналған SWIM моделінің тиімділік нәтижелері модель бақыланған ағын динамикасын жақсы ойнайтынын көрсетті, Нэш-Сатклифтің өлшемдері 0,78...0,88 құрады.*

*Гидрологиялық болжамдардың сандық әдіспен орташа ақталуы, су тасқыны/су тасқыны кезінде 2018 ж., 4 жазық өзен бойынша – 79 % құрады.*

A.A. Nurbatsina, Yu. Didovets, A. Lobanova

## ADAPTATION OF HYDROLOGICAL MODEL SWIM FOR FORECASTING PLAIN RIVERS DISCHARGE OF KAZAKHSTAN DURING FLOOD/SNOW MELT FLOOD PERIODS

**Key words:** hydrological model, modeling of discharge, spring flood, catchment area, river basins, water volume, digital elevation model, hydrotopes

*The hydrological model of SWIM was adapted to the plain rivers of Kazakhstan. In this study determined the assessment of possibility of using model in operational practice of hydrological forecasting with a lead-time of 3...7 days. Results of efficiency of SWIM model for plain rivers showed, that the model reproduced the 'good' dynamics of the simulated runoff with the observed, Nash-Sutcliffe criteria were 0.78...0.88.*

*The average predictability of hydrological forecasts by the numerical method during the floods / snowmelt flood periods of 2018 for the four plain rivers were 79 %.*

УДК 551.524.34 (574)

Канд. геогр. наук

Н.И. Ивкина<sup>1</sup>И.В. Шенбергер<sup>2</sup>

Канд. техн. наук

А.Г. Терехов<sup>1</sup>**ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА Р. ШАРЫН  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Ключевые слова:** водный режим, река Шарын, расход воды, гидрограф стока, изменение климата

*В статье приводится описание водного режима р. Шарын. Приведены примеры гидрографа стока за маловодный, многоводный и средний по водности год. Рассчитаны пространственно-временные характеристики стока.*

**Введение.** Река Шарын – крупнейший левобережный приток р. Или (Иле), относится к бассейну оз. Балкаш. Основной исток р. Шарын – река Шалкудесу берет начало на южных склонах хребта Кетмень. В среднем течении река называется Кеген. После выхода в Жаланашскую долину река называется Шарын. Ниже Бестобинского водохранилища и Мойнакской ГЭС река протекает по глубокому каньону. Затем река пересекает с юга на северо-восток Жаланашскую и Согутинскую долины и огибает с востока хребет Торайгыр разделяющий эти долины. Река на всем протяжении сильно меандрирует (петляет) и делится в пойме на несколько равнозначных проток. Площадь бассейна реки 7370 км<sup>2</sup>, длина 427 км. [9].

**Методы исследования.** Речной сток р. Шарын оценивался по изменению параметра среднегодового стока. Для оценки циклических колебаний стока использован метод разностной интегральной кривой модульных коэффициентов. Для определения пространственно-временных характеристик стока использовался статистический метод.

**Водный режим р. Шарын.** Питание реки в основном снегово-ледниковое. В бассейне реки находится 20 ледников. Площадь оледенения составляет 2,4 км<sup>2</sup>, что составляет 0,032 % от общей площади бассейна реки. Объем льда 0,05 км<sup>3</sup> [3-7]. В табл. 1 приведены сведения о распределении

<sup>1</sup> РГП «Казгидромет», г. Алматы

<sup>2</sup> Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, г. Алматы

современного оледенения на северо-восточных склонах Терскей и Кунгей Алатау в бассейне р. Шарын. Площадь оледенения в процентном соотношении от общей площади бассейна реки составляет 0,03 %.

Таблица 1

Современное оледенение в бассейне р. Шарын [3, 7].

Бассейн реки	Кол-во ледников	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения, км <sup>2</sup>	Доля от общей площади, %	Объем льда, км <sup>3</sup>
р. Шарын	20	7370	2,4	0,03213	0,05

Река относится к типу рек с весенне-летним половодьем и паводками в теплое время года. Половодье и паводки в реке продолжаются с апреля по июль. Основной фазой водного режима является половодье (рис. 1), в период которого проходит большая часть годового стока, наблюдаются максимальные расходы и наибольшие уровни воды. Половодье начинается в конце марта – начале апреля, а заканчивается в июле – августе. Средняя дата начала половодья 24 марта, а окончания – 17 августа. Самая ранняя дата начала половодья – 11 марта 1941 г., окончания – 1 июля 1984 г. Даты прохождения наибольших расходов отмечаются в мае–июне. Наибольший расход зафиксирован 20.05.1936 г. и составил 348 м<sup>3</sup>/с.

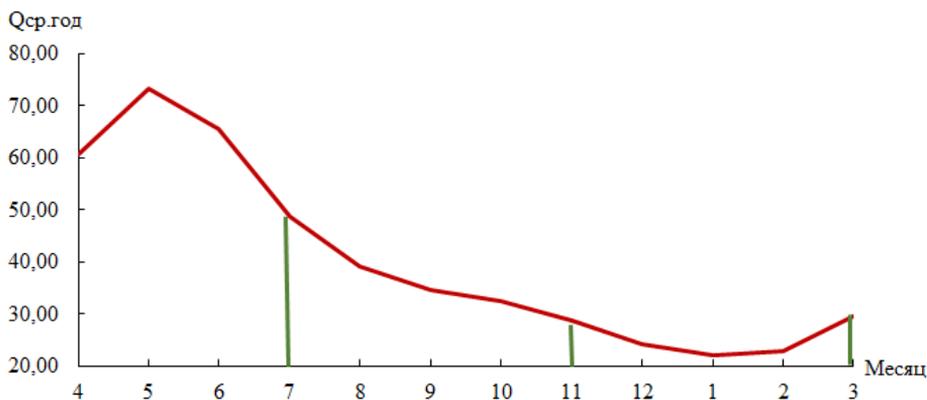


Рис. 1. Распределение гидрографа стока р. Шарын по сезонам.

Как видно из табл. 2 в период половодья проходит более 50 % стока, а самым многоводным месяцем является май.

Если рассмотреть гидрограф стока за 2 периода: 1929...1986 гг. и 1987...2017 гг., то видно, что в условиях современного потепления климата наблюдается увеличение водности реки в пределах 24 % (рис. 2).

Таблица 2

Распределение стока по сезонам за период с 1929 по 2017 гг.

Характеристика	Фаза водного режима											
	Половодье				Летне-осенняя межень				Зимняя межень			
	Месяц											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Среднеголетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	57,4	72,2	64,2	47,5	38,0	33,5	31,4	27,5	23,0	21,1	21,9	28,3
В % от годового	12,3	15,5	13,8	10,2	8,2	7,2	6,7	5,9	4,9	4,5	4,7	6,1

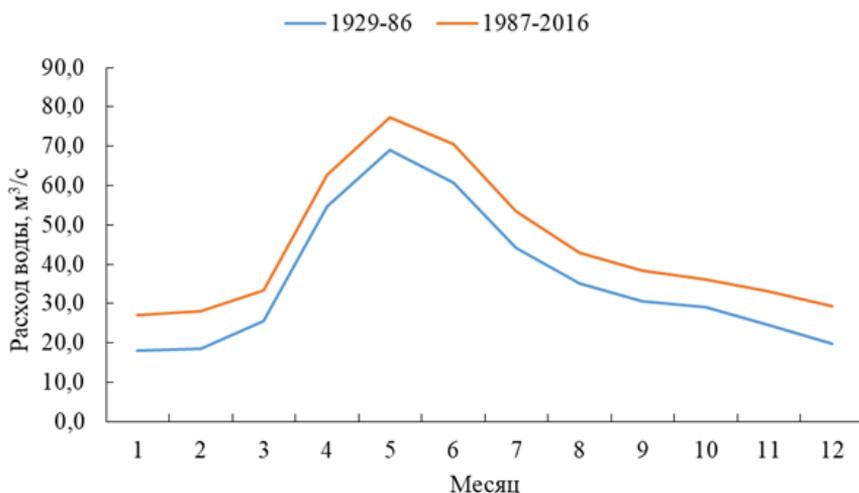


Рис. 2. Среднеголетний гидрограф стока по р. Шарын – уроч. Сарытогай рассчитанный за периоды 1929...1986 и 1987...2017 гг.

Уровни воды и расходы весьма неравномерны по сезонам года – расходы воды в мае и июне превышают осенние и зимние в четыре-пять раз. Гидрограф стока имеет многовершинную форму. Число пиков может достигать 20...25, что объясняется неодновременным таянием снега в различных высотных поясах, наложением дождевых паводков на сток половодья. Как видно из рис. 3, на котором приведены гидрографы стока за маловодный 2014 г. и многоводный 2009 г. и средний по водности 2015 г. водный режим реки характеризуется постоянным стоком.

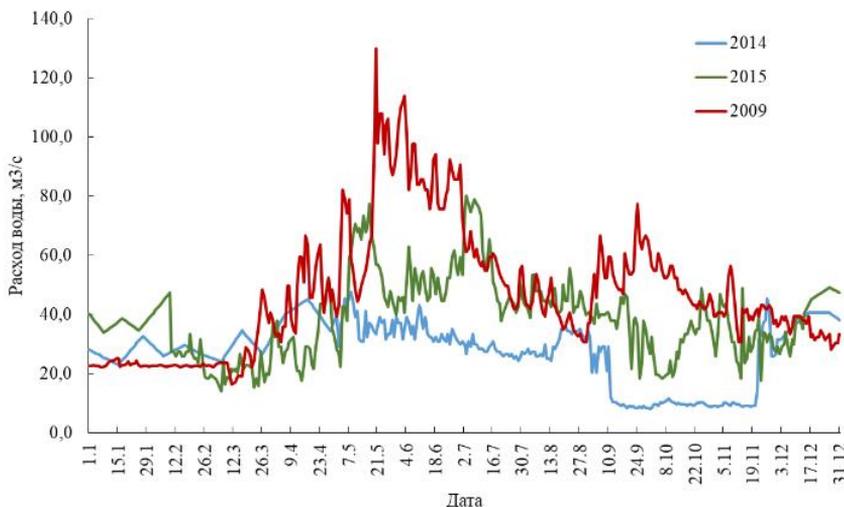


Рис. 3. Гидрографы стока р. Шарын–уроч.Сарытогай за различные по водности годы.

При высоких половодьях расходы воды значительно превышают расходы в маловодные годы. Вариативность величины сезонного максимума расхода воды более чем в 5 раз.

Даты прохождения наибольших расходов весьма неустойчивы. Чаще всего они отмечаются в мае–июне. В связи с регулированием стока максимальные расходы половодья снизились, а летние и зимние меженные расходы повысились. Следующей фазой водного режима является летне-осенняя межень. В период летне-осенней межени наблюдаются кратковременные подъемы уровня воды вследствие прохождения дождевых паводков. Начало приходится на август, а окончание на ноябрь (табл. 2). На этот период приходится около 30 % стока. На зимнюю межень приходится около 20 % стока. Наименьший сток наблюдается преимущественно в январе.

**Речной сток р. Шарын в современных условиях.** Речной сток р. Шарын оценивался по изменению параметра среднегодового стока (нормы стока). При выборе расчетного периода для определения нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии использовались разностные интегральные кривые в пункте р. Шарын – уроч. Сарытогай. Разностные интегральные кривые необходимы для выявления циклов колебания годового стока. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений. Разностная интегральная кривая

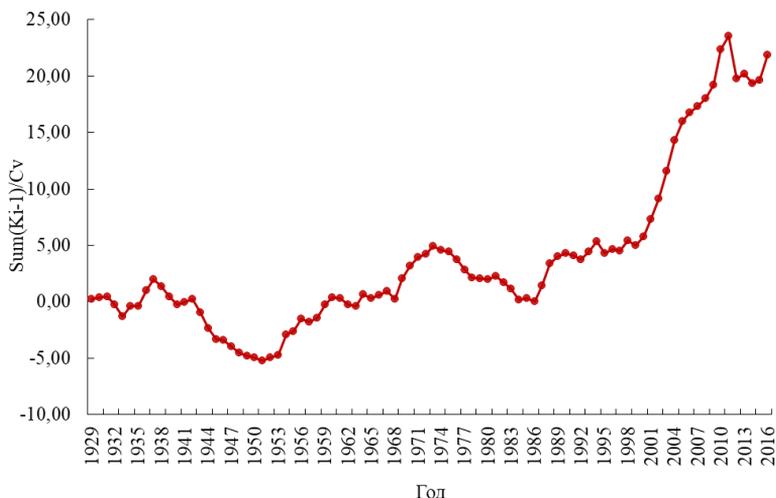
среднегодовых расходов воды р. Шарын – уроч. Сарытогай за период с 1929 по 2017 гг. приведена на рис. 4.



*Рис 4. Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Шарын-уроч.Сарытогай за период с 1929 по 2017 гг.*

На этой кривой, отчетливо выделяются три периода 1929...1986 гг., 1987...2010 гг. и 2011...2017 гг. Первый период отражает условия формирования стока реки Шарын в условно-естественный период и отражает климатические условия 20-го века. Второй период характеризуется значительными изменениями климата, и по сравнению с первым, отличается повышенным стоком в связи с увеличением увлажнения горных склонов, повышением температуры воздуха и увеличением поступления воды в реки за счет деградации горного оледенения. И третий период характеризуется изменением гидрографа стока в результате изменения климата и антропогенной деятельности в связи с зарегулированием реки. Учитывая то, что третий период имеет короткий ряд наблюдений, то для анализа выделим два периода 1929...1986 и 1987...2017 гг.

Более наглядное отличие первого периода от второго можно видеть на интегральной кривой, представленной на рис. 5. При построении этой кривой использовались среднегодовые значения и коэффициент вариации, определенные только за период 1929...1986 гг.



*Рис 5. Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Шарын - уроч. Сарытогай за период 1929...2017 гг., рассчитанная по норме стока за период 1926...1986 гг.*

Как было отмечено выше, период 1929...1986 гг. отражает климатические условия 20-го века, а второй период 1987...2017 гг. – конец 20-го века и начало 21-го века, характеризующихся значительными изменениями климата, в первую очередь, температуры воздуха и атмосферных осадков. В этот период в бассейне р. Иле наблюдалось существенное повышение температуры воздуха и деградация горного оледенениями.

Для определения пространственно-временных характеристик стока использовался статистический метод. Наиболее широкое применение в гидрологических статистических расчетах имеет биномиальная асимметричная кривая обеспеченности или кривая распределения Пирсона III типа [1, 8]. На рис. 6 приведены совмещенные кривые обеспеченности за периоды 1929...1986 и 1987...2017 гг. Как видно из рисунка ряды среднегодовых расходов воды р. Шарын имеют нормальное распределение. Коэффициент  $C_s$  не равен  $2C_v$ , поэтому для расчета модульного коэффициента заданной обеспеченности  $k_p$  использовалось уравнение биномиальной кривой распределения, проинтегрированное А. Фостером [2]. Нормированные отклонения от среднего значения логарифмически нормальной кривой обеспеченности ( $\Phi_p$ ) взяты из соответствующих таблиц с учетом коэффициента асимметрии или соответствующего ему коэффициента скошенности

$S = f(C_s)$ . Значение расхода воды заданной обеспеченности определялась как произведение  $k_p$  на среднюю величину.

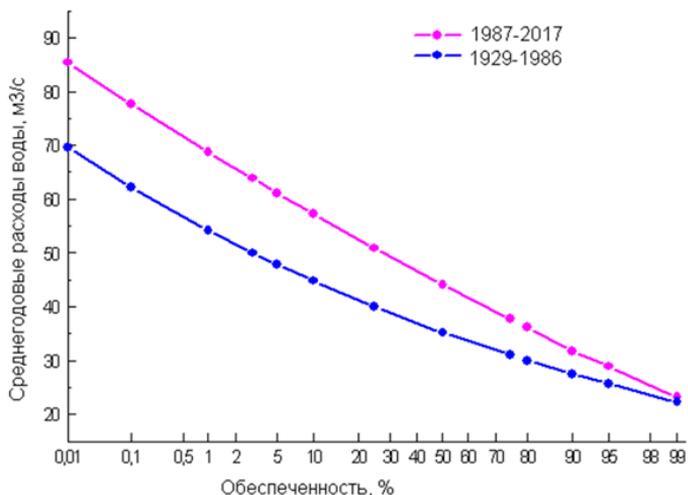


Рис. 6. Совмещенные кривые обеспеченности среднегодовых расходов воды по р. Шарын-уроч. Сарытогай за периоды 1929...1986 и 1987...2017 гг.

Как видно из рис. 6, сток реки за последний период (1987...2017 гг.) увеличился. Увеличение стока по реке Шарын составило более 20 %. Коэффициент вариации за тот же период незначительно увеличился, в связи с увеличением увлажнения горных склонов и поступления воды в реки за счет деградации горного оледенения. Это привело к увеличению значений речного стока различной обеспеченности.

Анализ хронологического хода максимальных расходов воды показал, что наблюдается тренд уменьшения максимальных расходов воды и снижение их изменчивости.

**Выводы:** В условиях современного потепления климата наблюдается увеличение водности реки более 20 %. Увеличение водности связано с поступлением воды в реки за счет деградации горного оледенения в результате потепления климата. Это привело к увеличению значений среднегодового речного стока различной обеспеченности. Наблюдаются процессы перераспределения сезонного стока в сторону увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Наблюдаемая трансформация сезон-

ного и многолетнего стока свидетельствует о необходимости корректировки структуры водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 327 с. 43
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Вычислительный центр АН СССР, 1968. – 474 с.
3. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. – Алматы, 2013. – 244 с.
4. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: КазНУ им. аль-Фараби, 2001. – 252 с.
5. Вилесов Е.Н. Изменение состояния оледенения северного макросклона Иле Алатау за 60 лет (1955...2015 гг.) // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 3. – С. 56-68.
6. Галаева А.В. Ресурсы речного стока и экологическое состояние бассейна озера Балкаш в условиях современного изменения климата/ диссертация на соискание ученой степени канд. наук. – Бишкек, 2017. – 147 с.
7. Линейцева А.В. Современное поступление речного стока в Восточный Балхаш // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №1, С. 109-115.
8. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. - Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – 460 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 13 Центральный и Южный Казахстан. – Вып. 2. Бассейн озера Балкаш. Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 644 с.

Поступила 09.12.2019

Геогр. ғылым. канд. Н.И. Ивкина  
И.В. Шенбергер  
Техн. ғылым. канд. А.Г. Терехов

## **ШАРЫН ӨЗЕНІНІҢ СУ РЕЖИМІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙДА**

**Түйін сөздер:** су режимі, Шарын өзені, су шығыны, ағын гидрографы, климаттың өзгеруі

*Мақалада Шарын өзенінің су режимінің сипаттамасы берілген. Су аз, су көп және су бойынша орташа жыл үшін ағын гидрографының мысалдары келтірілген. Ағынның кеңістіктік-уақыттық сипаттамалары есептелген.*

N.I. Ivkina, I.V. Shenberger, A.G. Terekhov

## **FEATURES OF THE SHARYN RIVER WATER REGIME IN THE MODERN CONDITIONS**

**Key words:** water regime, Sharyn River, water flow, runoff hydrograph, climate change

*The article describes the water regime of the Sharyn River. Examples of flow hydrograph for low-water, high-water and average water content year are given. The spatial and temporal characteristics of the flow are calculated.*

УДК 574.524(504.058)

Канд. биол. наук

В.Н. Тальских<sup>1</sup>Л.Ю. Шардакова<sup>1</sup>**РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТОДА  
БАЛЛЬНО-ИНДЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОЗЕРНЫХ  
СИСТЕМ БАСЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

**Ключевые слова:** уязвимость озерных экосистем/ветладов, благополучные, условно благополучные, неблагоприятные ветланды, балльно-индексное ранжирование, абиотические и биотические экологические параметры, индекс экологического состояния.

*В статье приводятся результаты ранжирования взаимно связанных абиотических и биотических характеристик/параметров озерных экосистем/ветландов в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи, приуроченных к зонам формирования и интенсивного потребления поверхностного стока, находящихся на разных стадиях экологической сукцессии, под воздействием различных антропогенных факторов. По результатам ранжирования впервые разработан региональный комплексный индекс экологического состояния озерных систем (ИЭС).*

Вопросы экологической уязвимости являются актуальными и обсуждаются в различных природоохранных/экологических исследованиях и при подготовке оценочных документов [1-4, 6-9, 14]. «Уязвимость», применительно к водным экосистемам, рассматривается некоторыми авторами [1-4, 9] как ее «неспособность сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на нее внешних и внутренних нагрузок». При этом, параметры уязвимости и устойчивости объединены указанными авторами в экспертную балльно-индексную систему, которая по их мнению дает возможность в пределах изменения заложенных в нее морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров (более 60 характеристик), провести сравнительную оценку уязвимости (устойчивости) к антропогенному эвтрофированию и загрязнению, не связывая, однако, эту оценку с экологическим благополучием водной экосистемы.

---

<sup>1</sup>НИГМИ Узгидромета, г. Ташкент, Узбекистан.

В 70-х годах прошлого столетия учеными гидробиологического института украинской Академии наук была разработана всеобъемлющая, по мнению авторов, классификация водных объектов суши (водотоков и водоемов), которая в табличной форме отражала многочисленные абиотические и биотические характеристики (параметры) для гидрологически различных водных объектов [5]. Главный принцип построения таблиц – *конвенционный* – заключался в разделении диапазона значений каждого параметра на 9 градаций. При этом, величины характеристик, относящиеся к одной градации, были независимы друг от друга, некоррелированные между собой и потому несопоставимы.

Наш методологический подход предполагает комплексное использование абиотических и биотических параметров, отражающих разные аспекты функционирования экосистем озерного типа, для оценки в реальном времени их «благополучия» или «неблагополучия». Он ориентирован на озерно-болотные экосистемы/ветланды горной и равнинной территорий в зоне формирования поверхностного стока (ЗФС) и в зоне интенсивного потребления поверхностного стока (ЗИПС), находящиеся в характерных аридных условиях Средней Азии. Выбор параметров обоснован нами в статье «Разработка индикаторов экологически допустимого состояния для озерных экосистем бассейна Аральского моря в условиях антропогенного воздействия и изменения климата», опубликованной в № 2 журнала «Гидрометеорология и экология» за 2019 г.

Предложенные количественные значения и качественные характеристики параметров можно в известном приближении рассматривать как «экологические ПДК», несоблюдение которых приводит к нарушению сложившихся связей в ветландах и потере их экосистемных услуг.

Предлагаемое нами балльное ранжирование экологических параметров обследованных ветландов по классам («благоприятный», «удовлетворительный», «условно удовлетворительный», «неудовлетворительный») для характеристики их экологического благополучия отражено в табл. 1. Для «благополучных» и «условно благополучных» ветландов в ЗИПС характерны параметры классов УД и УУД с более высокими баллами индексов оценки (ИО), чем для «неблагополучных» класса НеУД.

Например, для среднего по водности года «*благополучные*» и «*условно благополучные*» экосистемы ветландов характеризуются, соответственно, невысокой (0,97...1,03 г/л) или умеренной (1,55...5,00 г/л) минерализацией воды, сравнительно высокой прозрачностью водной толщи (до

1,0...2,0 м) и достаточно разнообразной таксономической структурой индикаторных биоценозов, характерной для состояния экологического прогресса. Следовательно, оценочные баллы ИО для этих параметров будут иметь высокие значения – 5 и 3 балла соответственно.

Таблица 1

Классификационная матрица параметров для оценки состояния экосистемы

Индекс оценки, баллы	Класс параметра/Код	Состояние экосистемы ветланда
7	Благоприятный/БЛ	«благополучное фоновое» в ЗФС
5	Удовлетворительный/УД	«благополучное» для ЗИПС
3	Условно удовлетворительный/УУД	«условно благополучное» для ЗИПС
1	Неудовлетворительный/НеУД	«неблагополучное» для ЗИПС

Для экологически *«неблагополучных»* экосистем ветландов характерны показатели экологического регресса: высокая минерализация водной массы (17,5...47,5 г/л и более); угнетающая развитие пресноводной флоры и фауны и ее пониженная прозрачность (менее 0,5 м); упрощенная таксономическая структура водных биоценозов с преобладанием высоко толерантных видов, развивающихся, как правило, в массовом количестве из-за нарушения трофических связей и отсутствия конкуренции. В результате – потеря ряда социально-полезных экосистемных услуг ветланда и значения ИО оцениваются на уровне 1 балла.

Что же касается водоемов в ЗФС, приуроченных в основном к горным территориям, то в силу их ландшафтного расположения и преобладающего речного типа питания их гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы, как правило, не подвержены радикальному антропогенному изменению. Эти водные объекты, сохраняют исходный экологический статус в долгосрочной перспективе [7, 11], обеспечивают весь спектр социально-полезных экосистемных услуг, связанных, в первую очередь, с высоким качеством воды, для которой характерна низкая минерализация (не более 0,5 г/л) и высокая прозрачность (до 10...15 м), в мелководных озерах – прозрачность до дна. Таким образом, озерные экосистемы ЗФС являются фоновыми по отношению к расположенным ниже озерным экосистемам ЗИПС и могут маркироваться как *«благополучные (фоновые)»*, что отражает их наиболее высокий социально-экологический статус в классификационном ряду озер региона. Соответственно ИО их абиотических и биотических параметров будут иметь высокие значения – 5 и 7 баллов.

Предлагаемое нами балльно-индексное ранжирование всего комплекса экологических параметров представлено в табл. 2. Формирование этой классификационной таблицы основано на ранжировании абиотических и биотических характеристик для *реально существующих* в регионе конкретных экосистем озерного типа, приуроченных к зонам формирования и интенсивного потребления поверхностного стока, находящихся на разных стадиях экологической сукцессии, под воздействием различных антропогенных факторов и нагрузок и имеющих по предварительным оценкам определенный экологический статус, характеризующийся определенным комплексом взаимосвязанных экологических параметров.

Окончательное заключение о состоянии конкретного ветланда проводится на основании информации по абиотическим и биотическим параметрам, полученной в результате его исследования. В соответствии с табл. 2 каждому абиотическому и биотическому параметру, по которому имеется информация, присваивается соответствующее значение ИО в баллах. Среднее арифметическое от значений ИО всего комплекса экологических параметров, имеющих на период обследования, дает количественную характеристику состояния экосистемы ветланда (в диапазоне от «благополучного фонового» до «неудовлетворительного»), в виде усредненной характеристики, которой мы дали название «Индекс экологического состояния (ИЭС)».

В процессе исследования и оформления результатов по различным причинам не всегда возможно получить исчерпывающие характеристики по всему желаемому комплексу экологических параметров, отраженных в табл. 2. Тем не менее, при усреднении неполного набора ИО характеристик, результаты усреднения, как правило, достаточно объективно отражают состояние экосистемы ветланда, поскольку используемые в расчете характеристики, как мы уже отметили, взаимосвязаны с определенным экологическим типом ветланда и, следовательно, взаимосвязаны между собой.

Таблица 2

Балльно-индексное ранжирование экологических параметров

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<i><b>A – абиотические параметры</b></i>			
<b>A-1</b> Источник питания	БЛ	Речное питание в ЗФС	7
	УД	Речное питание в ЗИПС	5
	УУД	Смешанное питание речной водой и КДВ	3
<b>A-2</b> Характер	НеУД	Питание КДВ	1
	БЛ	Проточный (транзитный) водоем	7

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
водообмена	УД	Умеренно-проточный (транзитно-аккумулятивный) водоем	5
	УУД	Слабопроточный (аккумулятивно-транзитный) водоем	3
	НеУД	Непроточный (аккумулятивный) водоем	1
<b>А-3</b> Объем подпитывающего стока	БЛ	Естественный ненарушенный внутригодовой цикл поступления подпитывающего речного стока	7
	УД	Обеспечение не менее среднего многолетнего объема подпитывающего стока	5
	УУД	Обеспечение не менее 40...50% от объема среднего многолетнего объема подпитывающего стока	3
<b>А-4</b> Уровень воды	НеУД	Водообеспечение по остаточному принципу – менее 40 % от объема среднего многолетнего объема подпитывающего стока	1
	БЛ	Естественный ненарушенный внутригодовой цикл колебания уровня воды	7
	УД	Колебания уровня воды в период нереста и зимой не более 0,3...0,5 м	5
	УУД	Колебания уровня воды в период нереста и зимой в диапазоне 0,5...0,7м	3
<b>А-5</b> Прозрачность воды	НеУД	Колебания уровня воды в период нереста и зимой более 0,7 м	1
	БЛ	Более 5 м	7
	УД	2...5 м при отсутствии ветрового перемешивания и взмучивания донных седиментов	5
	УУД	1...1,5 м или до дна в мелководных озерах при отсутствии ветрового перемешивания и взмучивания донных седиментов	3
<b>А-6</b> Цвет воды	НеУД	Менее 0,5 м при отсутствии ветрового перемешивания и взмучивания донных седиментов	1
	БЛ	Бесцветная в прибрежной литоральной зоне и синий оттенок в открытой пелагиале	7
	УД	Бесцветная в прибрежной литоральной зоне и сине-зеленый оттенок в открытой пелагиале	5
	УУД	Слабый зеленый или серо-зеленый оттенок	3

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<b>А-7</b> Средняя глубина	НеУД	Насыщенный ярко зеленый или желто-коричневый	1
	БЛ	Более 5,0 м	7
	УД	1,5...5,0 м	5
	УУД	1,0...1,5 м	3
<b>А-8</b> Минерализация воды	НеУД	Менее 1,0 м	1
	БЛ	Не более 1,0 г/л	7
	УД	1,0...5,0 г/л	5
	УУД	5,0...12,0 г/л	3
<b>А-9</b> Содержание растворенного кислорода	НеУД	Более 12,0 г/л	1
	БЛ	Более 10,0 мг/л	7
	УД	8...10 мг/л	5
	УУД	6...8 мг/л	3
<b>А-10</b> Характер донных отложений	НеУД	Не более 4...5 мг/л	1
	БЛ	Преобладающие материнские каменистые грунты с малым содержанием детрита и слабо выраженным наилком	7
	УД	Преобладающие глинисто-песчаные грунты с серым наилком и заметным содержанием растительного детрита	5
	УУД	Преобладающие серые илы с заметным содержанием растительного детрита	3
<b>Б-1</b> Развитие водно-болотной растительности	НеУД	Мощные темно серые или черные иловые отложения с большим содержанием растительного детрита и запахом сероводорода	1
	<b>Б – биотические параметры</b>		
	БЛ	Покрытие не более 10 % акватории в прибрежной зоне	7
	УД	Покрытие не более 30 % акватории в прибрежной зоне	5
<b>Б-2</b> Развитие водной растительности	УУД	Покрытие не более 40...50 % акватории в прибрежной зоне	3
	НеУД	Покрытие более 50 % всей акватории озерной экосистемы	1
	БЛ	Гетерогенное (мозаичное) развитие пресноводных макрофитов в литоральной зоне с покрытием ее акватории не более 5 %	7
	УД	Разнообразное развитие пресноводных макрофитов в литоральной зоне с покрытием ее акватории 5...20 %	5
	УУД	Одновременное развитие пресноводных и солоноватоводных макрофитов	3

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<b>Б-3</b> Фитопланктон: относительное развитие галофильных видов водорослей	НеУД	до глубины проникновения света на 20...30 % фотической части акватории Обильное развитие только солоноватоводных макрофитов до глубины проникновения света на более чем 30 % фотической части акватории	1
	БЛ	Абсолютное доминирование пресноводных видов водорослей	7
	УД	Паритетное развитие пресноводных и солоноватоводных видов водорослей	5
	УУД	Преобладающее развитие солоноватоводных видов водорослей	3
<b>Б-4</b> Фитопланктон: ЗС – зона сапробности ИС–индекс сапробности	НеУД	Практически полное подавление развития пресноводных видов водорослей	1
	БЛ	ЗС – олигосапробная (о) ИС – не более 1,0	7
	УД	ЗС – олиго-бетамезосапробная (о-в) ИС – 1,1...1,5	5
	УУД	ЗС – бетамезосапробная (в) ИС – 1,6-2,5	3
<b>Б-5</b> Фитопланктон: биомасса	НеУД	ЗС – альфа-мезосапробная (а) ИС – более 2,5	1
	БЛ	До 5 г/м <sup>3</sup>	7
	УД	5...10 г/м <sup>3</sup>	5
	УУД	10...30 г/м <sup>3</sup>	3
<b>Б-6</b> Зоопланктон: относительное развитие галофильных видов	НеУД	Более 30 г/м <sup>3</sup>	1
	БЛ	Абсолютное доминирование пресноводных видов	7
	УД	5-10 % галофильных видов	5
	УУД	20-30 % галофильных видов	3
<b>Б-7</b> Зоопланктон: таксономическая структура	НеУД	Более 30 % галофильных видов	1
	БЛ	Преобладающее и разнообразное качественное развитие пелагиальных видов <i>Rotifera</i> , <i>Cladocera</i> , <i>Copepoda</i>	7
	УД	Разнообразное качественное развитие пелагиальных и зарослевых видов <i>Rotifera</i> , <i>Copepoda</i> , <i>Cladocera</i>	5
	УУД	Разнообразное качественное развитие пелагиальных и зарослевых видов <i>Rotifera</i> и <i>Copepoda</i> , слабое развитие <i>Cladocera</i>	3
	НеУД	Выпадение из состава зоопланктона <i>Cladocera</i>	1
	БЛ	Разнообразное развитие пресноводных пелагиальных видов <i>Plecoptera</i> ,	7

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<b>Б-8</b> Зообентос: таксономическая структура	УД	<i>Ephemeroptera Trichoptera, Coleoptera, Hydracarina, Mollusca</i> Разнообразное развитие пресноводных и солоноватоводных пелагиальных и зарослевых видов <i>Ephemeroptera, Trichoptera, Chironomidae, Coleoptera, Gammaridae, Hirudinea, Odonata, Oligochaeta</i> , Hydracarina, Hemiptera, Heteroptera, Diptera, Mollusca, Misidaceae	5
	УУД	Разнообразное развитие солоноватоводных пелагиальных и зарослевых видов, <i>Chironomidae, Coleoptera, Gammaridae, Hirudinea, Oligochaeta, Hemiptera, Heteroptera, Diptera, Mollusca, Misidaceae</i> . Выпадение из состава зообентоса <i>Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata</i> ,	3
	НеУД	Обеднение видового состава зообентоса. Обильное развитие отдельных солоноватоводно-морских видов <i>Mollusca, Chironomidae, Polychaeta</i> (например, <i>Caspiohydrobia conica, Chironomus salinarius, Nereis diversicolor</i> )	1
<b>Б-9</b> Зообентос: трофическая структура	БЛ	Трофическая сеть разветвленная с преобладанием пастбищных направлений, представленных сокребателями, измельчителями, подбирающими коллекторами. Хорошо представлены хищные формы организмов	7
	УД	Трофическая сеть разветвленная, в которой наряду с сокребателями, измельчителями, подбирающими коллекторами и хищными формами также заметно развиваются зарослевые формы и фитодетритофаги	5
	УУД	Преобладающее развитие зарослевых форм и фитодетритофагов, слабое развитие хищников при общей разветвленности трофической сети	3
	НеУД	Разрушение трофической сети, массовое развитие 3-х солоноватоводно-морских видов <i>Mollusca, Chironomidae, Polychaeta</i>	1

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<b>Б-10</b> Перифитон: Видовое разнообразие и таксономическая структура	БЛ	Высокое таксономическое разнообразие на уровне видов и родов при доминировании пресноводных североальпийских <i>Bacillariophyta</i> из родов <i>Achnanthes</i> , <i>Eucocconeis</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Cymbella</i> , <i>Diatoma</i> , <i>Synedra</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Denticula</i> , <i>Tabellaria</i> и <i>Cyanophyta</i> из родов <i>Calothrix</i> , <i>Tolythrix</i> .	7
	УД	Высокое таксономическое разнообразие на уровне видов и родов при доминировании пресноводных и широко распространенных <i>Bacillariophyta</i> из родов <i>Melosira</i> , <i>Achnanthes</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Cymbella</i> , <i>Diatoma</i> , <i>Synedra</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Gyrosigma</i> , <i>Rhoicosphenia</i>	5
	УУД	Заметно развиваются солоноватоводные виды <i>Bacillariophyta</i> из указанных выше родов, а также из родов <i>Pleurosira</i> , <i>Mastogloia</i> , <i>Amphora</i> , <i>Pleurosigma</i> , <i>Diploneis</i> и виды из родов <i>Epithemia</i> , <i>Rhopalodia</i> , тяготеющие к биотопам со скоплениям растительного детрита.	3
	НеУД	Доминируют солоноватоводные и солоноватоводно-морские виды <i>Bacillariophyta</i> из родов <i>Pleurosira</i> , <i>Mastogloia</i> , <i>Amphora</i> , <i>Pleurosigma</i> , <i>Diploneis</i> , <i>Licmophora</i> , <i>Grammatophora</i> .	1
	<b>Б-11</b> Перифитон: П/С–соотношение количества пресноводных и солоноватоводных видов <i>Bacillariophyta</i> – МГ, % – процент мезогалобных видов <i>Bacillariophyta</i>	БЛ	ПС больше 1, МГ % – мезогалобы отсутствуют
	УД	ПС больше 1, МГ % менее 10	5
	УД	ПС 0,7...1,0, МГ % 10...30	3
	НеУД	ПС менее 0,7, МГ % больше 30	1
<b>Б-12</b> Перифитон: ЗС– зона сапробности – ИС– индекс сапробности	БЛ	ЗС – олигосапробная (о), ИС – не более 1,0	7
	УД	ЗС – олиго-бетамезосапробная (о-в) ИС – 1,1...1,5	5
	УУД	ЗС – бетамезосапробная (в) ИС – 1,6...2,5	3

Экологический параметр	Класс	Характеристика экологического параметра	ИО, балл
<b>Б-13</b> Орнитофауна: % гидрофильных птиц от общего числа обитающих видов	НеУД	ЗС – альфа-мезосапробная (а) ИС – более 2,5	1
	БЛ	Более 50 %	7
	УД	40...50 %	5
	УУД	30...40 %	3
	НеУД	Меньше 20 %	1
<b>Б-14</b> Ихтиофауна: соотношение лимнофильных и реофильных рыб, а также их мальков и сеголеток	БЛ	Исходный видовой состав ихтиофауны, характерный для данной природно-ландшафтной территории	7
	УД	Измененный видовой состав ихтиофауны, в котором также присутствуют мальки и сеголетки промысловых лимнофильных и реофильных рыб, свидетельствующие о наличии условий для их нереста и воспроизводства	5
	УУД	Присутствие преимущественно взрослых особей промысловых лимнофильных рыб	3
	НеУД	Отсутствие промысловых пресноводно-генеративных рыб	1

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. Л., ГМИ, 1991. – 423 с.
2. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. Гатчина – 1999. – С.200-217.
3. Дмитриев В.В. Оценка экологического состояния водных объектов суши. Ч. II Уязвимость водной экосистемы [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/10/07/010710.htm> (Дата обращения 21.11.2019).
4. Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Третьяков В.Ю., Хованов Н.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем // Вестник СПбГУ. – 1977. – Сер.7. – Вып.1. – № 7. С.51-66.
5. Жукинский В.Н., Оксюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // Гидробиологический журнал. – 1976. – Т.12. – № 6. – С.103-111.

6. МГЭИК, 2001: Изменение климата, 2001 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Третий оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. Брэдли, С.Бэррелл и др.(ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 132 стр.
7. Никитин А. М. Гидрологический режим озер и водохранилищ СССР. Озера Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 106 с.
8. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – С.540.
9. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др. Оценка состояния и устойчивости Геосистем. – М.: ВНИИ природа, 1992. – С.127.
10. Тальских В.Н. Методология оценки экологического состояния водных объектов Приаралья по гидробиологическим показателям. Пресная вода. // Труды отраслевой научно-практ. конф., 1995. – Ташкент. – С.87-95.
11. Тальских В.Н., Беглов Е.О. Влияние климатических факторов на водные экосистемы и меры адаптации // Последствия изменения климата в Узбекистане, меры адаптации. – Бюллетень № 7. – Ташкент: НИГМИ, 2008. – С. 53-61.
12. Тальских В.Н., Мустафаева З.А. Систематический список водорослей перифитона в водных экосистемах Сары-Челекского заповедника // Труды заповедников Кыргызстана. Государственная лесная служба КР. Кыргызский НОРП Центральноазиатского трансграничного проекта ГЭФ/ВБ по сохранению биоразнообразия Западного Тянь-Шаня. – Бишкек, 2005. – С.84-93.
13. Шукуров Э.Дж., Митропольский О.В., Тальских В.Н., Жолдубаева Л.Ы., Шевченко В.В. //Атлас биологического разнообразия Западного Тянь-Шаня. Центральноазиатский трансграничный проект ГЭФ/ВБ по сохранению биоразнообразия Западного Тянь-Шаня. Региональный отдел реализации проекта. Астана-Бишкек-Ташкент – 2005. – 101 с.
14. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: [Электрон. ресурс]. – 2007. – URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf). (Дата обращения 21.11.2019).

Поступила 11.07.2019

## АРАЛ ТЕҢІЗІ АЛАБЫНДАҒЫ КӨЛДЕР ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУҒА БАЛЛДЫҚ-ИНДЕКСТІК ӘДІСТІ ҚҰРАСТЫРУ

**Түйін сөздер:** көл экожүйелерінің/ветладтардың осалдығы, өркендеген, шартты түрде өркендеген, өркендей алмаған ветладтар, баллдық-индекстік талдау, абиотикалық және биотикалық экологиялық көрсеткіштер, экологиялық жағдай индексі

*Мақалада әр түрлі антропогендік факторлардың әсерінен экологиялық сабақтастықтың әр түрлі кезеңдерінде орналасқан жер үсті ағындарының қалыптасу және қарқынды тұтыну аймақтарымен шектелген, өзара байланысты абиотикалық және биотикалық сипаттамалары / көл экожүйелері / сулы-батпақты алқаптарының параметрлері ранжирлеу туралы мәліметтер келтірілген. Ранжирлеу нәтижелері бойынша тұңғыш рет көлдер жүйесінің экологиялық жай-күйінің аймақтық кешенді индексі жасалды (ЭЖИ).*

V.N. Talskikh, L.Yu. Shardakova

## REGIONAL METHOD DEVELOPMENT FOR POINT-INDEX ASSESSMENT OF LAKE SYSTEMS STATE IN THE ARAL SEA BASIN

**Key words:** vulnerability of lake ecosystems/wetlands, favourable, conditionally favourable, unfavourable wetlands, score-index ranking, abiotic and biotic ecological parameters, ecological state index.

*The article presents the results of ranking the mutually related abiotic and biotic characteristics of lake ecosystems/wetlands in the Amu Darya and Syrdarya River Basins, which are confined to the zones of formation and intensive consumption of surface runoff and are at different stages of ecological succession under the influence of various anthropogenic factors. Based on the ranking result, a regional integrated ecological state index of lake systems (ESI) was developed for the first time.*

УДК 574.524(504.058)

Канд. биол. наук

В.Н. Тальских<sup>1</sup>  
Л.Ю. Шардакова<sup>1</sup>**РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ БАССЕЙНА  
АРАЛЬСКОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

**Ключевые слова:** благополучные, условно благополучные, неблагоприятные ветланды, балльно-индексное ранжирование, абиотические и биотические экологические параметры, индекс экологического состояния.

*Приводятся результаты индексной оценки по балльной шкале состояния некоторых озерных экосистем/ветландов в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи с использованием комплекса абиотических и биотических параметров, а также значения впервые разработанного регионального индекса экологического состояния (ИЭС). Для наглядности даны примеры расчета ИЭС для экологически разнотипных ветландов, относящихся к «условно благополучным» и «неблагополучным».*

Ясные временные экологические тренды по большинству ветландов дельты и нижнего течения Амударьи и Сырдарьи (также как и в целом по бассейну Аральского моря), выявить не представляется возможным из-за ограниченности необходимых сведений, поскольку их регулярный экологический мониторинг не проводится. Тем не менее, методология оценки, представленная в предыдущих статьях «Разработка индикаторов экологически допустимого состояния для озерных экосистем бассейна Аральского моря в условиях антропогенного воздействия и изменения климата», «Разработка регионального метода балльно-индексной оценки состояния озерных систем бассейна Аральского моря», результаты полевых исследований, собранная обзорная информация и экспертные оценки [1-5], позволили дифференцировать некоторые ветланды на: «благополучные» (с удовлетворительным экологическим состоянием), «условно бла-

---

<sup>1</sup> НИГМИ Узгидромета, г. Ташкент, Узбекистан.

гополучные» (с условно удовлетворительным экологическим состоянием), «неблагополучные» (находящиеся в состоянии выраженного экологического регресса). Оценка проводилась по методу расчета комплексного индекса экологического состояния (ИЭС) озерных систем, впервые разработанного для региона. Индекс рассчитывается на основе фиксированного набора индикаторов, которые разделены на две взаимно увязанные между собой группы: абиотические (А1...А10 – 10 параметров) и биотические (Б1... Б14 – 14 параметров) и оцениваются по балльной шкале (ИО – индекс оценки). Итоговые результаты представлены в сводной табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица результатов балльно-индексной оценки экологического состояния озер

Название озера	Водность года	∑ИО, баллы	п, кол-во ИО	ИЭС	Эколог. состояние
Акчакуль	СрВ*	68	15	4,5	Бл
Аязкала	СрВ	38	17	2,2	НБл
Каратерень (вост.)	СрВ	86	19	4,5	Бл
Макпалколь	СрВ	35	9	3,9	УБл
	МВ/Зш	11	11	1,0	НБл
Муйнакский залив	СрВ	72	19	3,8	УБл
	МВ/Зш	21	19	1,1	НБл
Рекреационное озеро б/н (лев. берег р. Сырдарьи)	СрВ	108	20	5,4	Бл
Рыбачий залив	СрВ	49	13	3,8	УБл
	МВ/Зш	13	13	1,0	НБл
Судочье (Плеса)					
Большое Судочье	МВ/Зш	23	23	1,0	НБл
	СрВ	82	23	3,6	УБл
Бегдулла-Айдин	СрВ	81		3,5	УБл
	МВ/Зш	23	23	1,0	НБл
Каратерень	СрВ	86	23	3,7	УБл
	МВ/Зш	23	23	1,0	НБл
Тайлы (сев.ч. оз. Акушпа)	СрВ	54	22	2,4	НБл
	МВ/Зш	23	23	1,0	НБл
Акушпа	СрВ	53	23	2,3	НБл
	МВ/Зш	23	23	1,0	НБл
Шегекуль (вдхр. Между-речье)	СрВ	71	19	3,7	УБл
	МВ/Зш	23	19	1,2	НБл

Примечание: МВ/Зш – маловодный, засушливый год, СрВ – средней водности год; Бл – благополучное, УБл - условно благополучное, НБл- неблагополучное.

В соответствии с табл. 1 к «условно благополучным» ветландам можно отнести в разной мере проточные плесы ветланда Судочье – Бегдулла-Айдин, Большое Судочье, Каратерень, а также правобережные дельтовые озера Шегекуль (водохранилище Междуречье), Муйнакский залив, Рыбачий залив, Макпальколь, которые в критически маловодные и засушливые годы перешли в категорию «неблагополучных» или полностью деградировали.

Озера Акчакуль, Каратерень (восточный) в правобережной части нижнего течения Амударьи в средние по водности годы, а также безымянное озеро на левобережье Сырдарьи, используемое как рекреационный водоем, входят в категорию «благополучных».

К «неблагополучным» ветландам, не зависимо от водности года, относятся плесы Акушпа, Тайлы (ветланд Судочье) и Аязкала.

Приведенные в табл. 1 ветланды для лет средней водности (1990-е годы) представляют собой ряд экосистем с характеристиками от «благополучного» состояния со значением ИЭС 4,5...5,4 балла для транзитных по типу питания ветландов до «условно благополучного» состояния со значениями ИЭС 3,52...3,9 баллов для аккумулятивно-транзитных ветландов.

Экологический статус аккумулятивных ветландов в средний по водности период был низким и оценивался значениями ИЭС 2,2...2,45 баллов, т.е. они относились к категории «неблагополучных».

В маловодный засушливый период 2000...2001 гг., в связи с нарушением водного баланса, экологические характеристики/параметры состояния всех озер ветланда Судочье, а также озер Макпальколь Шегекуль, Муйнакского и Рыбачьего заливов постепенно ухудшались. К концу 2001 г. экологический регресс привел к полной деградации этих ветландов, состояние которых в этот период оценивалось значением ИЭС 1,0...1,2 балла.

В табл. 2 для наглядности выборочно приведены примеры результатов расчета значений ИЭС для разнотипных озерных экосистем:

- для транзитно-аккумулятивной озерной экосистемы в среднем течении Сырдарьи, стабильно подпитываемой речной водой и используемой в рекреационных целях;
- для транзитно-аккумулятивной экосистемы ветланда Каратерень дренируемого коллекторно-дренажным стоком;
- для аккумулятивной системы ветланда Акушпа – накопителя коллекторно-дренажного стока.

Таблица 2

Примеры расчета ИЭС озерных экосистем/ветландов с использованием экологических индикаторов

Индикатор	Характеристика параметра	ИО	Водность года
<b>Рекреационное озеро б/н (левый берег р. Сырдарья)</b>			
А-1	Речное питание из скважины и из р. Сырдарья	5	СрВ
А-2	Транзитно-аккумулятивный	5	СрВ
А-3	Регулируемый гидрологический режим с постоянной подпиткой на восполнение потерь воды за счет испарения и фильтрации	5	СрВ
А-4	Обеспечено поддержание постоянного уровня воды	5	СрВ
А-5	Прозрачность водной толщи 2,5...2,7 м	5	СрВ
А-6	Бесцветная в мелководной зоне и зелено-бирюзовый оттенок в глубоководной приплотинной зоне	5	СрВ
А-7	Средняя глубина 2,5...4,5 м	5	СрВ
А-8	Минерализация воды 0,7...0,8 г/л	7	СрВ
А-9	Растворенный кислород 10,46...13,70 мг/л	7	СрВ
А-10	Грунты в основном представлены плотными и мягкими глинами с серым наилком, местами с выходом галечника		СрВ
Б-1	Водно-болотная растительность не развита	7	СрВ
Б-2	Мозаичное скопления в мелководных зонах рдестов (нитевидного, курчавого), хары и зеленых нитчатых водорослей – до 50 % проективного покрытия	5	СрВ
Б-3	Доминирование пресноводных видов водорослей	7	СрВ
Б-4	Данные отсутствуют	-	СрВ
Б-5	ЗС – бетамезосапробная (в) ИС – 1,50...1,78	5	СрВ
Б-6	Доминирование пресноводных видов	7	СрВ
Б-7	Доминируют зарослевые и прудовые формы <i>Rotifera</i> , <i>Cladocera</i> , <i>Copepoda</i> с преобладающим развитием <i>Rotifera</i>	5	СрВ
Б-8	Разнообразное развитие пресноводных и солоноватоводных пелагиальных и зарослевых видов <i>Ephemeroptera</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Coleoptera</i> , <i>Gammaridae</i> , <i>Hirudinea</i> , <i>Odonata</i> , <i>Oligochaeta</i> , <i>Hemiptera</i> , <i>Heteroptera</i> , <i>Diptera</i> , <i>Mollusca</i> , <i>Misidaceae</i>	5	СрВ

Инди-кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод-ность года
Б-9	Трофическая сеть разветвленная, в которой наряду с сокребателями, измельчителями, подбирающими коллекторами и хищными формами также заметно развиваются зарослевые формы и фито-детритофаги	5	СрВ
Б-10	Доминирование пресноводных и широко распространенных <i>Bacillariophyta</i> из родов <i>Melosira, Achnanthes, Cocconeis, Cyclotella, Cymbella, Diatoma, Synedra, Gomphonema, Fragilaria Navicula, Nitzschia, Surirella, Gyrosigma</i>	5	Ср В
Б-11	ПС – 2,4 МГ % – 9	5	СрВ
Б-12	ЗС – бетамезосапробная (в) ИС – 1,74...1,96	3	СрВ
Б-13	Данные отсутствуют	-	СрВ
Б-14	Данные отсутствуют	-	СрВ
Рас-чет ИЭС	Сумма баллов – $\sum$ ИО =108 Количество учтенных ИО: n =20; ИЭС = $\sum$ ИО/n = 5,40	ИЭС 5,40	СрВ
<b>Ветланд Судочье: плес Каратерень</b>			
А-1	КДВ	1	СрВ
	КДВ	1	МВ
А-2	Транзитный	7	СрВ
	Аккумулятивный	1	МВ
А-3	Средний многолетний объем подпитывающего стока 640 млн. м <sup>3</sup> /год. В 1999 г. 568,2 млн. м <sup>3</sup> /год, что составило 88 % от условной нормы	5	СрВ
	В 2001 г. объем стока в систему ветланда Судочье был 46,2 млн. м <sup>3</sup> /год, что составило 8 % от условной нормы	1	МВ
А-4	Колебания уровня воды 0,3...0,35 м	5	СрВ
	Колебания уровня воды 1,21 м	1	МВ
А-5	Прозрачность до дна	3	СрВ
	Высыхание	1	МВ
А-6	Цвет воды в пелагиале с преобладанием зеленого оттенка	3	СрВ
	Высыхание	1	МВ
А-7	Средняя глубина 1,0...1,2 м	3	СрВ
	0,2 м – высыхание	1	МВ
А-8	Средняя минерализация 3,72...12,9 г/л	3	СрВ
	Средняя минерализация 18,2...54,0 г/л	1	МВ

Инди-кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод-ность года
А-9	Данные отсутствуют	-	СрВ
	Данные отсутствуют	-	МВ
А-10	Грунты: по всей акватории – темно-серые и черные илы с растительным детритом и запахом сероводорода	1	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-1	Покрытие 50...70 % прибрежной зоны	3	СрВ
	Высыхание прибрежных зарослей	1	МВ
Б-2	Одновременное обильное развитие пресноводных и солоноватоводных макрофитов до глубины проникновения света	3	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-3	Преобладающее развитие пресноводно-солоноватоводных видов водорослей	5	СрВ
	Преобладающее развитие солоноватоводно-морских видов водорослей - Высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-4	ЗС – бетамезосапрбная (в) ИС – 2,26	3	СрВ
	ЗС – альфамезосапрбная (а) ИС – 2,52 –высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-5	Биомасса 2,22...36,8 г/м <sup>3</sup>	3	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-6	7 % галофильных видов	5	СрВ
	100 % галофильных видов – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-7	Разнообразное качественное развитие пелагиальных и зарослевых видов <i>Rotifera</i> , <i>Copepoda</i> , <i>Cladocera</i> .	5	СрВ
	Выпадение из состава зоопланктона <i>Cladocera</i> –	1	МВ
	Высыхание всей акватории озера		
Б-8	Донная фауна представлена в основном пресноводно-солоноватоводными пелагиальными и зарослевыми видами хирономид, поденок, ручейников, стрекоз, клопов, моллюсков, мизид, гаммарусов, олигохет, жуков.	5	СрВ
	Из состава донной фауны выпали поденки, ручейники, стрекозы, клопы и пресноводно-солоноватоводные моллюски – высыхание всей акватории озера.	1	МВ

Инди-кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод-ность года
Б-9	Преобладающее развитие зарослевых форм и фито-детритофагов, слабое развитие хищников при общей разветвленности трофической сети.	3	СрВ
	Разрушение трофической сети, массовое развитие 3-х солоноватоводно-морских видов <i>Mollusca</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Polychaeta</i> – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-10	Интенсивное и разнообразное развитие пресноводно- солоноватоводные и тяготеющие к биотопам со скоплением растительного детрита видов <i>Bacillariophyta</i>	3	СрВ
	Доминирование солоноватоводных и солоноватоводно-морских видов <i>Bacillariophyta</i> – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-11	ПС – 1,60 МГ % – 26	3	СрВ
	ПС – 0,87 МГ % – 52. Высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-12	ЗС – бетамезосапрбная (в) ИС 1,85	3	СрВ
	ЗС – бетамезосапрбная (в) ИС 1,80	3	МВ
Б-13	Гидрофильные виды птиц – 94,8...97,5 %	7	СрВ
	В связи с пересыханием акватории фауна гидрофильных птиц исчезла	1	МВ
Б-14	Присутствие в ихтиофауне преимущественно взрослых особей промысловых лимнофильных рыб	3	СрВ
	Деградация рыбного стада	1	МВ
Рас-чет	Сумма баллов: $\sum ИО = 86$ ,	ИЭС	СрВ
ИЭС	Количество учтенных ИО: $n = 23$ ;	3,7	
ИЭС	$ИЭС = \sum ИО/n = 3,74$	4	
Рас-чет	Сумма баллов: $\sum ИО = 23$	ИЭС	МВ
ИЭС	Количество учтенных ИО: $n = 23$ ;	1,0	
ИЭС	$ИЭС = \sum ИО/n = 1,0$		
<b>Ветланд Судочье: плес Акушпа</b>			
А-1	КДВ	1	СрВ
	КДВ	1	МВ
А-2	Аккумулятивный	1	СрВ
	Аккумулятивный	1	МВ
А-3	Средний многолетний объем подпитывающего стока 640 млн. м <sup>3</sup> /год. В 1999 г.	5	СрВ

Инди-кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод-ность года
	568,2 млн. м <sup>3</sup> /год, что составило 88 % от условной нормы		
	В 2001 г. объем стока в систему ветланда Судочье был 46,2 млн.м <sup>3</sup> /год, что составило 8 % от условной нормы	1	МВ
A-4	Колебания уровня воды 0,3...0,35 м	5	Ср В.
	Колебания уровня воды 0,75 м	1	МВ
A-5	Прозрачность до дна	3	СрВ
	Дно не просматривается	1	МВ
A-6	Серо-зеленый цвет воды в пелагиале	3	СрВ
	Желто-коричневый цвет воды по всей акватории	1	МВ
A-7	Средняя глубина 1,5...1,7 м	5	СрВ
	Средняя глубина 0,3 м	1	МВ
A-8	Средняя минерализация 23,27...47,48 г/л	1	СрВ
	Средняя минерализация 35,6...82,9 г/л	1	МВ
A-9	Данные отсутствуют	-	СрВ
	Данные отсутствуют	-	МВ
A-10	Грунты: в пелагиале – серые и темно серые илы с заметным содержание растительного детрита; в прибрежных зарослях – мощные черные илы с большим содержанием растительного детрита и выраженным запахом сероводорода	3	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
B-1	Покрытие 50...70 % прибрежной зоны и острова зарослей в средней части озера	1	СрВ
	Высыхание прибрежных и островных зарослей	1	МВ
B-2	Развитие только солоноватоводных макрофитов до глубины проникновения света	3	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
B-3	Преобладающее развитие солоноватоводных видов водорослей	3	СрВ
	Преобладающее развитие солоноватоводно-морских видов водорослей – высыхание всей акватории озера	1	МВ
B-4	ЗС – бета-альфамезосапрбная (в-а) ИС – 2,48	3	СрВ
	ЗС – альфамезосапрбная (а) ИС – 2,53 – высыхание всей акватории озера	1	МВ
B-5	Биомасса 11,2...25,7 г/м <sup>3</sup>	3	СрВ
	Высыхание всей акватории озера	1	МВ
B-6	72 % галофильных видов	1	СрВ

Инди-кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод-ность года
	100 % галофильных видов – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-7	Выпадение из состава зоопланктона <i>Cladocera</i> –	1	СрВ
	Выпадение из состава зоопланктона <i>Cladocera</i> – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-8	Донная фауна представлена 3...4 солоновато-водно-морскими видами моллюсков, хирономид, полихет	1	СрВ
	Донная фауна представлена 3...4 солоновато-водно-морскими видами моллюсков, хирономид, полихет – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-9	Разрушение трофической сети, массовое развитие 3-х солоноватоводно-морских видов <i>Mollusca</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Polychaeta</i>	1	СрВ
	Разрушение трофической сети, массовое развитие 3-х солоноватоводно-морских видов <i>Mollusca</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Polychaeta</i> – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-10	Преобладающее развитие солоноватоводных и слоноватоводно-морских видов <i>Bacillariophyta</i>	1	СрВ
	Появление типично морских видов <i>Bacillariophyta</i>	1	МВ
Б-11	ПС – 0,34 МГ % – 61	1	СрВ
	ПС – 0,22 МГ % – 72 – высыхание основной акватории озера	1	МВ
Б-12	ЗС – бетамезосапрбная (в) ИС – 2,12	3	СрВ
	ЗС – бетамезосапрбная (в) ИС – 2,26 – высыхание всей акватории озера	1	МВ
Б-13	Гидрофильные виды птиц – 90,7...94,7 %	7	СрВ
	В связи с пересыханием акватории фауна гидрофильных птиц исчезла	1	МВ
Б-14	Отсутствие промысловых пресноводно-генеративных рыб	1	СрВ
	Высыхание озера	1	МВ
Рас-чет	Сумма баллов: $\sum \text{ИО} = 53$	ИЭС	СрВ
	Количество учтенных ИО: n=23;	2,30	
ИЭС	$\sum \text{ИЭС} = \sum \text{ИО} / n = 2,30$		

Инди- кагор	Характеристика параметра	ИО	Вод- ность года
Рас- чет	Сумма баллов $\sum \text{ИО} = 23$	ИЭС	МВ
ИЭС	Количество учтенных ИО: $n = 23$ ; $\text{ИЭС} = \sum \text{ИО} / n = 1,0$	1,0	

*Примечание:* Значения ИЭС: 7 баллов – благополучное (фоновое) состояние; 5 баллов – благополучное состояние; 3 балла – условно благополучное состояние; 1 балл – неблагоприятное состояние.

Предложенная табличная форма записи представляет, по сути, удобную формализованную матрицу, которая в процессе осуществления долгосрочного мониторинга позволяет в стандартном виде накапливать/наращивать многолетний массив характеристик и прослеживать их динамику. Для этого достаточно добавлять для каждого вновь оцениваемого параметра дополнительную строку, а в последней графе таблицы проставлять дату обследования и, при необходимости, какое-либо краткое примечание (например, указание на характер водности года, на рекреационную нагрузку вовремя проведения исследования, информацию об уловах рыбы у работающих на ветланде рыболовных бригад и др.).

Можно заключить, что предложенная система оценки экологического благополучия озерных экосистем, основанная на ранжировании взаимно связанных абиотических и биотических характеристик /параметров озерных экосистем достаточно объективно отражает изменения происходящих в них сукцессионных процессов под влиянием сложившихся условий и внешних воздействий. Рассчитанный индекс ИЭС проявил себя как чувствительный индикатор изменения условий функционирования озерных экосистем/ветландов под воздействием изменчивых антропогенных и климатических факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин А. М. Гидрологический режим озер и водохранилищ СССР. Озера Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 106 с.
2. Тальских В.Н. Методология оценки экологического состояния водных объектов Приаралья по гидробиологическим показателям. Пресная вода. // Труды отраслевой научно-практ. конф., 1995. – Ташкент. – С.87-95.
3. Тальских В.Н., Беглов Е.О. Влияние климатических факторов на водные экосистемы и меры адаптации // Последствия изменения



V.N. Talskikh, L.Yu. Shardakova

## ASSESSMENT RESULTS OF THE LAKE SYSTEMS OF THE ARAL SEA BASIN USING THE ECOLOGICAL STATE INDEX

**Key words:** favourable, conditionally favourable, unfavourable wetlands, score-index ranking, abiotic and biotic environmental parameters, ecological state index.

*There are given results of score-index assessment of some lake ecosystems/wetlands state in the Amu Darya and Syrdarya River Basins using a complex of abiotic and biotic parameters, as well as the values of the first developed regional ecological state index (IES). For clarity, examples are given for calculating the IES for ecologically diverse types of wetlands belonging to “conditionally favourable” and “unfavourable”.*

УДК.556.16:556.072

Геогр. ғылым. докторы  
Геогр. ғылым. канд.С.К. Давлеткалиев<sup>1</sup>  
С.К. Алимкулов<sup>2</sup>  
Э.К. Талипова<sup>2,1</sup>**ӨЗЕН АҒЫНДЫСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ АЙЛЫҚ МӘНДЕРІН БІРЛЕСТІРІП, СТАТИСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ ГИДРОГРАФЫН ҰЗАҚ МЕРЗІМГЕ БОЛЖАУ**

**Түйін сөздер:** статистикалық модельдеу, канондық жіктеу, айлық ағынды, ағынды гидрографы, жауын-шашын, ұзақ мерзімдік болжам, корреляциялық матрица.

*Мақалада айлық ағынды мен жауын-шашын мәндерін канондық жіктеу әдісі арқылы бірлестіре статистикалық модельдеу мүмкіншілігі көрсетілген. Модельденген қатардың сапасын тексеру мақсатында бақыланған және модельденген мәндердің, яғни орташа мәндері, асимметрия және вариация, авто және өзара корреляция коэффициенттері салыстырылды. Ағынды құраушы фактордың модельденген қатары арқылы климат өзгеруінің әртүрлі сценарийлері негізінде айлық ағындыға ұзақ мерзімді болжам жасалды.*

Гидрологиялық сипаттамаларды алдағы бірнеше онжылдықтарға болжау мәселесі гидрология саласының маңызды бөлшегі болып табылады. Ол халықты және экономика салаларын сумен қамтамасыз етуді жоспарлау бойынша маңызды тәжірибелік тапсырмаларды шешумен және аумақтық, алаптық су бөлісу, өзен ағындысын реттеу барысындағы ірі су шаруашылық іс-шараларды негіздеумен тікелей байланысты [4].

Бірақ қазіргі таңда дүние жүзінде су ресурстарын алдағы 1...5 жылдан жоғары уақытқа болжаудың бірінғай әдістемесі жоқтың қасы, яғни ұзақ мерзімдік болжамдарға арналған арнайы әдістер мен мемлекеттік стандарттар жасалмаған. Өкінішке орай, ғылымның қазіргі даму деңгейі

<sup>1</sup> әл-Фараби атын. ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup> География институты ЖШС, Алматы қ., Қазақстан

өзен ағындысының сенімді болжамдарын жасауға қауқары жетпейді, дегенмен тек мүмкін болатын сценарийлер немесе сценарлық болжамдар беруге болады [4].

Келешектегі өзен ағындысының өзгерісін болжау үшін негізгі екі тұжырымдаманы қарастыруға болады. Бірінші тұжырымдамаға сәйкес өзен ағындысының қалыптасу негізі оның стохастикалық түп негізінде жатыр деп қарасақ болады, яғни өзен ағындысын қалыптастыратын процесстердің тұрақтылығына сүйеніп өзен ағындысының уақыттық қатарын келешекте мүмкін болатын өзгеріс заңдылықтарын ескере отырып болжау. Бірақ өзен ағындысын қалыптастыратын климаттық параметрлер қазіргі кезде өзгеріске ұшырағаны анық. Климат өзгерісі 21 ғасырдағы өзекті мәселелердің біріне айналды [4]. Климаттың өзгеруі жөніндегі мемлекетаралық топтың (КӨЖМІП) бесінші есебі бойынша ғаламдық орташа ауа температурасы 1981...2000 жылдармен салыстырғанда  $0,46 \pm 0,1$  °C көтерілгенін көрсетеді [9]. Осы орайда ғаламдық климат өзгерістерін ескере отырып өзен ағындысын ұзақ мерзімге болжау туралы екінші тұжырымдама пайда болды. Гидрологиялық құбылыстар ауа-райы шарттарымен тікелей байланысты және олардың болжамы ұзақ мерзімді метеорологиялық болжамдардың сапасына тікелей бағынышты болады. Е.А. Леоновтың «Космос және өте ұзақ мерзімді гидрологиялық болжамдар» монографиясында климаттың су ресурстарына әсерінің алты каналы атап көрсетілген. Бірақ алты каналдың негізгі факторларының өзен ағындысына бірлескен әсері әліде толық зерттелмеген және көптеген мамандардың зерттеуін талап етеді [8].

Бұл мақалада айлық өзен ағындысы мен метеорологиялық факторлардың статистикалық модельденген мәндерін ағынды гидрографының сценарлық болжамын жасау мүмкіншілігі қарастырылды. Айлық ағынды гидрографын модельдеуге арналған көптеген жұмыстарды атап өтуге болады [2, 3, 5-7, 10-16 ], әдістің жетістіктері мен кемшіліктері толығырақ [6] жұмыста қарастырылған. Сондай ақ Ресей ғылым академиясының Су мәселелері институтында ағынды қалыптасуының физика-математикалық моделі негізінде ағындыны қалыптастыратын факторларды ескеретін жұмыс жасалған [10]. Бірақ мұндай болжамдардың ұзақтылығы шектеулі және ғаламдық климаттың өзгеруі нәтижесінде ағынды құраушы факторлардың өзгерісі ескерілмеген.

Модельдеудің негізгі мақсаты атмосфералық жауын-шашын мен ауа температурасының жағдайын ескеріп көптеген ағынды гидрографын

алу болып табылады. Ағынды мен оны қалыптастыратын факторлардың гидрографының бірнеше нұсқасының соңғы уақыт нүктесіне қойылған кездейсоқ процестер мен векторларды модельдеу мақсаты ретінде қарастыруға болады. Қалыпты процестер корреляциялық мезет матрицасымен беріледі, сәйкесінше корреляциялық теория шеңберінде модельдеу көп өлшемді үлестірім заңы бойынша модельдеумен тең. Осы орайда ағындыны статистикалық модельдеудің ең тиімді ұстанымы ретінде канондық жіктеуді қарастыруға болады. Ол кездейсоқ шамалар мен кездейсоқ емес функциялар жиынтығын сипаттауға мүмкіншілік береді. Канондық жіктеу әдісі сызықтық түрлендіру санатындағы тиімдісі және маңызды артықшылығының бірі метеорологиялық параметрлермен байланысты модельдеу процесін бірнеше тұстамада бір уақытта жасауға болатындығы [5, 6, 11].

Кездейсоқ векторлық функцияларды канондық жіктеу бірөлшемді жағдай формулаларының жинақтау жолымен алынады. Ол үшін [11] жұмыста көрсетілгендей сәйкес келетін  $t$  аргументінің қатынасын  $t$  аргумент жиынтығына ауыстырып, кездейсоқ векторлық функцияның нөмірін енгізу керек. Яғни кездейсоқ векторлық функцияны жіктеу төмендегі формуламен беріледі:

$$Q_{\ell}(t_v) = m_Q(t_v) + \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^M \varphi_{v\ell}^{(i)}(t_v) V_v, \quad (1)$$

$$(i, \ell = 1, \dots, N)$$

$$\varphi_{v\ell}^{(i)}(t_v) = \frac{1}{D_v^{(i)}} \left[ K_{i\ell}(t_v t_{\mu}) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{m=1}^M D_m^{(k)} \varphi_{mi}^{(k)}(t_v) \varphi_{mi}^{(k)}(t_{\mu}) - \sum_{m=1}^{v-1} D_m^{(i)} \varphi_{mi}^{(i)}(t_v) \varphi_{m\ell}^{(i)}(t_{\mu}) \right] \quad (2)$$

Мұнда,

$$D_v^{(i)} = K_{ii}(t_v t_v) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{m=1}^M D_m^{(k)} [\varphi_{mi}^{(k)}(t_v)]^2 - \sum_{m=1}^M D_m^{(i)} [\varphi_{mi}^{(i)}(t_v)]^2 \quad (3)$$

$D_v$  - кездейсоқ коэффициентінің дисперсиясы;

$K_{ii}(t_v t_{\mu})$  – векторлық кездейсоқ функцияның  $V$  корреляциялық және өзара корреляциялық функциясы

$Q_{\ell}(t)$ ,  $M$  – жыл ішіндегі есептік аралықтар саны (айлар, декадалар)

Мұнда

$v = 1, 2, \dots, M$ ;

$\mu > v, \quad \mu = v+1, v+2, \dots, M \quad (l = i)$ ;

$\mu = 1, 2, \dots, M; \quad 1 = i+1, i+2, \dots, N \quad (l > i)$ .

(1) теңдеуді орталық функциялар үшін жазып, математикалық күтуді орындап және кездейсоқ корреляциялық коэффициенттерді ескере отырып, теңдеудің екі жағын  $V$ -ға көбейту арқылы  $Q_1(t)$  бірінші құраушысының координаталық функциясын аламыз. Одан әрі  $Q_2(t)$ ,  $Q_3(t)$ , .....  $Q_M(t)$  от  $Q_I(t)$  құраушыларын канондық жіктеу арқылы өзара корреляция функциясын аламыз. Бұл формуладан авто және өзара координаталық функциялар  $Q_2(t)$  анықталады. Осы процесті жалғастыра отырып, кездейсоқ векторлық функциялардың барлық құраушысына  $Q_I(t)$  канондық жіктеу жүргіземіз.

Егер негізгі ағынды қалыптастырушы фактор ретінде айлық жауын-шашын мен ауа температурасы қарастырылатын болса, онда (1) формуладағы канондық жіктеу екі кездейсоқ функция үшін төмендегідей жазылады:

$$Q(t) = m_Q(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v1}^{(1)}(t)V_v^{(1)},$$

$$P(t) = m_p(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(1)}(t)V_v^{(1)} + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(2)}(t)V_v^{(2)}, \quad (4)$$

мұнда  $m_Q(t)$ ,  $m_p(t)$ , -  $Q(t)$ ,  $P(t)$ , құраушылары үшін математикалық күту;

$V_v^{(1)}$ ,  $V_v^{(2)}$ , – математикалық күту нөлге тең болатын реттелмеген кездейсоқ шамалар;  $\varphi_{v2}^{(1)}(t)$  –  $P(t)$  және  $Q(t)$  құраушылары бар өзара координаттық функциясы;  $Q(t)$  – ағынды,  $P(t)$  – атмосфералық жауын-шашын. Ағынды қалыптастырушы факторлар мен ағындыны біртұтас модельдеу алгоритмы [8] жұмыста көрсетілген.

Бұл жұмыста айлық ағынды гидрографының болжамын канондық жіктеу әдісімен жасау мүмкіншілігін Іле өзенінде Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары орналасқан гидрологиялық бекет мәліметтерімен жүргізілді. Модельді тексеру мақсатында есептік кезең ретінде 1960...2015 жж. аралығындағы өзен ағындысы және ағындыны құраушы фактор ретінде атмосфералық жауын-шашын алынды. Атмосфералық жауын-шашынның өзен ағындысының арасындағы жақсы корреляциялық байланыс яғни  $r > 0,60$  жоғары болған Нарынқол және Мынжылқы метеостанцияларының (МС) мәндері алынды. Модельденген қатар саны 500 жылды құрайды.

Айлық ағынды мен жауын-шашынның таралу заңдылығы барлық жағдайда Пирсонның  $\chi^2$  критерийі бойынша алынды. Модельдің сапасы

негізгі және модельденген қатарлардың салыстыруы арқылы жүзеге асады. Айлық ағынды мен жауын-шашынның негізгі сипаттамаларының айлық мәндерін салыстыру нәтижелері төмендегі 1-4 кестелерде көрсетілген.

Кесте 1

Іле өзені (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) және Нарынқол, Мынжылқы МС бойынша айлық орташа су өтімі және жауын-шашынның статистикалық параметрлері.

Пара-метр	Айлар												Жыл
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Су өтімі													
Q, м <sup>3</sup> /с	226	239	351	408	606	885	1066	1073	605	402	350	279	541
	228	240	352	410	603	880	1058	1069	602	400	347	277	543
Cv	0,14	0,15	0,12	0,21	0,27	0,30	0,26	0,20	0,16	0,11	0,10	0,15	0,15
	0,15	0,15	0,12	0,21	0,27	0,30	0,26	0,20	0,16	0,12	0,11	0,16	0,15
Cs/Cv	6	2	1	2	2	1	5	6	2	1	1	2	4
	8	2	1	1	2	1	4	5	3	2	2	3	3
r	0,05	-0,07	0,41	0,02	0,21	0,24	0,19	0,27	0,32	0,08	0,21	-0,09	0,32
	0,07	-0,05	0,43	-0,04	0,07	0,06	0,15	0,21	0,21	-0,03	0,17	-0,17	0,11
Жауын-шашын													
X, мм	15,9	18,1	33,0	62,9	98,2	104,0	97,5	64,9	41,1	39,3	30,5	20,2	52,1
	15,2	17,3	32,5	63,6	99,9	104,5	99,9	63,7	40,1	39,7	31,1	20,2	52,7
Cv	0,58	0,44	0,45	0,39	0,28	0,27	0,36	0,44	0,48	0,44	0,52	0,63	0,15
	0,57	0,44	0,45	0,38	0,29	0,28	0,36	0,47	0,47	0,44	0,53	0,74	0,15
Cs/Cv	2	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3
	2	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	3	2
r	-0,03	0,03	-0,07	-0,05	-0,14	-0,10	-0,02	-0,10	0,00	-0,13	-0,19	-0,03	-0,03
	-0,04	-0,02	-0,11	-0,10	-0,13	-0,13	-0,05	-0,14	0,00	-0,15	-0,16	-0,10	-0,15

Ескерту: 1-ші қатар – бақыланған мәліметтер, 2-ші қатар – модельденген мәліметтер.

Кестеден көріп тұрғанымыздай айлық ағынды мен жауын-шашынның модельденген және бақыланған орташа мәні вариация коэффициенті арасында 500 жылға модельденген мәліметтер бойынша салыстырмалы түрде жақсы сәйкестік байқалады. Бірінші реттік автокорреляция және ассиметрия коэффициенті арасындағы айырмашылық осы параметрлердің есептік дәлдігінде жатыр. Канондық жіктеу әдісі сондай-ақ бастапқы және модельденген мәліметтердің корреляциялық және өзара корреляциялық матрицаларын да жақсы шығарады (кесте 2).

Модельдеудің дәлдігін тексеру үшін Іле өзені – Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары орналасқан гидрологиялық бекеттен алынғын

сулылығы әртүрлі жылдар үшін модельденген мәліметтерді нақты мәндермен салыстырылды және оның нәтижесі төмендегі кестеде көрсетілді (кесте 4).

Кесте 2

Су өтімі және жауын шашынның бақыланған (1-ші қатар) және модельденген (2-ші қатар) корреляциялық матрица қатары (n=500 жыл).

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Су өтімі												
I	1	0,64	0,22	-0,05	0,05	0,07	0,06	0,10	0,26	0,20	0,19	0,23
		0,63	0,21	-0,03	0,13	0,12	0,06	0,09	0,30	0,26	0,29	0,31
II		1	0,51	0,05	0,10	0,16	0,10	-0,03	-0,01	0,17	0,20	0,31
			0,45	0,05	0,20	0,25	0,13	-0,01	0,08	0,28	0,33	0,39
III			1	0,29	0,22	0,15	0,05	0,00	0,00	0,14	0,29	0,08
				0,20	0,18	0,18	0,04	-0,02	0,03	0,14	0,29	0,08
IV				1	0,37	0,46	0,43	0,53	0,43	0,41	0,36	0,33
					0,36	0,45	0,45	0,55	0,47	0,45	0,39	0,46
V					1	0,68	0,53	0,50	0,55	0,60	0,54	0,37
						0,67	0,53	0,51	0,57	0,62	0,52	0,41
VI						1	0,65	0,53	0,57	0,73	0,56	0,41
							0,60	0,46	0,53	0,72	0,53	0,46
Жауын-шашын												
VII							1	-0,01	-0,08	0,14	0,11	0,05
								-0,03	-0,06	0,14	0,11	0,03
VIII								1	-0,15	-0,04	-0,08	0,04
									-0,21	-0,05	-0,09	0,06
IX									1	0,13	-0,09	0,05
										0,24	-0,13	0,01
X										1	0,03	0,13
											0,04	0,23
XI											1	0,01
												0,01
XII												1

Кесте 3

Су өтімі және жауын шашынның бақыланған (1-ші қатар) және модельденген (2-ші қатар) өзара корреляциялық матрица қатары (n=500 жыл).

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	0,04	0,01	0,06	0,29	0,31	0,30	0,33	0,39	0,33	0,26	0,24	0,22
	0,05	-0,02	-0,03	0,31	0,34	0,28	0,28	0,40	0,39	0,30	0,22	0,27
II	-0,14	0,01	-0,11	0,22	0,15	0,41	0,23	0,19	0,17	0,29	0,18	0,24
	-0,08	0,05	-0,09	0,23	0,10	0,38	0,26	0,20	0,15	0,31	0,20	0,26
III	0,13	0,15	0,07	0,39	0,23	0,25	0,24	0,38	0,22	0,11	0,13	0,27
	0,06	0,13	0,00	0,41	0,20	0,26	0,20	0,32	0,20	0,12	0,12	0,32
IV	0,07	0,11	0,19	0,24	0,12	0,20	0,09	0,18	0,12	0,13	0,17	0,08

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
V	0,06	0,16	0,24	0,29	0,15	0,22	0,06	0,13	0,12	0,17	0,20	0,15
	0,11	0,28	0,24	0,04	0,25	0,32	0,06	0,02	0,11	0,16	0,12	0,02
VI	0,08	0,28	0,20	0,03	0,26	0,34	0,07	-0,02	0,08	0,17	0,13	0,05
	0,04	0,03	-0,09	0,11	0,27	0,26	0,20	0,19	0,19	0,26	0,15	0,17
VII	0,03	0,05	-0,10	0,17	0,27	0,22	0,17	0,14	0,14	0,25	0,17	0,22
	-0,09	0,04	0,06	0,34	0,33	0,25	0,20	0,17	0,18	0,26	0,22	0,22
VIII	-0,13	0,05	0,11	0,38	0,34	0,26	0,22	0,18	0,21	0,31	0,30	0,29
	0,07	0,12	0,00	-0,16	0,11	0,25	0,27	0,12	0,11	0,20	-0,11	0,05
IX	0,06	0,13	0,00	-0,24	0,08	0,23	0,19	0,02	0,02	0,12	-0,03	0,08
	-0,04	-0,17	-0,12	0,13	-0,12	0,12	0,09	0,11	0,12	0,19	0,19	0,39
X	-0,02	-0,17	-0,09	0,19	-0,12	0,09	0,11	0,15	0,14	0,22	0,24	0,38
	-0,01	-0,06	0,05	0,15	-0,05	0,03	0,18	0,25	0,05	0,02	0,01	0,11
XI	-0,07	-0,09	0,11	0,21	-0,01	0,07	0,23	0,27	0,10	0,08	0,05	0,18
	0,00	-0,03	-0,02	0,13	-0,14	0,10	-0,17	-0,14	-0,02	0,09	0,05	0,13
XII	0,03	0,07	0,09	0,16	-0,17	0,10	-0,19	-0,21	-0,04	0,06	0,10	0,16
	-0,12	0,02	0,00	0,37	0,22	0,21	0,13	0,30	0,13	0,10	0,07	0,28
	-0,06	0,05	0,03	0,41	0,20	0,23	0,15	0,28	0,14	0,13	0,07	0,31

Кесте 4

Іле өзені (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) және Нарынқол,  
 Мыңжылқы МС-ғы гидрологиялық және метеорологиялық  
 сипаттамалардың салыстырмалық мәндері

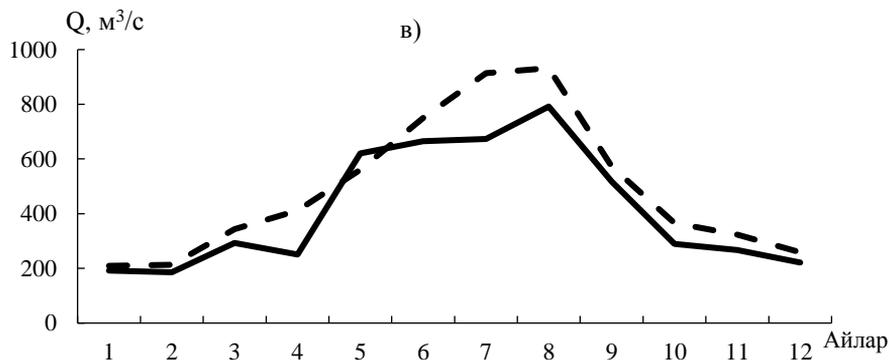
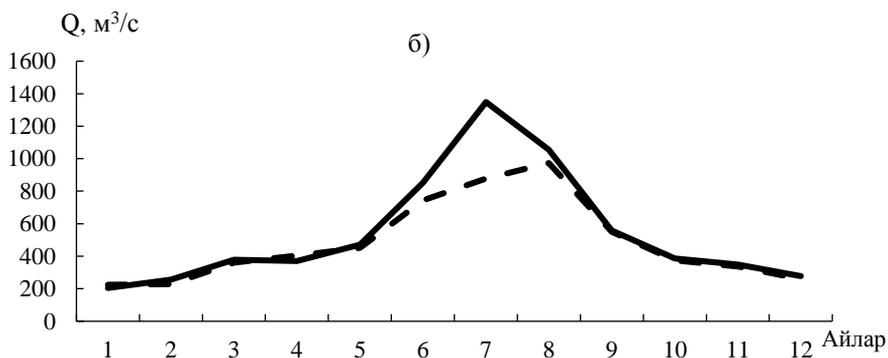
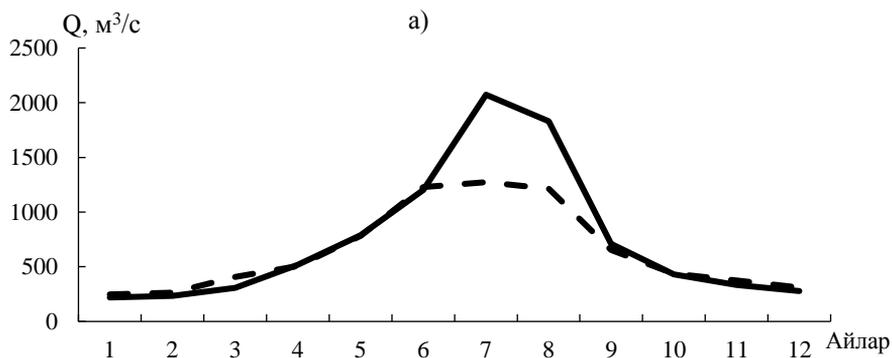
Параметр	Сәйкес келетін гидрограф номері	Жыл	Жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері, мм	Вег. кезеңіндегі орташа жауын-шашын мөлшері, мм	Жылдық ағынды, м <sup>3</sup> /с	Вегетация кезеңіндегі ағынды, м <sup>3</sup> /с
Суы мол жыл	№ 15, 46, 194, 307, 335	2010	<u>58.1</u>	<u>77.8</u>	<u>744</u>	<u>1188</u>
Айырмашылық, %			57,8	87,5	641	943
Суы орташа жыл	№ 100, 169, 209, 233, 271, 365	2015	<u>43.7</u>	<u>61.0</u>	<u>542</u>	<u>776</u>
Айырмашылық, %			43,9	64,7	482	667
Суы тапшы жыл	№ 34, 158, 350, 377, 450	1974	<u>48.6</u>	<u>70.1</u>	<u>414</u>	<u>586</u>
Айырмашылық, %			48,5	73,1	488	690
			0,2	4,3	17,9	17,7

Ескерту: алымында бақыланған мәліметтер, бөлімінде – модельденген мәліметтер.

Бұл мақсатты жүзеге асыру үшін берілген жылдарға келесі параметрлер таңдап алынды: жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері, вегетация кезеңіндегі орташа жауын-шашын мөлшері, жылдық ағынды, вегетация кезеңіндегі ағынды. Көптеген модельденген жауын-шашынның мәндерінен аналогия әдісі бойынша орташа және вегетация кезеңіндегі мәндеріне жақын бірнеше жуық келетін мәндер таңдап алынады, және осы нөмірлерге сәйкес айлық ағынды гидрографы таңдалды. Жоғарыда атап өткеніміздей таңдалып алынған модельденген және бақыланған мәліметтердің бірнеше нұсқалары болуы мүмкін, яғни айлық ағындының модельденген гидрографы ретінде олардың орташа мәні алынды.

Суы мол 2010 жыл үшін бақыланған мәліметтер бойынша модельденген айлық ағындының бес нұсқасы алынды (15, 46, 194, 307, 335) және модельденген қатар ретінде бес нұсқаның орташасы қабылданды. 4 – ші кестеден көріп тұрғанымыздай ағындының орташа жылдық модельденген мәні бақыланған мәннен айырмашылығы 13,8 %, вегетациялық кезеңде – 20,6 % құраған. Суы тапшы 1974 жыл бойынша модельденген мәннің нақты мәннен айырмашылығы орташа жылдық кезең үшін – 17,9 %, вегетациялық кезең үшін – 17,7 %. Суы орташа 2015 жыл үшін таңдалынып алынған алты модельденген қатардың орташасы бақыланған жылдық мәліметтерден 11,1 % және вегетациялық кезеңде 14,1 % ауытқыған. Айырмашылық пайыздары есептік дәлдік шегінде жатыр. Айлық ағынды гидрографтарының тексеру нәтижелері төмендегі суретте көрсетілген.

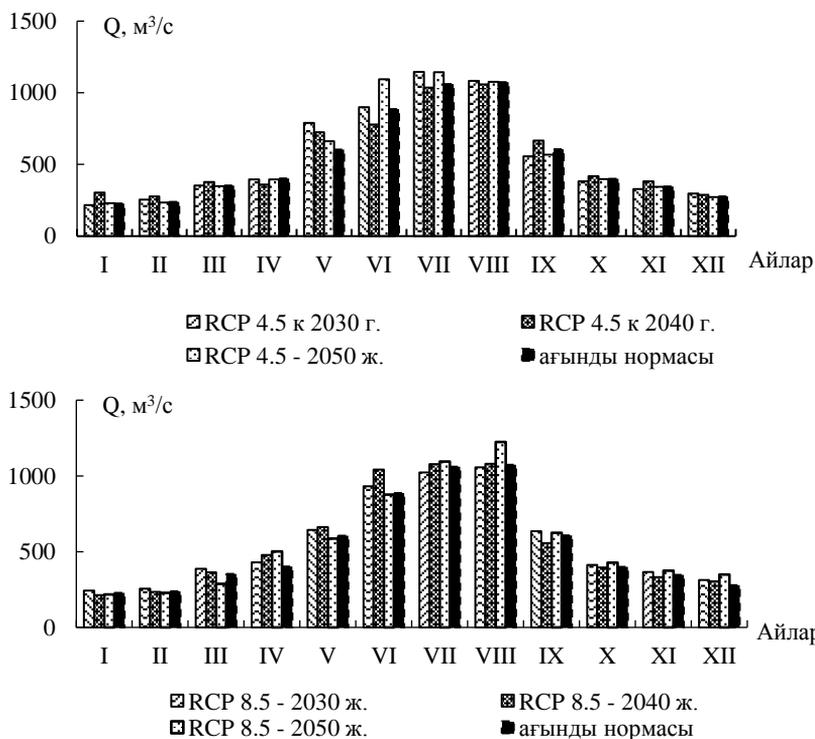
Осылайша, канондық жіктеу әдісімен модельденген ағынды және жауын-шашын қатары бақыланған мәнге жақын, авто және өзара корреляциялық матрицаны сақтайды. Яғни канондық жіктеу әдісін климаттың заманауи өзгерісін ескере отырып өзен ағындысын ұзақ мерзімдік кезеңге болжам жасауға болады. Мұндай болжамдардың ұзақтығы мен сапасы метеорологиялық параметрлердің ұзақ мерзімдік болжамдарына байланысты болады.



Сурет 1. Іле өзенінің (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) айлық ағынды гидрографы: а) – суы мол жыл (2010 ж.); б) – суы орташа жыл (2015 ж.); в) суы тапшы жыл (1974 ж.) - бақыланған мәндер; --- модельденген мәндер.

Климат өзгеруінің әртүрлі сценарийлері негізінде өзен ағындысының ұзақ мерзімдік болжамы үшін кіріс параметрі ретінде Климаттың өзгеруі жөніндегі мемлекетаралық топтың (КӨЖМП) бесінші есебі бойынша әлемдік климат модельдерінің көмегімен жасалған жауын-

шашынның мәндері алынды. Қолданылатын жауын-шашынның мәндері RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға алынды. Базалық кезең ретінде 1981...2000 жж. қабылданды.



Сурет 2. Канондық жіктеу әдісі бойынша Іле өзенінің (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) 2030...2050 жж. ағынды гидрографының болжамы.

Канондық жіктеу әдісімен модельденген жауын-шашын мәндерінен RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға модельденген жауын-шашын мәніне жақын бірнеше нұсқа таңдалып, канондық жіктеу әдесі бойынша жауын-шашынның белгілі бір жылдарға (2030, 2040, 2050) орташаланған болжамдық мәні табылады. Болжамдық жауын-шашынның реттік нөміріне сәйкес ағынды гидрографының болжамы алынады, яғни айлық өзен ағындысының келешектегі сценарлық болжамы. Канондық әдіс бойынша алынған Іле өзенінің RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға арналған сценарлық болжамы төмендегі суретте көрсетілген (сурет 2).

Өзен ағындысының жылішілік өзгерісінің болжамына сәйкес қарастырылып отырған өзенде 2030, 2040 және 2050 жылдарға қарай айлық

ағынды мәндері кейбір айларда өсуі немесе азаюы байқалады. 2030 жылға қарай RCP 4.5 климаттық сценарийі бойынша күзгі айларда (қыркүйек-қараша) 8 % дейін азаю мүмкін, ал басқа айларында керісінше 30 % (мамыр) дейін өсуі, ал 2040 жылға қарай су тасу кезеңінде ағынды мөлшері 12 % азаюы күтілуде. RCP 8.5 климаттық сценарийі бойынша 2030 жылы шілде мен тамыз айынан басқа айларда ағындының көбеюі байқалады. Қорытындылай келе, Іле өзенінің өзен ағындысының гидрограф формасы 2030...2050 жж. дейінгі болжамға сәйкес өте үлкен өзгеріске ұшырамайды, тек жыл ішіндегі өзгерістер, атап айтқанда су тасу кезеңінің шыңы алдыңғы немесе артқы айларға жылжуы, күзгі және қысқы ағындының аз ғана өзгеруі күтілуде. Егер де ағындының болжамдық жылдық мәнін қарастыратын болсақ, RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша өзен ағындысы 16 % дейін өседі.

#### ӘДЕТИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бельчиков В.А., Полунин А.Я., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Поливариантное оценивание возможных климатических изменений речного стока на примере бассейна Северной Двины // Метеорология и Гидрология. – 2009. – №3. – С.74–84
2. Болгов М.В. Стохастические модели периодически коррелированных внутригодовых колебаний речного стока // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 101-116.
3. Бусалаев И.В., Давлетгалиев С.К., Куперман И.Г. Применение метода канонического разложения для моделирования речного стока // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства // Алматы, Наука. – 1973. – Вып.10. – С.143-152.
4. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. - РГГМУ, 2007. – 427 с.
5. Давлетгалиев С.К. Совместное моделирование рядов годового стока рек методом канонического разложения // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 10. – С. 102-108.
6. Давлетгалиев С. К. Групповое моделирование гидрографов месячного стока // Водные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 350-358.
7. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О приемах исследования случайных колебаний речного стока // Труды НИУ ГУГМС. – 1946. – Вып.29. – С.3-32.

8. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. – СПб.: Алтея, Наука, 2010. – 352 с.
9. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, 2013. –163 с.
10. Морейдо В.М. Построение долгосрочного ансамблевого прогноза притока воды в Чебоксарское водохранилище // Труды Всероссийской научной конференции «Научное обоснование реализации Водной стратегии Российской Федерации» на период до 2020 г. – Петрозаводск, 2015. – С. 180-186.
11. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.
12. Резниковский А.Ш., Великанов М.А. Статистическое моделирование многомерных гидрологических процессов // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 52-57.
13. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 293 с.
14. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. Моделирование негаусова векторного процесса в приложении к гидрологии // Водные ресурсы – 2014. – №6. – С. 559-564.
15. Kuzin V.I., Lapteva N.A. Modeling of simulation of the river runoff in the Ob-Irtysh Basin. Bull. Novosib. Comput. Cent. Ser. Number Model. Atmos., Ocean and Environ. – Study 2014. – №14. – P. 35-39.
16. Nageshwar R. B., Elbert E. Whitlatch. Jr. Application of the HEC-4 monthly stream-flow simulation model // Water Resour. Bulletin.1980. – Vol. 16. N 4. – 587 p.

Қабылданды 09.05.2019

Доктор геогр. наук  
Канд. геогр. наук

С.К. Давлеткалиев  
С.К. Алимкулов  
Э.К. Талипова

## ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГИДРОГРАФА МЕСЯЧНОГО СТОКА Р. ИЛЕ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА И ОСАДКОВ

**Ключевые слова:** статистическое моделирование, каноническое разложение, месячный сток, гидрограф стока, атмосферные осадки, долгосрочный прогноз речного стока, корреляционная матрица.

*В статье показана возможность совместного моделирования значений месячного стока и атмосферных осадков с методом канонического разложения. Для проверки качества моделирования, полученные смоделированные данные средних значений осадков и стока, коэффициенты вариации и асимметрии, авто и взаимная корреляция сравнивались с фактическими данными. С помощью смоделированных значений стокообразующих факторов дан долгосрочный прогноз речного стока на основе различных сценариев изменения климата.*

S. K. Davletgaliev, S. K. Alimkulov, E. K. Talipova

## LONG-TERM FORECAST OF THE MONTHLY FLOW HYDROGRAPH OF ILE RIVER BASED ON JOINT STATISTICAL MODELING OF FLOW AND PRECIPITATION

**Keywords:** statistical modeling, canonical decomposition, monthly flow, flow hydrograph, atmospheric precipitation, long-term forecast of river flow, correlation matrix.

*The article shows the possibility of a joint modeling of the values of monthly flow and atmospheric precipitation with the method of canonical decomposition. For modeling quality verification, modeled data of mean precipitation and flow values, coefficients of variation and asymmetry, auto and mutual correlation were compared with actual data. The long-term forecast of river flow based on various climate change scenarios is given using the modeled values of the flow-forming factors.*

ӘӨЖ 556.16

Геогр. ғылым. докторы

С.К. Давлетғалиев<sup>1</sup>Ж.Н. Баймахан<sup>1</sup>**КАСПИЙ МАҢЫ АЙМАҒЫНЫҢ ШЫҒЫС БӨЛІГІ ӨЗЕНДЕРІНІҢ  
КӨКТЕМГІ АҒЫНДЫ СИПАТТАМАЛАРЫН ЕСЕПТЕУ**

*Түйін сөздер:* көктемгі ағынды қабаты, максималды ағынды, регрессия теңдеуі, аналогия әдісі, статистикалық сипаттамалар, айырымдық интеграл қисығы.

*Мақалада Жайық өзенінің шығыс салаларының көктемгі ағынды қабаты және максималды су өтімі бойынша есептеулер нәтижелері көрсетілген. Сонымен қатар, ағынды шамалары көпжылдық кезеңге келтіріліп, статистикалық сипаттамалары үш кезең бойынша есептелген. Жылдық ағынды сипаттамаларының дәлділігіне бағалау жұмыстары жүргізілген.*

**Кіріспе.** Жайық өзені – басымырақ қар суымен қоректенетін өзендердің біріне жатады. Жылдық ағынның 70...80 %-ын өзеннің көктемдік ағыны құрайды.

Осы алаптағы өзендерде, сондай-ақ Қазақстанның басқа жерлерінде көктемгі су тасқынын қалыптастырудың басты факторы өзен бассейнінің қар резерві болып табылады. Аймақтың, солтүстіктен оңтүстікке қарай созылған және батыстың шығыс жағындағы қар жамлығысы облыстың басты өзендерінің қоректену көзі болып табылады. Қар жамлығысы Жайық-Каспий бассейнінің аумағында әр түрлі уақытта түседі: оңтүстікте қар әдетте наурыздың ортасында, ал солтүстікте - сәуірдің бірінші онкүндігінде ери бастайды. Қарастырылып отырған Жайық өзенінің шығыс жағалауындағы өзендерге – Шолаканаты, Куперканаты, Оленты, Шидерті, Булдырты, Шиілі, Қалдығайты жатады. Өзендер орналасу жағдайына байланысты жамылғы беттік сипатымен ерекшеленеді. Өзендердің ағын сипаттамалары өткен ғасырдың 70 жылдарында зерттелген. Бұл ақпараттар соңғы бақыланған 1965 жылдан кейінгі деректерді, алаптағы шаруашылықтарды, ауа-райының өзгеруінен мүмкін болған әсерлерді

---

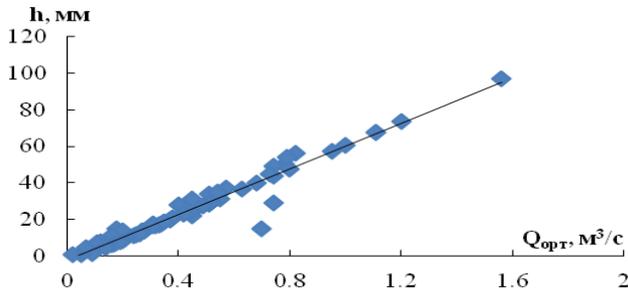
<sup>1</sup> әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қаласы

есепке ала отырып, нақтылауды қажет етеді. Сондықтан, соңғы 30...35 жылдың деректері ескерілмегендіктен, ағын сипаттамаларын көпжылдық кезеңге келтіру қажет.

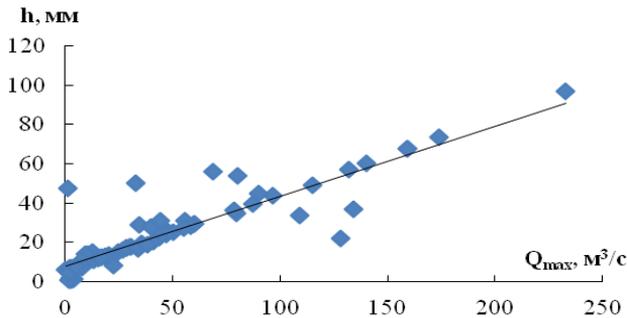
**Бастапқы деректер және зерттеу нәтижелері.** Жайық өзенінің көктемгі ағындысының статистикалық сипаттамаларын анықтау үшін есептелу кезеңі белгіленді. Жайық өзені оң жағалауындағы аталған өзендердің көктемгі ағынды қабатының айырымдық интеграл қисықтары бойынша есептелу кезеңі ретінде 1940...2015 жылдар алынды.

Бұл жұмыста регрессия теңдеуін қолдана отырып, аналогия әдісі бойынша жылдық ағынды қатарын қалпына келтіру жұмыстары жүргізілді. Аналог-өзендер қойылған талапқа сай таңдалынып,  $R > 0,70$  шарты бойынша орындалды [2, 3] (1-сурет). Сонымен, Шолаканаты – Анкаты, Куперканаты – Алғабас, Оленты – Жампейті, Шидіртгі – Жампейті, Булдырты – Қарағаш, Булдырты – Абай, Шиилі – Ақший, Қалдығайты – Жігерлен бекеттеріндегі  $R$  мәндері сәйкесінше 0,77...0,95 (1-кесте).

а)



б)



Сур. 1. (а) Көктемгі ағынды қабаты мен орташа жылдық су өтімі  $h=f(Q_{орт})$ , (б) Максималды су өтімі мен көктемгі ағынды қабаты  $Q_{max}=f(h)$  арасындағы байланыс графигі [4].

Қалпына келтірілген қатарлар, регрессия тендеуі, теңдеу  
сипаттамалары және аналог өзендер жайлы мәліметтер

Өзен-бекет	F, км <sup>2</sup>	Бақылау кезеңі	Регрессия тендеуі	Қалпына келт. жылдар	R	Аналог-өзен
Куперанкаты-Алғабас	723	1959...92, 1994, 1996...98, 2000...04, 2006...08, 2010...12	$y=0,04x+0,05$	1940...57, 1993, 1995, 1999, 2005, 2009, 2013...2015	0,81	Елек – Ақтөбе қ.
Шолаканакты-Анкаты	537	1964, 1967...78, 1980...91	$y=0,022x+0,057$	1940...63, 1965...66, 1997, 1992...2015	0,77	Елек – Ақтөбе қ.
Оленты - Жампейті	1290 (1040)	1966...91, 1997, 2013...2015	$y=0,072x-0,029$	1940...65, 1992...96, 1998...2012	0,84	Елек – Ақтөбе қ.
Шидергі - Жампейті	750	1955...57, 61, 63...89, 92, 95, 97, 2013...2015	$y=39,8x-3,92$	1940...66, 1979, 1990...91, 1993...94, 1996, 1998...2012	0,89	Елек – Ақтөбе қ.
Булдырты - Қарағаш	457	1965, 1967...79, 1978...87	$y=0,029x-0,014$	1940...64, 1966, 1977, 1988...2015	0,91	Елек – Ақтөбе қ.
Булдырты - Абай	3280	1957, 1959...60, 1965...73, 1975...76, 1978...90, 1994...97	$y=0,053x-0,371$	1940...56, 1958, 1961...64, 1974, 1977, 1991...93, 1998...2015	0,90	Елек – Ақтөбе қ.
Шийлі - Ақший	318	1958...59, 1960...92	$y=0,022x-0,460$	1940...57, 1960, 1993...2015	0,77	Елек – Ақтөбе қ.
Қалдығайты - Жігерлен	2510	1957...89, 91...93, 95, 2009...15	$y=11,3x-0,36$	1940...58, 1960...63, 1990, 1996...10	0,95	Елек – Ақтөбе қ.

Бақыланған және көпжылдық қатарға келтірілген қатарлар бойынша жылдық көктемгі ағынды сипаттамаларының дәлділігін бағалау жұмыстары жүргізілді.

Ағын сипаттамаларының дәлділігі нақты бақыланған кезең деректері, көпжылдық кезеңге келтірілген деректер және соңғы қырық жылдық кезең (1975...2015) деректері бойынша есептелінді.

Бірінші жағдайда таңдалған орта мәннің кездейсоқ орташа квадратталған қателігі келесі тәуелділік бойынша анықталды:

$$\sigma_{\bar{Q}} = (\sigma_Q / \sqrt{n}) \sqrt{(1+r)/(1-r)}, \quad (1)$$

мұнда  $r < 0,5$ . Жылдық ағын қатарларында  $r=0,2...0,3$ .

Вариация коэффициентінің орташа квадратталған қателігі келесі тәуелділік бойынша С.Н. Крицкий және М.Ф. Менкельдің формуласымен анықталған [1, 4]:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r}\right) \quad (2)$$

Ағын нормасын көпжылдық кезеңге келтіру тиімділігін сандық бағалау үшін тиімділік көрсеткіші  $K$  пайдаланылады [2]:

$$K = \left[1 - \sqrt{1 - R^2 + nR^2 / N} / (1 - \sqrt{n / N})\right] \cdot 100 \% , \quad (3)$$

мұндағы  $R$  – жұп корреляция коэффициенті,  $n$  – бақыланған жылдар саны.

Тиімділік көрсеткіші қатарды  $N$  кезеңге ұзарту барысында орташа қателіктің төмендеуін сипаттайды.

Вариация коэффициентін көпжылдық кезеңге келтірудегі тиімділік көрсеткіші келесі формула бойынша анықталады:

$$K_{cv} = \left[1 - \sqrt{1 - R^4 + nR^4 / N} / (1 - \sqrt{n / N})\right] \cdot 100 \% \quad (4)$$

Тиімділік көрсеткіші қатарды көпжылдық кезеңге келтіру барысындағы орташа қателіктің және вариация коэффициентінің төмендеу пайызын көрсетеді.

Көктемгі ағынды қабаты нормасы және вариация коэффициентін көпжылдық кезеңге келтіру барысында тиімділікті бағалау жұмыстары жүргізілді. (3) және (4) теңдеулер регрессия теңдеуінің көпжылдық кезеңге келтірілген орта және вариация коэффициентінің дәлділігін бағалауда қолданылады.

Жайық өзені шығыс жағалауының ағыны 1974 жылдан бастап су қоймаларының салынуы және өзен суының әртүрлі шаруашылық қажеттіліктеріне қарқынды алынуы нәтижесінде бұрмаланған болып есептелінеді. Сондықтан көктемгі ағын сипаттамалары әртүрлі кезеңдер үшін анықталды: 1940...1974 жылдар нақты бақылау деректері; 1940...2015 жылдар көпжылдық бақылау кезеңі; соңғы қырық жыл 1975...2015 кезең бойынша. Көктемгі ағын сипаттамалары 3 кезең бойынша есептік нәтижелері 2-ші және 3-ші кестелерде көрсетілген.

2-ші кесте бойынша анықталған нәтижелерді талдайтын болсақ, зерттелген өзендердің ағынды шамаларында өзгерістердің жүргенін байқауға болады. Шийлі – Ақший бекетінде 1940...1974 жылдар үшін көктемгі ағынды қабаты 30,9 мм болса, 1975...2015 жылдарда 28,6 мм-ді құрайды. Көктемгі ағынды қабатының екі кезең бойынша салыстыру нәтижесі, оның 7,4 %-ға төмендегенін көрсетеді.

Булдырты – Абай бекетінде 1940...1974 жылдарда көктемгі ағынды қабаты 5,96 мм болса, 1975...2015 жылдарда 3,49 мм-ге тең болғаны анықталды. Бұл бекетте көктемгі ағынды қабаты 41%-ға төмендеп кеткен.

Ал, Шолаканакты – Анкаты бекетінде 1940...1974 жылдар бойынша көктемгі ағынды қабаты 26,8 мм, ал 1975...2015 жылдар үшін 22,2 мм-ді құрайды, яғни соңғы қырық жылда 17,2 %-ға өзгерген.

Сонымен қатар, Куперанкаты – Алғабас және Оленты – Жампейті бекеттерінде көктемгі ағынды қабаты 1940...1974 жылдарда 47 және 31 мм-ді көрсетсе, 1975...2015 жылдарда 28,7 және 23,3 мм-ді құраған, яғни 38,9 %-ға және 24,8 %-ға өзгергені белгілі болды. Және де Шидерті – Жампейті мен Булдырты – Қарағаш бекеттерінің көктемгі ағынды қабаты 1940...1974 ж. 36,6 мм мен 27,9 мм-ді көрсетсе, 1975...2015 ж. аралығында 27,5 мм мен 24,7 мм құраған, яғни 18,1 %-бен 11,5 %-ға өзгергендігі көрінеді. Ал, Қалдығайты – Жігерлен бекетінде 1940...1974 ж 22,7 мм, 1975...2015 ж 30 мм болғанын, яғни керісінше 24,3 %-ке өскенін көреміз.

Көпжылдық орташа максималды өтімдердің нәтижелеріне келетін болсақ (3-кесте), 1940...1974 жылдар аралығында Шийлі - Ақший бекеті үшін максималды су өтімі 35,5 м<sup>3</sup>/с, ал 1975...2015 жылдарда 29,6 м<sup>3</sup>/с. Көпжылдық кезеңде, яғни 1940...2015 жылдары, орташа максималды су өтімі 61 м<sup>3</sup>/с құрайды. Табиғи (1940...1974), шартты-табиғи кезеңдердің (1975...2015) максималды өтімдерін салыстыру барысында, оның 24,2 %-ға өзгергені байқалды.

## Жайық өзені шығыс салаларының көктемгі ағынды сипаттамалары

Өзен-бекет	Бақылау кезеңдері	Бак. жыл саны	Көктемгі ағынды сипаттамалары											
			Бақыланған кезең үшін			1940-2015 ж.ж.			1940-1974 ж.ж.			1975-2015 ж.ж.		
			h, мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	h, мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	h, мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	h, мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Шийлі - Ақший	1958...59, 1960...92	32	24,4	1,10	1,56	29,7	0,92	1,41	30,9	1,1	1,38	28,6	0,74	1,12
Булдырты - Абай	1957...73, 1975...90	33	3,77	1,06	2,50	4,63	1,07	2,22	5,96	1,1	1,45	3,49	0,76	3,27
Шолаканакты- Анкаты	1964...91	28	23	0,76	0,51	24,3	0,79	1,41	26,8	0,86	1,34	22,2	0,66	0,95
Куперанкаты- Алғабас	1957...92, 1994...98, 2000...08, 2010...12	53	29,4	0,79	3,06	33,7	0,98	2,28	47,0	1,17	1,71	28,7	0,56	0,16
Оленты - Жампейті	1952...56, 1958...62, 1965...93, 2005, 2007, 2010, 2012	44	25,3	0,71	0,76	26,9	0,73	1,13	31,0	0,77	0,91	23,3	0,64	0,88
Шидерті - Жампейті	1964...65, 1967...78, 1980...89, 1992, 1995, 1997	27	33,5	0,64	0,77	30,9	0,83	1,79	33,6	0,99	1,59	27,5	0,64	1,33
Булдырты - Қарағаш	1965...76, 1978...88	23	25,4	0,78	0,90	26,2	0,82	1,43	27,9	0,94	1,40	24,7	0,70	1,36
Калдығайты - Жігерлен	1958...95, 2011...12	40	17,4	0,91	1,94	26	1,99	4,97	22,7	1,08	1,25	30	2,24	4,23

## Жайық өзені шығыс салаларының масималды ағынды сипаттамалары

Өзен-бекет	Бақылау кезеңдері	Бақ. жыл саны	Масималды ағынды сипаттамалары											
			Бақыланған кезең үшін			1940-2015 ж.			1940-1974 ж.			1975-2015 ж.		
			Q м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Q м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Q м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Q м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Шийлі - Ақший	1957...76, 1978...98	31	31,3	1,21	1,20	32,3	1,2	1,54	35,5	1,22	1,53	29,6	1,07	1,04
Булдырты - Абай	957...73, 1975...90	33	18,1	1,16	2,34	23,1	1,1	2,09	29,8	1,13	1,39	17,4	0,83	2,88
Шолаканакты- Анкаты	1964...91	28	41,9	1,02	0,98	45,5	1,1	1,66	52,0	1,16	1,48	40,0	0,84	1,01
Куперанкаты- Алғабас	1957...98, 2000...12	55	64,6	0,88	2,11	76,4	1,2	2,89	79	1,1	1,6	74,2	1,19	4,14
Оленты - Жампейті	1942, 1952...56, 1958...62, 1965...94, 1997, 2005, 2007, 2010, 2012	46	88,6	0,97	1,65	92,4	0,9	1,50	106	0,92	1	81	0,93	2,31
Шидергі - Жампейті	1964, 66...89, 1991...95, 1997	30	95,7	1,11	3,06	85,4	1,5	2,93	99,4	1,54	2,46	73,3	1,24	3,65
Калдығайты - Жігерлен	1958...95, 2011...12	40	91,1	1,04	1,66	266	2,8	5,08	234	1,50	1,92	293	3,21	4,46
Булдырты - Қарағаш	1965, 1967...88	23	54,4	0,80	0,79	56	1,7	6,93	49,0	0,94	1,32	43	0,73	1,29

Булдырты – Абай бекетінде максималды су өтімнің көпжылдық орташа мәні 1940...1974 жылдарда 29,8 м<sup>3</sup>/с тең болса, 1975...2015 жылдары үшін 17,4 м<sup>3</sup>/с. Шартты табиғи кезең үшін (1940...2015ж.) көпжылдық орташа максималды өтімнің мәні 23,1 м<sup>3</sup>/с-ке тең болды. Шолаканакты – Анкаты бекетінің табиғи кезеңінде (1940...1974 ж.) максималды өтім 52,0 м<sup>3</sup>/с көрсетсе, шартты-табиғи кезеңде (1975...2015 ж.) 40,0 м<sup>3</sup>/с болды. Көпжылдық орташа максималды өтімнің 1940...2015 жылдарға мәні 45,5 м<sup>3</sup>/с-ге тең.

Ал, Куперанкаты – Алғабас бекетінде көпжылдық орташа максималды өтім 123,1 %-ға, 1975...2015 бақылау жылдарында 56 %-ға көбейгендігі байқалды. Оленты – Жампейті мен Шидерті – Жампейті көпжылдық орташа максималды өтімін (1940...2015ж) айтатын болсақ, 164,8 м<sup>3</sup>/с пен 85 м<sup>3</sup>/с ке тең екенін көре аламыз, және де көпжылдық орташа максималды өтімнің 8,7% төмендегенің, ал екіншісінің керісінше 39,6 % көбейгенін көре аламыз. Калдығайты – Жігерлен мен Булдырты – Қарағаш бекеттері үшін есептейтін болсақ, көпжылдық орташа максималды өтімі (1940...2015 ж.) 266 м<sup>3</sup>/с мен 56 м<sup>3</sup>/с тең болса, 20,2 % көбейгені және де 12,2 % төмендегенін көре аламыз.

**Қорытынды.** Жайық өзені шығыс салаларындағы сегіз бекет үшін көпжылдық орташа максималды ағынды және көктемгі ағынды қабаты сипаттамалары есептелінді. Сипаттамалар табиғи және қалпына келтірілген ағын көлемін ескере отырып, үш кезең үшін анықталды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981- 249 с.
2. Определение основных расчетных гидрологических характеристик СП-33-101-2003. М.: Госстрой. России 2004 – 71 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984 – 448 с
4. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л.: Гидрометеиздат, 1990 – 276 с.

Қабылданды 16.04.2019

Доктор геогр. наук      С.К. Давлетгалиев  
Ж.Н. Баймахан

## **РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО СТОКА РЕК ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА**

**Ключевые слова:** слой весеннего стока, максимальный сток, уравнение регрессии, метод аналогии, статистические параметры, разностная интегральная кривая

*В статье представлены результаты расчетов слоя весеннего стока и максимального расхода воды для восточных притоков реки Жайык. В то же время, характеристики стока были приведены к многолетнему периоду и статистические параметры рассчитаны для трех периодов. Произведена оценка точности расчета характеристик годового стока.*

S.K. Davletgaliev, Zh.N. Baimahan

## **CALCULATION OF SPRING FLOW RIVER CHARACTERISTICS OF THE EEASTERN CASPIAN REGION**

**Key words:** spring runoff layer, maximum runoff, regression equation, analogy method, statistical parameters, difference integral curve

*The article presents results of calculations of the spring runoff layer and maximum water discharge for the eastern tributaries of Zhayik river. At the same time, runoff was adjusted for a multi-year period and statistical characteristics were calculated for three periods. The accuracy of calculating the characteristics of annual runoff is estimated.*

---

УДК 504.45(556.18)

Ж.Ж. Смагулов<sup>1</sup>  
А.А. Сапарова<sup>1</sup>  
А.Р. Загидуллина<sup>1</sup>  
Г.Р. Баспакова<sup>1</sup>

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА  
СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В  
ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ЕРТИС  
(КАЗАХСТАНСКАЯ ЧАСТЬ)**

**Ключевые слова:** водные ресурсы, водный баланс, водопотребление, водохозяйственный расчет, уравнение баланса, водохозяйственный участок, сценарий, вододефицит

*В статье рассмотрены, как общие, так и отдельные вопросы исследования элементов водохозяйственного баланса. Произведен расчет водохозяйственного баланса Ертысского бассейна в пределах Казахстана. Проведено районирование бассейна р. Ертыс (на 4 узловых участках) для решения конкретных водохозяйственных задач. Составлены ретроспективный (1980...1989, 1990...1999, 2000...2010 и 2010...2015 гг.) и прогнозный (сценарии А и В) водохозяйственные балансы.*

Река Ертыс является крупнейшей водной артерией республики Казахстан и в будущем, возможно, выступит донором других вододефицитных районов Казахстана. Согласно SWOT-анализу, в Государственной программе развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017...2021 гг. [9] определено, что одной из возможностей развития является увеличение площади орошаемых земель и повышение их эффективности, а угрозами являются неблагоприятные изменения природно-климатических условий и дефицит водных ресурсов.

Климатическим изменениям мы пока мало что можем противопоставить, а вот для устранения дефицита воды есть два пути: снижение нагрузки на водные ресурсы и увеличение ресурсов пресной воды. Первая группа предусматривает реализацию мероприятий по уменьшению темпов

---

<sup>1</sup>Институт географии, г. Алматы, Казахстан;

развития основных водопотребителей и использованию современных технологий для сокращения потребления пресной воды в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве. Вторая группа предполагает увеличение располагаемых для использования водных ресурсов за счет: регулирования речного стока; использования запасов подземных пресных вод; опреснения соленых и солоноватых вод; территориального перераспределения водных ресурсов. Безусловно, сочетание обоих путей решения проблемы даст наибольший эффект.

Но, прежде всего, необходимо оценить имеющиеся ресурсы поверхностных вод. Расчет водохозяйственного баланса дает наиболее наглядное представление имеющейся общей картины водохозяйственной обстановки.

Водный баланс в водохозяйственном отношении хорошо демонстрирует развитость и общее состояние природно-хозяйственной системы в целом, показывая доступность к использованию водных ресурсов (объемы поверхностных и подземных вод, доступных для многолетнего гарантированного использования при существующем и проектируемом составе водохозяйственного комплекса) или их дефицит, а также позволяет прогнозировать на будущее.

Расчет водохозяйственного баланса позволяет подтверждать возможность удовлетворения намечаемого развития хозяйства или указывает на исчерпание (дефицит) водных ресурсов; устанавливает принципиальный состав водохозяйственных мероприятий по покрытию дефицитов воды при различных вариантах размещения водоемких потребителей (регулирование стока водохранилищами, привлечение вод из других бассейнов и др.); определяет в некоторых случаях свободный объем воды, оставшийся в реке для использования его за пределами рассматриваемой территории.

**Постановка проблемы.** Водохозяйственный баланс – это количественное соотношение между водными ресурсами и потребностями в пределах какого-либо экономического района или физико-географического региона за определенный период с учетом хозяйств и деятельности человека.

В общем плане водохозяйственные вопросы, а именно проблема взаимодействия водохранилищ с окружающей природной средой и вопросы их водообмена, рассмотрены в работах А.Б. Авакяна [1], Б.Б. Богословского [3], С.Л. Вендрова и К.Л. Дьяконова [5] и др.

Наибольшие успехи достигнуты в изучении основных элементов водного баланса крупных водохранилищ: притока, осадков, стока и испарения для конкретных водохранилищ. На основании использования непосредственных данных наблюдений за стоком и осадками, а также различных расчетных методик при определении испарения и ряда других элементов, рассчитаны водные балансы отдельных крупных водохранилищ СССР, как за многолетний период, так и за конкретные годы. Следует отметить, что органы Госкомгидромета СССР более 30 лет составляли текущие водные балансы крупных озер и водохранилищ СССР за декаду, месяц и год. К началу 1988 г. такие расчеты выполнены для многих водохранилищ СССР. Результаты научных проработок по водохозяйственному балансу отдельных водохранилищ приведены также в справочниках-монографиях серии «Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ», а также в трудах В.Г. Булата [4], Р.И. Геты [8] и др. Более поздние работы по расчету водохозяйственного баланса проводились В.Д. Красовым [10], Л.К. Левит-Гуревичем [13].

Вопросы оценок водных ресурсов по территории Казахстана, в том числе частично водохозяйственных балансов с учетом современных изменений климата и антропогенных нагрузок, отражены в исследованиях, проведенных Институтом географии РК, в частности ведущими отечественными гидрологами, такими как Р.И. Гальперин, С.К. Давлетгалиев, Ж.Д. Достай, М.М. Молдахметов, С.К. Алимкулов и др. [6, 7, 2]. Непосредственно по Ертисскому бассейну можно отметить работу [15].

Так как гидротехнические сооружения вступали в строй неодновременно, то и накопленные к настоящему времени ряды воднобалансовых данных имеют различную продолжительность. Более полные данные об элементах водного баланса получены по тем водохранилищам, которые относятся к сети Казгидромета. Тем не менее, состояние знаний об основных составляющих водного баланса далеко неравнозначно. Наиболее надежно можно определить только два элемента водного баланса крупных водохранилищ – сток через подпорное сооружение и осадки (погрешность подсчета стока в большинстве случаев не выходит за пределы  $\pm 5\%$ ). Это обеспечивает достаточную надежность получаемых данных по сравнению с другими элементами баланса.

Следует отметить, что на современном этапе воднобалансовые исследования и водохозяйственные расчеты составляют основу для разработки государственных программ развития как отдельного региона,

так и целой страны.

**Материалы и методы.** При составлении водохозяйственных балансов использованы научные и проектные материалы, публикации, находящиеся в открытом доступе, а также данные РГП «Казгидромет», отчеты бассейновой инспекции (БИ) за 2010...2015 гг., Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Применены методы гидрологических и водохозяйственных расчетов, методы компьютерной обработки информации и системный анализ.

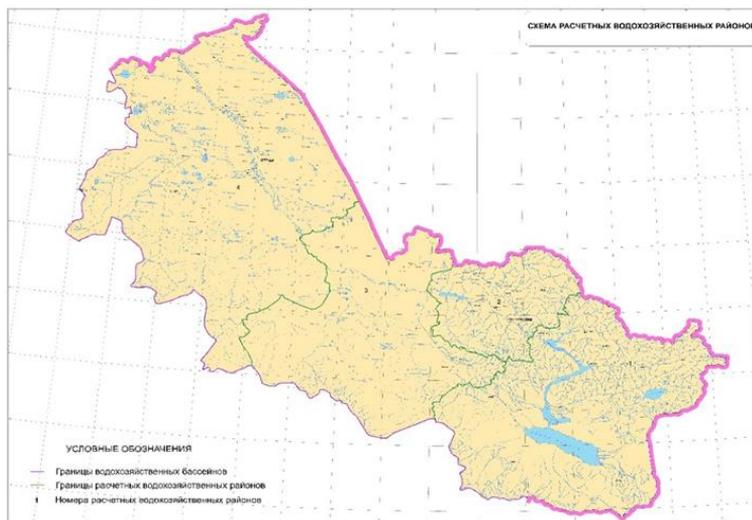
**Результаты и обсуждения.** Учитывая особенности рельефа территории, подстилающую поверхность, режим атмосферных осадков, условия формирования стока, наличие гидротехнических сооружений, водозабор и т.д., территория бассейна р. Ертис (в пределах Казахстана) районирована на узловые составные участки:

1 участок – от государственной границы РК с КНР до нижнего бьефа Буктырминского водохранилища;

2 участок – от нижнего бьефа Буктырминского водохранилища до нижнего бьефа Шульбинского водохранилища;

3 участок – от нижнего бьефа Шульбинского водохранилища до границы Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей;

4 участок – от границы Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей до государственной границы РК с РФ (рис. 1).



*Рис. 1. Схема водохозяйственного районирования Ертисского бассейна по узловым участкам.*

В водохозяйственных расчетах использовано следующее основное

уравнение баланса [14]:

$$B = W_{ex} + W_{бок} + W_{пзв} + W_{вв} + W_{дот} \pm \Delta V \pm W_{л} - W_{исп} - W_{ф} - W_{у} - W_{пер} - W_{вдп} - W_{кп},$$

где  $W_{ex}$  – объем стока за расчетный период, поступающий с выше-лежащих участков рассматриваемого водного объекта, млн.м<sup>3</sup>;

$W_{бок}$  – объем воды за расчетный период, формирующийся на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность);

$W_{пзв}$  – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством;

$W_{вв}$  – возвратные воды на водохозяйственном участке (подземные и поверхностные воды, стекающие с орошаемых территорий, сточные и (или) дренажные воды, отводимые в водные объекты). Фактически учитывается объем воды, попадающий на расчетный водохозяйственный участок со стороны действующей системы водоотведения, которая определяет суммарное количество всех видов сточных вод (в том числе коллекторно-дренажных), отводимых в водоемы, подземные горизонты и бессточные понижения, а также подаваемых на очистные сооружения;

$W_{дот}$  – дотационный объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока (межбассейновые и внутрибассейновые переброски);

$\pm \Delta V$  – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке;

$\pm W_{л}$  – потери воды при оседании льда на берега при зимней сработке водохранилища и/или возврат воды в результате таяния льда весной;

$W_{исп}$  – потери на испарение с акватории водоемов;

$W_{ф}$  – фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов в пределах расчетного водохозяйственного участка;

$W_{у}$  – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой;

$W_{пер}$  – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка;

$W_{вдп}$  – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка;

$W_{кп}$  – требуемая величина стока в замыкающем створе расчетного водохозяйственного участка (транзитный сток или комплексный попуск, в

котором суммированы санитарно-экологические и хозяйственные попуски);

*B* – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов) водохозяйственного участка.

Колебания стока внутри года и сезонная неравномерность водопользования обуславливает необходимость составления балансов по интервалам времени, в пределах которых этими изменениями можно пренебречь. Для сохранения в расчетах реальных соотношений водности в различных частях бассейна балансы составлены для годового и десятилетнего стока в замыкающем створе. Такой подход позволяет автоматически учесть распределение стока между реками и участками рек бассейна с различным внутригодовым и внутрибассейновым распределением стока и выбрать наиболее неблагоприятные (с наибольшими дефицитами воды). Чтобы не допустить занижения доступных к использованию водных ресурсов, сток рек за характерные годы, принятый в качестве расчетного, следует приводить к естественным условиям, увеличивая его на объем безвозвратного водопотребления выше рассматриваемого створа, имевшего место в этот год.

Для расчетного уровня водохозяйственного баланса выделены следующие особые случаи:

– положительный баланс, когда для всех расчетных интервалов времени объем приходной части баланса больше расходной части, и дополнительных водохозяйственных мероприятий на данном расчетном уровне не требуется. При этом, складывающийся избыток водных ресурсов в регионе, позволяет осваивать новые виды водопользования, не ущемляя существующие;

– увязанный баланс, при котором наблюдается динамическое равновесие между приходной и расходной частями баланса. В этом случае для развития водозабора необходимо проведение специальных водохозяйственных мероприятий по изысканию дополнительных водных ресурсов внутри региона или осуществление переброски вод извне;

– отрицательный баланс, когда имеющиеся водные ресурсы региона недостаточны для удовлетворения потребности в воде с необходимой степенью обеспеченности, включая требования к расходам воды ниже створа разработки баланса.

Водохозяйственный баланс Ертисского бассейна составлялся для средних значений за десятилетия и последнего пятилетнего периода:

1980...1989, 1990...1999, 2000...2009, 2010...2015 гг. Прогнозный водохозяйственный баланс составлен для четырех сценариев: А1 – инерционное водопотребление в КНР и РК; А2 – интенсивное потребление в КНР и инерционное водопотребление в РК; В1 – интенсивное потребление в РК и инерционное водопотребление в КНР; В2 – интенсивное потребление в РК и КНР.

В приходной части баланса каждого участка учитываются:

1) местные ресурсы, формирующиеся на территории данного участка;

2) приток к участку со стороны верхнего участка (для 1-го участка – это сток с территории КНР по данным г/п р. Ертис – с. Боран, для 2-го участка – сток по данным г/п р. Ертис – Буктарминская ГЭС, для 3-го участка – сток по данным г/п р. Ертис–с. Шульба, для 4-го участка – сток по данным г/п р. Ертис–с. Семиярка);

3) боковая приточность в р. Ертис и/или водохранилище с учетом естественных и хозяйственных потерь;

4) атмосферные осадки, выпадающие на поверхность р. Ертис и водохранилища (атмосферные осадки, выпадающие на поверхность участка, учитываются стоком рек, впадающих в р. Ертис и/или водохранилище);

4) подземный приток в русло р. Ертис.

В расходной части баланса каждого участка учитываются:

1) отток с участка к нижнему участку (для 1-го участка – сток по данным г/п р. Ертис – Буктарминская ГЭС, для 2-го участка – сток по данным г/п р. Ертис–с. Шульба, для 3-го участка – сток по данным г/п р. Ертис – с. Семиярка, для 4-го участка – сток по данным г/п р. Ертис–с. Прииртышское). Для определения величины прогнозного оттока, согласно диспетчерскому правилу регулирования Буктырминского водохранилища, использовано значение при работе с гарантийной отдачей обеспеченностью  $P=50\%$ , для 2-го участка, согласно диспетчерскому правилу регулирования Шульбинского водохранилища, с гарантийной отдачей обеспеченностью –  $P=50\%$ . Отток с верхнего участка является притоком нижнего участка;

2) испарение с поверхности р. Ертис и/или водохранилища;

3) водозабор на участке, включая водозабор на реках-притоках и с самой р. Ертис и/или водохранилища (Буктырминское, Шульбинское, Усть-Каменогорское). Необходимо отметить, что в период 1980...1989 гг. данных по водозабору было недостаточно или имелись пробелы;

4) подземный отток из русла реки Ертис;

5) русловые потери, потери стока с гидрографической сети бассейна

(кроме русла р. Ертис, где эти потери более подробно освещены).

Большая часть расходной составляющей формируется специальными попусками (расходами) воды ниже створа разработки баланса. Значения этих расходов воды устанавливаются в соответствии с выявленными требованиями различных водопользователей к водным ресурсам реки ниже расчетного створа.

В настоящее время достаточно четкие требования к расходам попусков установлены только для судоходства и сельского хозяйства. В то же время каких-либо однозначных приемов установления экологических (природоохранных) попусков пока нет.

Результаты расчетов водохозяйственного баланса по каждому конкретному участку представлены в табл. 1.

Для первого участка, в результате вычисления за прошедшие десятилетия с 1990 г. и с 2000 г., баланс близок к нулю, т.е. к так называемому «увязанному» балансу. В пятилетие с 2010 г. баланс переходит к положительному, т.е. в Буктырминском водохранилище шло аккумулятивное стока, что можно объяснить относительно многоводной пятилеткой. По всем сценариям А и В на первом участке мы видим стабильный отрицательный баланс с существенным увеличением дефицита в сценарии интенсивного водопотребления в КНР и РК более чем в  $7 \text{ км}^3$ . Но мы должны учитывать, что данные балансы составлены с учетом сохранения текущего объема Буктырминского водохранилища, и в пределах зоны гарантированной отдачи работы водохранилища мы можем компенсировать дефицит баланса на первом участке.

Для второго участка за десятилетия с 1990 и 2000 годов мы имеем отрицательный баланс, возрастающий от  $0,63...1,28 \text{ км}^3$  до  $1,71 \text{ км}^3$  и являющийся следствием того, что примерно с 1982...1984 по 2008...2012 гг., наблюдался очень длительный период, в течении которого сток рек имел наименьшую вариацию и находился около нормы, также внутри периода имеются небольшие 2-3-х, 5-6-летние маловодные периоды. В пятилетке с 2010 г. баланс опять же переходит к равновесному, близкому к нулю, что также можно отнести к относительно многоводному периоду последних лет. В прогнозных сценариях баланс отрицательный и колеблется от минус  $1,5$  до  $2,1 \text{ км}^3$  при сценарии А1 (инерционное потребление в КНР) и увеличивается до минус  $2...2,1 \text{ км}^3$  при сценарном варианте В (интенсивное потребление в РК и КНР). В сценариях А и В мы видим дефицит водных ресурсов.

Для третьего участка в ретроспективный период мы имеем увязанный баланс более близкий к положительному, а с 2010 г мы имеем дефицит до 1,7 км<sup>3</sup>.

Для четвертого участка за десятилетия с 1980 г. и с 2000 г. мы имеем положительный баланс и отрицательный баланс в 1990-ые годы и в пятилетие 2010...2015 гг. В прогнозных сценариях отток с участка вычислен, как 50 % от формирующегося на территории РК за вычетом русловых потерь (согласно международным соглашениям по делению трансграничных вод [11, 12, 16].), соответственно, балансы для четвертого участка непоказательны.

**Заключение.** В условиях глобального изменения климата и сокращения речного стока, как местного, так и трансграничного, на фоне увеличения водопотребления, как показывают водохозяйственные расчеты на четырех расчетных створах по бассейну р. Ертис, дефицит водных ресурсов неизбежно отразится на всех отраслях экономики и на природных комплексах. Эти воздействия в большей или меньшей степени могут негативно повлиять на устойчивое развитие страны в целом.

Результаты водохозяйственных расчетов показывают, что в 2030...2040 гг. в бассейне р. Ертис вододефицит начнут испытывать отдельные водопользователи в пределах Казахстана, ожидается также сокращение стока в Российскую Федерацию. В последующие годы усиление темпов интенсивного развития водопотребления в зоне формирования стока (Китай) и в среднем течении (Казахстан) является наихудшим сценарием развития, когда дефицит водных ресурсов будет обостряться к 2050 г.

Учитывая вышесказанное, проблемы вододефицита в краткосрочной перспективе могут быть решены глубоким многолетним регулированием управляющим каскадом Буктырминского водохранилища, а также коренным пересмотром подходов к водопотреблению отраслями экономики с использованием новых водосберегающих методов. Однозначно, необходимо усовершенствовать систему управления водными ресурсами всего трансграничного бассейна реки Ертис с внедрением современных и иных адаптивных технологий.

Данное исследование выполнено в рамках проекта «Оценка и прогноз водообеспеченности природно-хозяйственной системы Ертисского бассейна с учетом перспектив сельскохозяйственного освоения территории и межбассейнового перераспределения водных ресурсов» по договору Комитета по водным ресурсам МСХ РК с ТОО «Институт Географии» МОН РК.

Таблица 1

Водохозяйственный баланс по участкам Ертисского бассейна в пределах РК, в км<sup>3</sup>

№ п/п	Составляющие баланса	Ретроспектива				Сценарий А в случае инерционного водо- потребления в РК						Сценарий В в случае интенсивного водо- потребления в РК					
		1980... 1989	1990... 1999	2000... 2010	2010... 2015	Прогноз по сцена- рию А1			Прогноз по сцена- рию А2			Прогноз по сцена- рию В1			Прогноз по сцена- рию В2		
						2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
1 участок – от гос. границы РК с КНР до НБ Буктырминского вдхр.																	
Приходная часть																	
1	Местные ресурсы (естественный)	13,5	14,6	15,2	20,0	13,5	13,3	13,0	13,5	13,3	13,0	13,5	13,3	13,0	13,5	13,3	13,0
2	Приток на уча- сток (фактиче- ский)	8,39	9,44	8,07	8,11	5,95	5,42	4,39	2,03	2,02	2,00	5,95	5,42	4,39	2,03	2,02	2,00
3	Осадки суммар- ные	0,79	0,98	0,96	1,04	0,956	0,975	0,987	0,956	0,975	0,987	0,956	0,975	0,987	0,956	0,975	0,987
4	Подземный при- ток	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
5	Сработка вдхр.	0,00	0,00	0,63	0,00												
	Итого:	22,8	25,1	25,0	29,2	20,5	19,8	18,5	16,6	16,4	16,1	20,5	19,8	18,5	16,6	16,4	16,1
Расходная часть																	
1	Отток с участка	15,9	17,7	16,9	15,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
2	Испарение сум- марное	3,13	4,04	4,11	3,96	4,52	4,67	4,83	4,52	4,67	4,83	4,52	4,67	4,83	4,52	4,67	4,83
3	Водозабор		0,54	0,18	0,21	0,623	0,626	0,629	0,623	0,626	0,629	0,856	1,091	1,094	0,856	1,091	1,094
4	Подземный отток	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
		0,68	0,24	0,00	2,99												
5	Русловые потери	3,19	3,45	3,60	4,73	3,20	3,15	3,08	3,20	3,15	3,08	3,20	3,15	3,08	3,20	3,15	3,08

№ п/п	Составляющие баланса	Ретроспектива				Сценарий А в случае инерционного водопотребления в РК						Сценарий В в случае интенсивного водопотребления в РК					
		1980... 1989	1990... 1999	2000... 2010	2010... 2015	Прогноз по сценарию А1			Прогноз по сценарию А2			Прогноз по сценарию В1			Прогноз по сценарию В2		
						2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
	Итого:	22,9	26,0	24,8	27,8	23,1	23,2	23,3	23,1	23,2	23,3	23,4	23,7	23,8	23,4	23,7	23,8
		Баланс															
		-0,17	-0,91	0,16	1,5	-2,6	-3,4	-4,9	-6,5	-6,8	-7,2	-2,9	-3,9	-5,3	-6,8	-7,3	-7,7
		2 участок – от НБ Буктырминского вдхр. до НБ Шульбинского вдхр.															
		Приходная часть															
1	Местные ресурсы	8,59	9,00	8,41	9,74	8,12	7,94	7,71	8,12	7,94	7,71	8,12	7,94	7,71	8,12	7,94	7,71
2	Приток на участок	15,9	17,7	16,9	15,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
3	Осадки суммарные	0,044	0,095	0,103	0,099	0,078	0,080	0,081	0,078	0,080	0,081	0,078	0,080	0,081	0,078	0,080	0,081
4	Подземный приток	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
	Итого:	25,8	28,1	26,7	26,9	24,2	24,1	23,8	24,2	24,1	23,8	24,2	24,1	23,8	24,2	24,1	23,8
		Расходная часть															
1	Отток с участка	25,7	28,2	27,3	25,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6
2	Испарение суммарное	0,069	0,19	0,19	0,18	0,182	0,186	0,190	0,182	0,186	0,190	0,182	0,186	0,190	0,182	0,186	0,190
3	Водозабор		0,21	0,17	0,28	0,357	0,355	0,353	0,357	0,355	0,353	0,430	0,502	0,499	0,430	0,502	0,499
4	Подземный отток	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Руслевые потери	0,70	0,77	0,74	0,70	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
	Итого:	26,4	29,4	28,4	26,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
		Баланс															
		-0,63	-1,28	-1,71	0,1	-1,5	-1,7	-2,0	-1,5	-1,7	-2,0	-1,6	-1,9	-2,1	-1,6	-1,9	-2,1

№ п/п	Составляющие баланса	Ретроспектива				Сценарий А в случае инерционного водопотребления в РК						Сценарий В в случае интенсивного водопотребления в РК					
		1980... 1989	1990... 1999	2000... 2010	2010... 2015	Прогноз по сценарию А1			Прогноз по сценарию А2			Прогноз по сценарию В1			Прогноз по сценарию В2		
						2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
3 участок – от НБ Шульбинского вдхр. до границы ВКО и Павлодарской обл.																	
Приходная часть																	
1	Местные ресурсы	0,54	0,57	0,58	0,84	0,577	0,582	0,583	0,577	0,582	0,583	0,577	0,582	0,583	0,577	0,582	0,583
2	Приток на участок	25,7	28,2	27,3	25,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6
3	Осадки	0,027	0,030	0,031	0,029	0,030	0,031	0,031	0,030	0,031	0,031	0,030	0,031	0,031	0,030	0,031	0,031
4	Подземный приток	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
	Итого:	26,3	28,8	27,9	26,6	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Расходная часть																	
1	Отток с участка	25,3	27,0	26,5	27,5	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77
2	Испарение	0,071	0,075	0,073	0,070	0,079	0,080	0,082	0,079	0,080	0,082	0,079	0,080	0,082	0,079	0,080	0,082
3	Водозабор		0,173	0,112	0,292	0,083	0,086	0,089	0,083	0,086	0,089	0,155	0,182	0,191	0,155	0,182	0,191
4	Подземный отток		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Русловые потери	0,26	0,28	0,29	0,41	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29
	Итого:	25,7	27,6	27,0	28,3	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
Баланс																	
		0,60	1,28	0,98	-1,7	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
4 участок – границы ВКО и Павлодарской обл. до гос. границы РК с РФ																	
Приходная часть																	

№ п/п	Составляющие баланса	Ретроспектива				Сценарий А в случае инерционного водопотребления в РК						Сценарий В в случае интенсивного водопотребления в РК					
		1980... 1989	1990... 1999	2000... 2010	2010... 2015	Прогноз по сценарию А1			Прогноз по сценарию А2			Прогноз по сценарию В1			Прогноз по сценарию В2		
						2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
1	Местные ресурсы	0,36	0,38	0,39	0,56	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393
2	Приток на участок	25,3	27,0	26,5	27,5	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77	26,77
3	Осадки	0,074	0,082	0,087	0,13	0,086 6	0,088 5	0,089 5	0,086 6	0,088 5	0,089 5	0,086 6	0,088 5	0,089 5	0,086 6	0,088 5	0,089 5
4	Подземный приток	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Итого:	25,8	27,5	27,0	28,2	27,2	27,3	27,3	27,2	27,3	27,3	27,2	27,3	27,3	27,2	27,3	27,3
		Расходная часть															
1	Отток с участка	23,0	24,9	21,9	26,1	12,0	11,6	10,8	10,0	9,9	9,6	12,0	11,6	10,8	10,0	9,9	9,6
2	Испарение	0,18	0,19	0,19	0,19	0,206	0,210	0,215	0,206	0,210	0,215	0,206	0,210	0,215	0,206	0,210	0,215
3	Водозабор		2,98	2,52	2,88	3,19	3,48	3,77	3,19	3,48	3,77	3,61	4,31	4,60	3,61	4,31	4,60
4	Подземный отток	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426	0,426
5	Русловые потери	0,36	0,38	0,39	0,56	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393	0,388	0,391	0,393
6	Потери на пойме	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655
	Итого:	24,7	29,6	26,1	30,8	16,2	16,1	15,6	14,2	14,4	14,4	16,6	16,9	16,5	14,7	15,2	15,3
		Баланс															
		1,13	-2,06	0,89	-2,6	11,0	11,2	11,6	13,0	12,9	12,8	10,6	10,3	10,8	12,6	12,0	12,0

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда (Народнохозяйственное значение водохранилищ и их воздействие на окружающую среду). – М.: Знание, 1982. – 47 с.
2. Әлімқұлов С.Қ. Алақөл алабы өзендерінің гидрологиялық зерттелуі// География және табиғат. – Алматы, 2008. - № 1(31). 15-17 с.
3. Боголовкий Б. Б. Водный баланс и термика озер и водохранилищ. Учебное пособие. – Л.: ЛПИ им. М. И. Калинина, 1979. –71 с.
4. Булат В. Г. Исследование стока Днепра и элементов режима Каховского водохранилища применительно к расчетам его водного баланса: Автореф. дис. канд. геогр. наук / Украинский ин-т инженеров водного хозяйства. – Ровно, 1975. –25 с.
5. Вендров С. Л., Дьяконов К. Л. Водохранилища и окружающая среда. – М.: Наука, 1976. – С. 134 136.
6. Гальперин Р.И. Проблема оценки водных ресурсов / Р.И. Гальперин, М.М. Молдахметов // Актуальные проблемы геосистем аридных территорий. – Алматы: КазНУ, 2003. –С. 41 46.
7. Гальперин Р.И. Вопросы совершенствования гидрологических расчетов и прогнозов для управления водными ресурсами / Р.И. Гальперин, Ж.Д. Достай // Матер. междунар. научно-практ. конф. «Географические проблемы устойчивого развития: Теория и практика, посв. 70–летию Института географии». – Алматы, 2008. – С. 214 225.
8. Гета Р. И. Водный баланс Братского водохранилища. – Новосибирск: Наука, 1978. – 134 с.
9. Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017...2021 гг. Постановление Правительства Республики Казахстан от 13 марта 2017 года № 113. [Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000423> (дата обращения: 04.05.2019).
10. Красов В. Д. Методические аспекты построения водохозяйственных балансов // Вестник ВГУ. – Серия: География. Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 18 23.
11. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер ЕЭК ООН (Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes) 1992 г.

- Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/watercourses\\_lakes.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml) (дата обращения: 18.04.2019).
12. Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков ООН (Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses) 1997 г. Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/watercrs.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercrs.shtml) (дата обращения: 08.05.2019).
13. Левит-Гуревич Л. К. Рациональное управление водными ресурсами водохранилищ на примере Волжско-Камского каскада // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №1(9). – С. 23 43.
14. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов. [Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902078439> (дата обращения: 06.04.2019).
15. Раткович Л.Д., Романова Ю.А. Водохозяйственный баланс реки Иртыш в пределах Республики Казахстан с учетом проектных мероприятий в Китайской Народной Республике // Природообустройство. – 2014. – № 2. –С. 75 85.
16. Хельсинкские правила использования вод международных рек (ILA Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers) 1966 г. Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1900698> (дата обращения: 29.04.2019)  
Поступила 31.05.2019

Ж.Ж. Смагулов  
А.А. Сапарова  
А.Р. Загидуллина  
Г.Р. Баспакова

**ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ АЛАБЫНДА СУ  
ТҰТЫНУДЫ ДАМУ ТУРАСЫ СЦЕНАРИЙЛЕРІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ СУ  
ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЗЕРТТЕУЛЕРІ (ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІ)**

*Түйін сөздер:* су ресурстары, су теңдестігі, су тұтыну, су шаруашылығы есебі, баланс теңдеуі, су шаруашылығы телімі, сценарий, су тапшылығы.

*Мақалада асу шаруашылығы теңдестігінің элементтерін зерттеудің жалпы және жеке мәселелері қарастырылған, Қазақстан шегінде Ертіс алабының су шаруашылығы теңдестігінің есебі жүргізілді, Нақты су шаруашылығы міндеттерін шешу үшін Ертіс өзені бассейнін (4 топтық телімдерге) аудандастыру жүргізілді, Ретроспективті (1980...1989, 1990...1999, 2000...2010 және 2010...2015 жж.) және болжамды (А және В сценарийі) Су шаруашылығы теңдестігі жасалды.*

J.J. Smagulov, A.A. Saparova, A.R. Zagidullina, G.R. Baspakova

**WATER MANAGEMENT STUDIES AND WORKING-OUT OF  
SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF WATER CONSUMPTION  
IN THE TRANSBOUNDARY ERTIS RIVER BASIN (KAZAKHSTAN  
PART)**

*Key words:* water resources, water balance, water consumption, water-management design, balance equation, water management area, scenario, water deficit

*The article deals with both General and individual issues of the study of the elements of water balance. The calculation of the water balance of the Ertis River Basin within Kazakhstan was made. Zoning of the Ertis River Basin (on 4 key areas) for the solution of specific water management problems was carried out. The retrospective (1980...1989, 1990...1999, 2000...2010 and 2010...2015) and forecast (scenarios A and B) water balances were compiled.*

УДК 39.01.05

Канд. биол. наук  
Канд. биол. наук  
Канд. биол. наук  
Канд. биол. наук

А.С. Курманбаева<sup>1</sup>  
И.Б. Фахруденова<sup>1</sup>  
З.Е. Баязитова<sup>1</sup>  
А.А. Какабаев<sup>1</sup>  
Т.В. Карнаухова<sup>1</sup>

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ИНДЕКСА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ ОЗЕРА УЛЬКЕН ШАБАКТЫ

**Ключевые слова:** динамика уровня воды, водные ресурсы, водохозяйственный бассейн, гидрохимический анализ, загрязнение вод

*В данной статье проанализировано качество поверхностных вод оз. Улькен Шабакты (Большое Чебачье). Точки отбора проб были установлены с учетом гидрометрических и морфометрических особенностей водоема, расположения источника загрязнения, объема и состава сбрасываемых сточных вод и в соответствии с правилами охраны поверхностных вод от загрязнения. Изучение динамики индекса загрязнения воды оз. Улькен Шабакты показало, что с 2009 по 2013 гг. данный показатель варьировал на уровне 3, в последние годы снизился до 1,5. На 2018 г. данный показатель повысился и составляет 2,7, что свидетельствует о увеличении количества загрязнений попадающих в воды озера. Индекс загрязнения – умеренно загрязненная, 3 класса.*

Проблемы охраны окружающей среды курорта имеют огромное значение, экологическое состояние Щучинско-Боровской зоны остается напряженным. Уровень загрязнения лесной растительности (хвойных и лиственных пород) по двуокиси серы составляет от 2 до 5 ПДК. 70 % почвенного покрова г. Щучинска загрязнены по свинцу от 2 до 3 ПДК, по мышьяку – 10...15 ПДК, по меди – от 3 до 20 ПДК [1]. Загрязнения охватывают п. Боровое, основные комплексы рекреационных учреждений, фиксируются на побережье озер Щучье, Улькен Шабакты и Киши Шабакты и протягиваются вдоль автомагистралей. В результате безвозвратного забора воды на промышленные и питьевые нужды, распашки земель на склонах,

---

<sup>1</sup> Кокшетауский государственный университет имени Ш.Уалиханова, г. Кокшетау  
130

вырубок леса в водосборной площади происходит смыв загрязняющих и органических веществ, что увеличивает процессы заиливания озер. В настоящее время Щучинско-Боровская зона является объектом развивающегося туризма в связи с чем экологическое состояние некоторых озер стало заметно ухудшаться. За последние годы «цветение» воды стало часто возникать в оз. Улкен Шабакты, когда-то отличавшегося особой чистотой воды среди озер Щучинско-Боровской зоны [2].

Экологическое состояние оз. Улкен Шабакты, входящего в пределы государственного национального природного парка «Бурабай» было оценено по опубликованным данным лабораторных исследований Казгидромета, а также данным собственных исследований. Анализ данных осуществлялся по усредненным показателям по разовым отборам. Точки отбора проб были установлены с учетом гидрометрических и морфометрических особенностей водоема, расположения источника загрязнения, объема и состава сбрасываемых сточных вод и в соответствии с правилами охраны поверхностных вод от загрязнения [3-4].

Отбор проб воды проводился в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 31861 – 2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». Настоящий стандарт распространяется на любые типы вод и устанавливает общие требования к отбору, транспортированию и подготовке к хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойства. Содержание кадмия, железа общего, марганца, меди, никеля, свинца, цинка и мышьяка определяли атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией по СТ РК 2318-2013. Количество ртути определяли по СТ РК ИСО 16590-07. Содержание сульфатов определяли гравиметрическим методом по СТ РК 1015-2000. Содержание хлоридов определяли методом жидкостной ионообменной хроматографии СТ РК ИСО 10304-1-09. Количество фторидов определяли спектрофотометрическим методом ФР.1.31.2013.15429. Содержание карбонатов потенциометрическим методом по ГОСТ 31957-2012. Количество нитратов и нитритов определяли методом спектрофотометрии. Нитратов по ФР.1.31.2013.16571, нитритов по ФР.1.31.2013.16572. Содержание азота общего определяли по ГОСТ 26449.1-85. Содержание азота аммонийного определяли титрованием по СТ РК ИСО 5664-2006 [5].

Озеро расположено у курорта Боровое, в 15 км к северу от г. Щучинска. Координаты центра озера – 53°07' с.ш., 70°17' вд. Площадь водо-

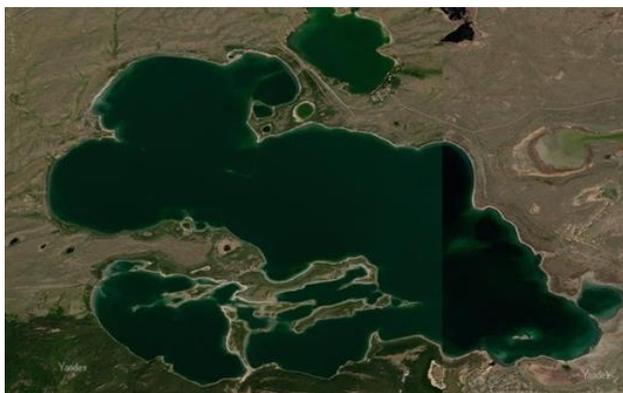
сбора: общая — 150 км<sup>2</sup>, без средней площади озера –129 км<sup>2</sup>. Площадь зеркала воды – 22 км<sup>2</sup>. Водосбор расположен среди мелкосопочника, в котором открытые равнинные участки заняты целинной степью, чередуются с холмами, покрытыми смешанным лесом (рис. 1) [6].



*Рис. 1. Озеро Улькен Шабакты.*

Бассейн занимает северную и северо-восточную части территории национального парка, расположен на границе покрытого лесом средневысотного мелкосопочника на юге, юго-западе и юго-востоке с открытой холмистой равниной, занятой целинной степью, на севере и северо-востоке. К югу от озера находятся склоны горного массива, поросшего сосновым лесом.

Грунты равнинной части бассейна супесчаные, холмы и горный массив сложены каменными породами преимущественно гранитоидами, различными сланцами, кварцитами (рис. 2). Площади степных и лесных участков примерно одинаковы и охватывают около 90 % поверхности водосбора. Остальная часть водосбора занята пахотными землями [7].



*Рис. 2. Космический снимок озера Улькен Шабакты полученный с сервера Яндекс, через программу SAS Planet.*

На озере имеется ряд небольших островов, образованных подводными грядами; часть из них покрыта редкой кустарниковой растительностью. Озеро открытое, без водной растительности, что объясняется наличием больших глубин (до 33,3 м). Северный и восточный берега озера пологие, степные, высотой 5...6 м. Южным и юго-западным берегами служат склоны горного массива, поросшие сосновыми лесом. Дно озера сложено желтовато-коричневыми глинами, покрытыми светлым (известковым) и черным илом. Озеро бессточное. С южного берега у курорта Боровое в озеро впадает р. Громотуха, вытекающая из оз. Бурабай [8].

Озеро находится в стадии усыхания. В период 1920...1933 гг. уровень воды понизился на 2,3 м. Наблюдениями на водомерном посту установлено новое понижение уровня озера с 1948 по 1957 гг. на 3,1 м. Самый низкий уровень наблюдался в декабре 1957 г. За последнее время подъем уровня в озере над предвесенним обычно не превышает 8...10 см. Минерализация воды в течение всего года изменяется в пределах 400...600 мг/л, а жесткость – в пределах 3...5 мг-экв. (умеренно-жесткая). Вода по составу смешанная гидрокарбонатная с преобладанием ионов натрия и значительным содержанием ионов магния. Температура воды 9...10,6 °С, pH – 8,7 [9].

Водоем используется для купания, спорта и отдыха населения. Источником загрязнения водоема являются ливневые и паводковые стоки с территории с. Боровое. Изучение динамики индекса загрязнения воды оз. Улькен Шабакты показало, что с 2009 по 2013 гг. данный показатель варьировал на уровне 3, в последующие годы снизился до показателя 1,5 (рис. 3). В 2018 г. данный показатель повысился и составляет 2,7, что свидетельствует о увеличении количества загрязнений, попадающих в воды озера. Индекс загрязнения – умеренно загрязненная, 3 класса.

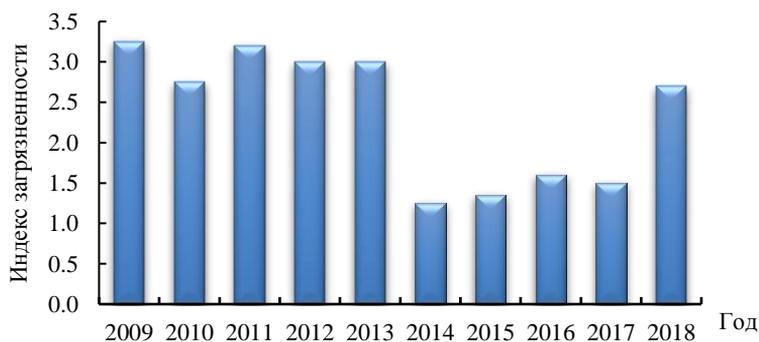


Рис. 3. Динамика индекса загрязненности воды в оз. Улькен Шабакты.

Превышение ПДК наблюдалось по 5 показателям, при этом значительное превышение наблюдалось по фторидам от 3,1 до 16 раз (рис. 4). В 2009 и 2010 гг. было выявлено превышение по общему железу, впоследствии загрязнение воды этим химическим элементом не наблюдалось. Загрязнение медью, магнием и сульфатами можно назвать устойчивым и проявлявшим себя все годы наблюдений, эти показатели превышали ПДК от 1,1 до 2,5 раза (табл. 1).

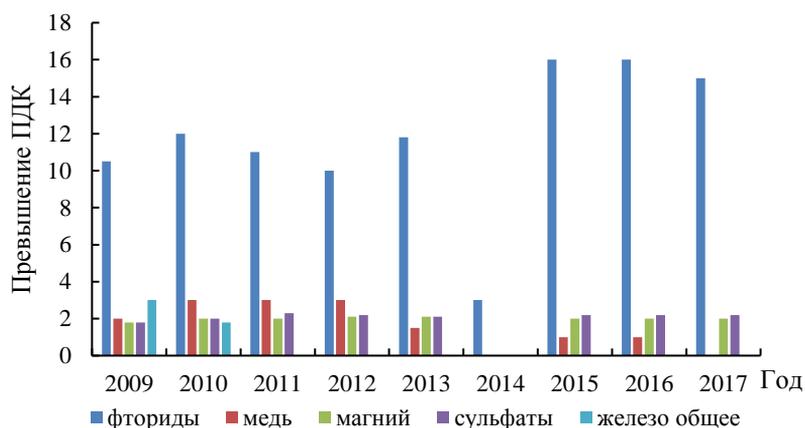


Рис. 4. Анализ кратности превышения ПДК загрязняющих веществ в водах оз. Улькен Шабакты в динамике с 2009 по 2017 гг.

Таблица 1

Содержание загрязнений в воде оз. Улкен Шабакты, мг/дм<sup>3</sup>

№	Наименование показателей	Нормы ПДК	Фактическая концентрация
1	Кадмий	0,001	0,001
2	Железо общее	0,3 (1,0)	0,06
3	Марганец	0,1 (0,5)	0,028
4	Медь	1	> 0,0005
5	Никель	0,1	> 0,005
6	Свинец	0,03	0,006
7	Цинк	5	0,0057
8	Мышьяк	0,05	> 0,005
9	Ртуть	0,0005	> 0,01
10	Сульфаты	500	191,76
11	Хлориды	350	199,5
12	Фториды	1,5	<b>3,28</b>
13	Карбонаты	-	24
14	Нитраты	45	1,771
15	Нитриты	3	> 0,01
16	Азот общий	-	0,22
17	Азот аммонийный	2	1,26

Химическое загрязнение воды фторидами является одним из основных в водах озера и превышает ПДК в 2,2 раза (рис. 5).

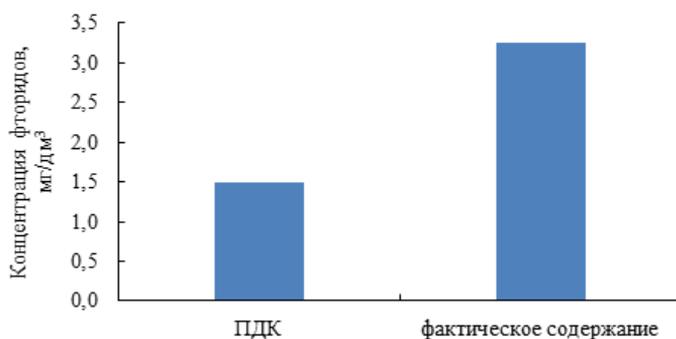


Рис. 5. Значение концентрации фторидов в воде оз. Улькен Шабакты.

Как показали исследования, качество воды в водоеме имеет тенденцию к ухудшению, и степень ее загрязненности в динамике заметно увеличивается. Об этом свидетельствует высокое содержание тяжелых металлов, низкое качество воды по прозрачности и увеличение биохимической потребности кислорода. Антропогенная нагрузка, возрастающая по мере увеличения использования озер в качестве зон отдыха, способствует ускорению эвтрофирования, т.е. накопления в водах биогенных элементов под воздействием человеческого или природных факторов. Сначала эвтрофикация ведет к повышению биологической продуктивности водных бассейнов, а затем, с возрастающей нехваткой кислорода к заморам [10-11].

Необходимо улучшение состояния поверхностных водоемов. Неблагополучная экологическая обстановка Щучинско-Боровской курортной зоны сложилась не вдруг и не сразу, она складывалась в течение многих лет и связана со многими антропогенными и природными факторами. Острыми проблемами являются обмеление и загрязнение озер и избыточная рекреационная нагрузка на объекты природной среды. Отсутствие централизованных систем канализации влечет за собой сооружение многочисленных локальных сборников сточных вод (выгребов), что зачастую создает угрозу их переполнения и загрязнения окружающей среды [12].

Основными причинами загрязнения оз. Улькен Шабакты является безвозвратный забор воды, загрязнение водосборной площади отходами производства и потребления, с последующим смывом их в поверхностные водоемы, площадной смыв почв с пахотных земель, загрязнение прибреж-

ных полос и пляжей мусором. Все эти отрицательные факторы, а также испарительные процессы с поверхности озера привели к изменению температурного режима. Температура воды ежегодно повышалась, что создало благоприятные условия для развития водной растительности. При ежегодном отмирании водной растительности увеличивались объемы донных отложений и ухудшилось качество воды. Свою долю в загрязнение воды внесли аварийные сбросы сточных вод.

В последние годы из-за слабой материально-технической базы коммунальных предприятий, скопления бытовых отходов, сбрасываемых отдыхающими, несвоевременной очистки выгребов стали выявляться новые факты загрязнения водоемов сточными водами, что ухудшает и без того критическое экологическое и санитарно-гигиеническое состояние воды озер курортной зоны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справ. материалы. – М.: Социально-эколог. союз. – 2000. – 148 с.
2. Горюнова С. В., Демина Н.С. Водоросли продуценты токсических веществ, М., 1974. – С. 45-47.
3. Жумангалиева З.М. Многокритериальная оценка качества вод Щучинско-Боровской курортной зоны Казахстана // Сборник докладов IV Междунар. молодежной науч. конференции «Экология-2011», Архангельск 06-11 июня, 2011 года. – Архангельск: изд-во АНЦ УрО РАН, 2011. – С. 94-95.
4. Zhumangalieva Z. Water resources of Kazakhstan: the lakes' fund // Proc. Vol. 2. Is\* Eurasian Multidisciplinary Forum, EMF 2013, 24-26 of October 2013. – Tbilisi, European Scientific institute ESI, 2013. – P. 35-38.
5. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан // Министерство энергетики РК. РГП «Казгидромет» Департамент экологического мониторинга. –2016. – С. 56-58.
6. Информационный бюллетень о Состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2017 год. – Министерство энергетики Республики Казахстан: Департамент экологического мониторинга РГП на ПХВ «Казгидромет», 2017. – С. 25-27.
7. Информационный бюллетень о Состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2018 год. – Министерство энергетики Республики

Казахстан: Департамент экологического мониторинга РГП на ПХВ «Казгидромет», 2018. – С. 15-18.

8. Jorgensen S.E. A eutrophication model for a lake // J. Ecol. Modelling. 1976. – V. 2. – P. 147-165.
9. Кирпенко Ю.А., Сиренко Л.А., Орловский В.М., Лукина Л.Ф. Токсины сине-зеленых водорослей и организм животного. – Киев: Наукова думка, 1977. – С. 252.
10. Успенский А.П. Озера Боровое и Щучье на курортах Боровое и Бармашино. – Сибирский медицинский журнал № 8. – Новосибирск, 1981. – С.-95-101.
11. Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б. Математические модели биологических продукционных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1993. – 301 с.
12. Силкин В.А., Хайлов К.М. Биоэкологические механизмы управления в аквакультуре. Л.: Наука, 1988. – 230 с.

Поступила 12.03.2019

Биол. ғылым. канд.

Биол. ғылым. канд.

Биол. ғылым. канд.

Биол. ғылым. канд.

А.С. Құрманбаева

И.Б. Фахруденова

З.Е. Баязитова

А.А. Какабаев

Т.В. Карнаухова

## ҮЛКЕН ШАБАҚТЫ КӨЛІНІҢ СУЫНЫҢ ЛАСТАНУ ИНДЕКСІНІҢ ДИНАМИКАСЫН ЗЕРТТЕУ

**Түйін сөздер:** су деңгейі, су ресурстары, шаруашылық су бассейні, гидрохимиялық анализ, судың ластануы

*Осы мақалада «Үлкен Шабалты» көлінің беткі суының сапасы анықталды және талданды. Сынамалық нүктелер қоймалардың гидрометриялық және морфометрикалық ерекшеліктерін, ластану көздерінің орналасуын, ағынды сулардың көлемі мен құрамын және жер үсті суларының ластанудан қорғау ережелеріне сәйкес белгіленді. Үлкен Шабалты көлінің судың ластану көрсеткішінің динамикасын зерттеу 2009 жылдан 2013 жылға дейінгі аралықта бұл көрсеткіш 3 деңгейге өзгерді, кейінгі жылдары ол 1,5-ке дейін төмендеді. 2018 жылға қарай бұл көрсеткіш өсті және 2,7 болды, бұл көлге түсетін ластану көлемінің артуын көрсетеді. Ластану индексі - орташа ластанған, 3 кл.*

A.S. Kurmanbaeva, I.B. Fakhrudanova, Z.E. Bayazitova, A.A. Kakabaev,  
T.V. Karnaukhova

## **STUDYING THE DYNAMICS OF WATER POLLUTION INDEX OF THE ULKEN SHABAKTY LAKE**

**Key words:** water level dynamics, water resources, water economy basin, hydrochemical analysis, water pollution

*In this paper, the quality of the surface water of the Ulken Shabakty Lake (Bolshoye Chebache) has been analyzed. Sampling points were established taking into account the hydrometric and morphometric features of the reservoir, the location of the source of pollution, the volume and composition of the discharged wastewater and in accordance with the rules for protecting surface water from pollution. A study of the dynamics of the water pollution index of the Ulken Shabakty Lake showed that from 2009 to 2013 this indicator varied at level 3, in subsequent years it decreased to 1,5. For 2018, this figure increased and is 2,7, which indicates an increase in the amount of pollution entering the lake. Pollution index – moderately polluted, 3 class.*

УДК 504.06:629.78.004

А.О. Бимаганбетова<sup>1</sup>  
Т.А. Базарбаева<sup>2</sup>  
Г.А. Муканова<sup>2</sup>  
А.Б. Атыгаев<sup>2</sup>**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА МЕСТЕ АВАРИЙ ПРОТОН-М**

**Ключевые слова:** ракетно-космическая деятельность, компоненты ракетного топлива, воздействие ракетного топлива, несимметричный диметилгидразин в растениях, несимметричный диметилгидразин и продукты его трансформации

*В статье приведен краткий обзор актуальных направлений изучения воздействия ракетно-космической деятельности на окружающую среду. Выявлено воздействие ракетного топлива, где главными токсикантами являются несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и продукты его трансформации: нитрозодиметиламин (НДМА), диметиламин, тетраметилтетразен. Попадание компонентов ракетного топлива в окружающую среду способствует образованию локальных биохимических поверхностных аномалий. В работе объектом исследования является место аварийного падения ракеты-носителя «Протон-М» 2013 г. Составлена база данных с координатами точек отбора проб на месте падения ракет-носителей (РН).*

**Введение.** Под влиянием хозяйственной деятельности человека повсеместно происходит трансформация естественного растительного покрова, в результате которой формируются неустойчивые модификации растительных сообществ, упрощается их структура, уменьшается биоразнообразие, снижается продуктивность, утрачивается ресурсная значимость и функциональная роль в биосфере [1]. В связи с этим целями экологического обследования почвенно-растительного покрова являлись: визуальный осмотр состояния растительного покрова, оценка состояния растительных сообществ и оценка уровня

---

<sup>1</sup> РГП «НИЦ Фарыш-Экология», Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup> КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

загрязнения почвы и растений компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации на местах аварийного падения ракеты-носителя «Протон-М» в 2007 и 2013 гг.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследований на местах аварийных падений ракеты-носителя «Протон-М» в 2013 г. на территории позиционного района космодрома «Байконур» и в 2007 г. на территории Улытауского района Карагандинской области являлись почва и растительность.

Флористическое исследование растительности проводили в общей системе натуральных наблюдений, так как для выявления тренда развития и изменения растительности необходимы сведения по другим компонентам экосистем и их параметрам (Договор аренды комплекса «Байконур» между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан (Москва, 10 декабря 1994 г.)) [2].

Подсистема растительности является основным функционирующим природным блоком экосистем. Она индуцирует любые изменения других компонентов, включая антропогенные. Присущие растительности свойства сверхинформативности и физиономичности в ландшафте позволяют визуально оценить деструктивные изменения экосистем.

Состояние флоры и растительности определяется конкретным типом местообитания со всеми, свойственными ему, процессами и явлениями. Поэтому, в качестве теоретической платформы исследований использовался экосистемный или ландшафтно-динамический подход, позволяющий всесторонне подойти к оценке состояния растительности и выявить связи взаимодействия с другими компонентами (почвами, водами и т.д.) [3, 4].

В качестве методической основы использовались традиционные методы геоботанических исследований: описания фитоценозов, ландшафтно-экологическое профилирование. Особое внимание уделялось изучению пространственного размещения (структуры) растительности в её взаимосвязи с другими компонентами ландшафта (рельефом, почвой и др.), оценке состояния фитоценозов, выявлению редких, эндемичных видов и сообществ, оценке биоразнообразия.

**Результаты.** Для экологического обследования почвенно-растительного покрова на местах аварий ракет-носителей «Протон-М» проведен анализ базы данных (БД) по результатам многолетнего экологического мониторинга мест аварийного падения, созданы схемы отбора проб при экспедиционных работах [5]. Для решения поставленных задач применялась программа MapInfo Professional 12.1 и ГИС-методы:

- *SQL-запрос*, (Structured Query Language – язык структурированных запросов, инструмент для создания всевозможных выборок из БД;
- *пространственный анализ*, в данном случае анализ расположения точек с выявленными концентрациями НДМГ и НДМА в растительном покрове;
- *картометрические функции* – это операции, позволяющие измерять расстояния и площади и направлены на получение информации с карты.

На первом этапе проанализирована БД по результатам экологических исследований растительного покрова на местах аварий РН «Протон-М» 2007 г. и 2013 г. С помощью SQL-запросов из БД выбраны точки с выявленными концентрациями НДМГ и НДМА.

На месте аварийного падения «Протон-М» в 2013 г. концентрации НДМА выявлены в растительном покрове в 2017 г. (спустя 4 года после аварии) в 18 точках (0,12...4,025 мг/кг) на месте падения внутри огороженной территории, на расстояниях 300...350 м от огороженной территории и в фоновой пробе на расстоянии 790 м.

На месте аварийного падения «Протон-М» в 2007 г. (верхняя часть разгонного блока «Бриз-М» и часть переходного отсека космического аппарата) концентрации НДМГ и НДМА в растительном покрове выявлены в 74 точках за период 2009...2014 гг. В 2009 г. НДМГ в растительном покрове обнаружен в 23 точках в пределах 0,14...1,9 мг/кг, НДМА в 3 точках в пределах 0,3...1,0 мг/кг. В последующие годы выявлен только НДМА: в 2010 г. – в 63 точках (0,03...6,9 мг/кг); в 2011 г. – в 11 точках (0,11...0,21 мг/кг); в 2013 г. – в 12 точках (0,127...4,839 мг/кг); в 2014 г. – в 9 точках (1,69...13,05 мг/кг). В 18 из 74 точек концентрации НДМА сохранялись от двух лет и более. На втором этапе выбраны точки для исследований в 2018 г. Выбор основывался на анализе встречаемости НДМГ и НДМА в растительном покрове, значений концентраций и наличии загрязнений НДМГ и НДМА в почве [6].

В соответствии с техническим заданием проведено маршрутное обследование растительных сообществ с указанием их расположения (по GPS) и описанием (видовой состав, обилие, проективное покрытие), констатацией наличия аномалий у растений, взятием проб растений для химических исследований [Договор аренды комплекса «Байконур» между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан (Москва, 10 декабря 1994 г.)].

В ходе полевых работ на территории места аварии РН «Протон-М» в 2013 г. в позиционном районе космодрома «Байконур» проведены обследования флоры на 12 точках (10 точек непосредственно на месте

аварии РН и 2 фоновые), размером 10 x 10 м. Методом космической навигации (GPS) определены координаты нижнего левого угла площадки и вся информация занесена в полевые бланки геоботанических описаний. Эколого-флористическое обследование сопровождалось описанием состояния растительных сообществ на период проведения полевых работ, с указанием экологических условий на местах отбора проб растений (флористический состав, общее проективное покрытие, высота растений). На местах описаний отобрано 72 пробы растений (по 3 вида растения с разделением надземной и корневой части), предназначенные для количественного химического анализа на содержание НДМГ и НДМА в аналитической лаборатории РГП «НИЦ «Гарыш-Экология». В местах отбора проб растений также было отобрано 24 пробы почвы из поверхностного слоя 0...25 см для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат-ионов, аммонийного азота, уровня *pH*.

На месте аварийного падения РН «Протон-М» в 2007 г. (место падения верхней части разгонного бока «Бриз-М» и переходного отсека космического аппарата) обследование почвенно-растительного покрова проведено на 25 точках по 8 румбам. Вся информация об описании растительных сообществ занесена в полевые бланки. Отобрано 165 проб растений (по 3...6 видов растений с каждой точки с разделением надземной и корневой части), предназначенные для количественного химического анализа (КХА) на содержание НДМГ и НДМА в аналитической лаборатории РГП «НИЦ «Гарыш-Экология» и 50 проб почвы из поверхностного слоя глубиной до 0,5 м (из слоев 0...25 см и 25...50 см) для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат-ионов, аммонийного азота, уровня *pH*.

Территория аварийного падения РН «Протон-М» 2013 г. в позиционном районе космодрома «Байконур» представляет собой наклонный выровненный участок, пересеченный бороздами распашек, что явилось результатом, проведенной в осенний период 2017 г., рекультивации земель на бывшей огороженной территории с подсевом семян саксаула черного (рис. 1а). В апреле 2018 г. непосредственно на месте падения растительность отсутствовала, на расстоянии 10...15 м от места падения наблюдалось возобновление растительного покрова в виде неустойчивых, смешанного видового состава, группировок с низким проективным покрытием почвы (от 1 до 10 %) (рис. 1б.). Преобладали однолетние солянки (рогач песчаный), климакоптера мясистая, солянка чумная, из эфемеров и эфемероидов: мортук пшеничный, рогоглавник пряморогий, пажитник дугообразный, осока вздутоплодная, мятлик луковичный с проективным покрытием

10...15 % в зоне аварии, при средней высоте растений 2...5 см (солянки и сорные эфемеры, ранг) [7-9]. Единично были отмечены ревень татарский, высотой 8...15 см, вегетативные побеги полыни белоземельной 4...6 см. На период описания солянки и эфемеры находились в фазе вегетации, тюльпаны и ревень в стадии цветения. Наиболее возвышенная часть района аварийного падения, подвергавшаяся пожару в 2013 г., расположена в южном направлении от места падения на песчаном массиве.



*Рис 1. Место аварийного падения РН «Протон-М» 2013 г.: а) – распахка земель в центре места падения РН «Протон-М»; б) – возобновление растительного покрова на месте аварии.*

Отмечено преобладание разреженных группировок разнотравья (ирисы, тюльпаны) и злаков (пырей гребневидный) с проективным покрытием 10...15 % и средней высотой растений 12...15 см, а также большое количество сухих, местами выгоревших корней коренной растительности данной территории – полыни белоземельной (рис. 2).



*Рис 2. Район аварийного (после пожара в 2013 г.) падения РН «Протон-М».*

На фоновых точках растительный покров представлен коренными полынно-кейреуковыми ассоциациями, с проективным покрытием почвы растениями 40...45 %, высота растений полыни белоземельной – 6...8 см, солянки восточной (кейреука) – 30...40 см (рис. 3а).

В ходе полевых работ, как на фоновых участках, так и на нарушенных почвах выявлен восстанавливающийся вид, подлежащий охране и занесенный в Красную книгу Казахстана – тюльпан Борщева (*Tulipa borczowii*). Природоохранный статус видов (редкие, эндемичные) приводится согласно Красной книге растений КазССР (рис. 3б) [2].



Рис 3. Фоновая точка (РФ-12): а) – коренные (фоновые) кейреуково-полынные ассоциации места падения РН «Протон-М»; б) – тюльпан Борщева (*Tulipa borczowii*).

В результате полевых работ в районе обследования составлен предварительный список наиболее распространенных по обилию и встречаемых растений. Собран гербарий неуставленных видов растений для дальнейшего их определения в камеральных период.

Место аварийного падения РН «Протон-М» 2007 г. в Улытауском районе Карагандинской области (место падения (МП) верхней части разгонного блока «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата), обследовано 26 мая 2018 г. Место падения характеризуется комплексом пятен оголенных почв с неоднородным по всем румбам от центра МП сильно разреженным растительным покровом в виде сухих группировок из однолетних солянок, сорного разнотравья и корней полыни с единичными вегетирующими особями иксилириона татарского и горца птичьего с проективным покрытием 1...3 %, при средней высоте растений 10...15 см. Сухими побегами неопределенных растений покрыто 15...20 % при высоте

сухих побегов 10...20 см. По мере удаления от центра МП (10...20 м) увеличивается количество вегетирующих видов (горец птичий, единичные побеги полыни белоземельной и кейреука) с проективным покрытием 10...15 % и высотой растений 6...8 см (рис. 4). Повсюду отмечено наличие обгоревших корней и стеблей полыни белоземельной (рис. 5). На расстоянии 3...5 м от центра МП в юго-юго-восточном направлении выявлено 15 кустов вегетирующей полыни белоземельной высотой 20...22 см.



*Рис. 4. Восстановление солянки восточной (кейреука) и ревеня низкого.*

За пределами брустера на расстоянии от 100 м до 1000 м от центра МП растительный покров представлен диффузным зарастанием сорнотравными группировками из клоповника сорного, горчака ползучего, бурачка пустынного, как результат пожара осени 2017 г. и разреженными коренными видами ковыля Лессинга и полыни белоземельной (рис. 6).



*Рис. 5. Обгоревшие стебли коренной (фоновой) растительности на месте падения верхней части РБ «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата КА.*

Отмечены факты восстановления растительности в центре места падения фрагментов аварийной РН «Протон-М» в 2007 г. рудеральными группировками и возвращением фоновых многолетних видов растений, таких как полынь белоземельная, полынь полусухая, ковыль лессинговский, ковыль волосатик, солянка восточная (кейреук).



*Рис. 6. Состояние растительности на территории места падения верхней части РБ «Бриз-М» и части переходного отсека космического аппарата КА.*

В сентябре 2018 г. проведен повторный отбор проб растений и почвы на месте аварии РН «Протон-М» 2013 г. позиционного района космодрома «Байконур». Было отобрано 24 пробы растений с 12 точек (раздельно бралась надземная и подземная части) для определения содержания НДМГ и НДМА и 24 пробы почвы из поверхностного слоя 0...25 см для определения содержания НДМГ, НДМА, нитрат- и нитрит-ионов.

**Выводы.** По результатам визуальной оценки местности растительный покров на месте аварийного падения РН «Протон-М»:

1. На месте воронки, которая появилась после взрыва аварийного РН отмечены положительные результаты работ по технической рекультивации и посеву семян саксаула.
2. На месте воронки, образованной после аварии РН, проективное покрытие растениями земной поверхности составляет 1...10 %. Растительный покров представлен: эфемерами, эфемероидами: осока вздутоплодная, мортук восточный, ревень татарский, рогач песчаный, а также в большом количестве таким видов солянки как рогач песчаный (эбелек). Отмечено появление единичных экземпляров тюльпана Борщева – вида, занесенного в Красную книгу Казахстана.

3. За пределами бывшей огражденной территории, на месте пожара 2013 г., можно выделить зону с увеличением видов растений и общего проективного покрытия 10...25 %. Растительность также представлена эфемерами, эфемероидами, злаками, разнотравьем и солянками: осока вздутоплодная, мортук восточный, мятлик луковичный, бурачок пустынный, рогозавник пряморогий, клопо пронзеннолистный, ревень татарский, тюльпан Борщева, рогач песчаный, ирис тонколиственный. В незначительном количестве отмечены виды коренной растительности - полыни белоземельной и пырея пустынного.
4. На территории, не подвергавшейся пожару, а также на фоновых точках сохранена коренная растительность (полынь белоземельная, солянка восточная (кейреук), кохия простертая (изень)). Проективное покрытие почвы растениями составляет 40...55 %.
5. В апреле-мае 2018 г. по сравнению с 2017 г. за пределами района аварийного падения выявлены признаки восстановления растительности. На месте аварийного падения, в пределах бывшей зоны ограждения, сохраняется очень сильная степень нарушенности – как результат рекультивации этой территории, проведенной осенью 2017 г.

По результатам экологического мониторинга места падения РН «Протон-М» дана оценка современного состояния места аварийного падения и прилегающих территории. На месте аварий наблюдается положительная динамика восстановления природной экосистемы, выраженная в появлении единичных растений, разреженных группировок и сорнотравно-эфемеровых ассоциаций, а также сокращение аварийных уровней загрязнения почвы НДМГ, НДМА, нитрат-ионов и нитрит-ионов.

По наблюдениям за местом аварий РН «Протон-М», можно заметить, что спустя столько лет после аварий на месте бывших воронок идет постепенное увеличение растительного покрова, тем самым идет восстановление прежних мест приближенное к первоначальному виду.

По результатам исследований сделаны следующие рекомендации.

1. Нужно увеличить объем финансирования работ по выполнению комплексной экологической оценки в районах аварийного падения.
2. Учитывая процессы естественного восстановления техногенно- нарушенной экосистемы, отмеченные в 2018 г. в районе аварийного падения РН «Протон» от 02.07.2013 г., не проводить дополнительные работы по деток-

сикации и рекультивации почв. В плане продолжения экологического мониторинга этой территории необходимо выполнять дальнейший контроль за динамикой восстановления от негативных аварийных последствий.

3. В точках обнаружения в 2018 г. признаков негативных аварийных последствий (химическое загрязнение продуктами трансформации КРТ, техногенная трансформация растительного покрова) необходимо провести углубленное исследование почвенно-растительного покрова, с подключением к анализу физико-химических, морфологических и микробиологических характеристик почвенных разрезов, геоботанических описаний, морфологических и цитологических показателей проб растений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жубатов Ж.К., Бисариева Ш.С., Товасаров А.Д., Бекешев Е.А., Толегонова Н.А., Агапов О.А. Оценка динамики загрязнения почвенно-растительного покрова компонентами ракетного топлива в районах аварийных падений ракет космического назначения // Матер. научно-практ. конф. «Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности». – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. – С. 74-79.
2. Касимов Н.С., Гребенюк В.Б., Королева Т.В., Проскураков Ю.В. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях Н. С. Касимов, В. Б. Гребенюк, Т. В. Королева, Ю. В. Проскураков // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110–120.
3. Полевая геоботаника в 4-х томах / Под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. – М.-Л.: Наука, 1959-1972. – 1805 с.
4. Касимов Н.С., Гребенюк В.Б., Королева Т.В., Проскураков Ю.В. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях Н. С. Касимов, В. Б. Гребенюк, Т. В. Королева, Ю. В. Проскураков // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110–120.
5. R. S. Smirnov, I. A. Rodin, A. D. Smolenkov, and O. A. Shpigun. Transformation of unsymmetrical dimethyl hydrazine in soils using chromatography/mass spectrometry // Journal of Analytical Chemistry. – 2010. – Vol. 65. – P.1266-1272.
6. Айвазян Л.Д., Касимов Н.С. О геохимической специализации растений (на примере Мугоджар) // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. – 1979. – № 5. С.42-47.

7. Ensing B., Buda F., Baerends E. J. Fenton-like chemistry in water: Oxidation catalysis by Fe (III) and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> // J. Phys. Chem. A. 2003. Vol. 107/ – № 30. – С. 5722-5731.
8. Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Петрова З.М., Остапенко Н.С., Бойцова Л.В. Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы. // Материалы научно-практической конференции «Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду». Санкт-Петербург, 12-15 сентября 1996 г. – СПб.: РНЦ «Прикладная химия», 1996. – С. 15-19.

Поступила 15.03.2019

А.О. Бимаганбетова  
Т.А. Базарбаева  
Г.А. Муканова  
А.Б. Атыгаев

### **«ПРОТОН-М» АПАТ БОЛҒАН ЖЕРДЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ**

**Түйін сөздер:** ғарыш-зымыран қызметі, зымыран оты, топырақтың ластануы, өсімдіктегі симметриялы емес диметилгидразин және симметриялы емес диметилгидразин өнімдері мен оның өзгерісі.

*Мақалада ғарыштық-зымыран қызметінің қоршаған ортаға әсерін зерттеуге бағытталған өзекті мәселелерге шолу келтірілген. Зымыран отыны компоненттерінің әсері, оның басты токсиканттары симметриялы емес диметилгидразин (СЕДМГ) мен оның өзгерген өнімдері нитрозодиметиламин (НДМА), диметиламин, тетраметилтетразен екені айқындалды. Зымыран отыны компоненттерінің қоршаған ортаға түсетін компоненті жергілікті беткейлік биохимиялық бұзылыстарды түзуге қабілетті. Жұмыста 2013 жылғы «Протон-М» зымыран тасымалдағыштың авариялық құлаған орны зерттеу нысаны ретінде келтірілді. Зымыран тасымалдағыштың апат аймағынан үлгі алу нысандарының координаттарының мәліметтер қоры құрастырылды.*

A.O. Bimaganbetova, T.A. Bazarbaeva, G.A. Mukanova, A.B. Atygayev

## **ECOLOGICAL CONDITION OF THE VEGETATION COVER AT THE PROTON-M ACCIDENT SITE**

**Key words:** rocket and space activity, components of rocket fuel, impact of rocket fuel, unsymmetrical dimethylhydrazine in plants, unsymmetrical dimethylhydrazine and its transformation products.

*The article provides a brief overview of current trends in studying the environmental impact of rocket and space activities. The effects of rocket fuel have been identified, where the main toxicants are unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and its transformation products: nitrosodimethylamine (NDMA), dimethylamine, tetramethyltetrazene. The entry of rocket fuel components into the environment contributes to the formation of local biochemical surface anomalies. In this study, the object of study is the crash site of the 2013 Proton-M launch vehicle. A database has been compiled with coordinates of sampling points at the location of the drop in the LV and mapped points.*

УДК 551: 504.05: 631.4

Канд. геогр. наук

Канд. геогр. наук

Канд. с.-х. наук

Л.В. Лебедь<sup>1</sup>И.Б. Есеркепова<sup>1</sup>М.А. Атабаев<sup>2</sup>Н.И. Васильченко<sup>3</sup>З.Р. Токпаев<sup>1</sup>**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ  
В НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ  
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

**Ключевые слова:** парниковые газы, землепользование, возделываемые земли, эмиссии/поглощения, национальная система инвентаризации

*Выполнена оценка эмиссии/поглощения углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) для категории землепользования «Возделываемые земли» за 1989...2018 гг., в том числе за последнее десятилетие, в рамках улучшения национальной системы инвентаризации парниковых газов и в развитие вопроса экологической устойчивости агроэкосистем.*

**Введение.** В последние десятилетия глобальные выбросы парниковых газов (ПГ) в атмосферу продолжают возрастать. В этой связи, направленные действия всех стран по развитию мировой экономики в рамках международных соглашений должны быть скоординированы на снижение этих выбросов. Как сторона Приложения 1 к Киотскому протоколу, Республика Казахстан приняла на себя обязательства на второй период его действия (2013...2020 гг.) сократить национальные выбросы парниковых газов на 5...7 %. По Парижскому соглашению, ратифицированному Казахстаном, его обязательства по сокращению выбросов ПГ к 2030 году составляют 15 % от уровня 1990 года.

---

<sup>1</sup>АО «Жасыл Даму» МЭГПР РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГУ «Республиканский научно - методический центр агрохимической службы» МСХ РК, п. Шортанды, Казахстан

<sup>3</sup>НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан» МЦР и АКП РК, г. Нур-Султан, Казахстан

На заседании Правительства Республики Казахстан от 28 октября 2019 г. в г. Нур-Султан, министр экологии, геологии и природных ресурсов М. Мирзагалиев заявил, что для выполнения обязательств по снижению глобальных выбросов разрабатывается стратегия низко углеродного развития Республики Казахстан до 2050 г. Основными направлениями национальной экологической политики, по заявлению министра, является реализация планов по развитию ВИЭ, замене угля как ископаемого вида топлива на газ. В числе других потенциальных источников сокращения глобальных выбросов, рассматриваются планы восстановления лесов, как источника поглощения углекислого газа, и увеличения их площади в стране, обсуждаются возможные меры по оптимизации землепользования, связанного с производством сельскохозяйственной продукции, которое сопровождается дополнительными выбросами в атмосферу. При этом предполагается, что развитие сельского хозяйства должно сопровождаться усилением экологической устойчивости природных и полуприродных экосистем. Для информационного обеспечения планируемых в стране мероприятий, направленных на сокращение глобальных выбросов, требуется усовершенствовать национальную систему инвентаризации парниковых газов, включая все секторы национальной экономики.

**Постановка задачи, методология, исходная информация.** В статье представлены результаты оценки потоков парниковых газов – углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) для категории землепользования «Возделываемые земли» за 1989...2018 гг., в том числе за последнее десятилетие, в развитие вопроса экологической устойчивости природных и полуприродных экосистем, как источников выбросов/поглощения ПГ, ранее затронутого в публикациях авторов [3, 4, 5]. Оценка парниковых газов для этой категории земель выполнялась на различных территориальных (ландшафтных) уровнях в рамках улучшения национальной системы инвентаризации ПГ в соответствии с требованиями, изложенными в решениях Конференций Сторон РКИК ООН и Киотского протокола, п п. 3, 4 Статьи 3 КП [9, 10]. В этом случае категория «Возделываемые земли» рассматривалась как полуприродная экосистема (агрэкосистема), изменения экологического состояния, углеродного потенциала и потоков парниковых газов которой оценивались как функция изменений антропогенного фактора. Поглощение (+)/(-) эмиссия  $\text{CO}_2$  рассчитывались для экосистемы по изменениям запасов углерода с учетом его перераспределения в разрезе подкате-

горий (страт), эмиссия  $N_2O$  – по интенсивности поступления газа в атмосферу, на базе ниже представленных (в общем виде) линейных аналитических зависимостей 1-6, заимствованных из [4] и уравнения 7 из авторской разработки [2]:

$$\Delta C_{LU} = \sum \Delta C_{LU(i)}, \quad (1)$$

где,  $\Delta C_{LU}$  – изменения запасов углерода для категории землепользования  $LU$ , т.  $C/200$ ;  $i$  – конкретный слой, подкатегория (страта) в пределах категории (с любой комбинацией видов, почвенных разностей, типов растительности, режимов управления);

$$\Delta C_{LU(i)} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{SO}, \quad (2)$$

где  $\Delta C_{LU(i)}$  – изменение запасов углерода для слоя, подкатегории пользования, т  $C/год$ ;  $AB$  – биомасса надземная живая,  $BB$  – биомасса подземная живая,  $DW$  – мертвое органическое вещество,  $SO$  – минеральные почвы.

$$\Delta C = (C_{t1} - C_{t2}) / (t_1 - t_2), \quad (3)$$

где  $C$  – годовое изменение запасов углерода в резервуаре, т  $C/год$ ,  $C_{t1}$  – запас углерода в резервуаре в год  $t_1$ , т.  $C$ ,  $C_{t2}$  – запас углерода в резервуаре в год  $t_2$ , т.  $C$ ;

$$C_{GS(t)} = C_{EGS} * F_{LU} * F_M * F_F, \quad (4)$$

где  $C_{GS(t)}$  – запас углерода в горизонте почвы 0...0,03 м в год  $t$ , т  $C/га$ ,  $C_{EGS}$  – стандартная величина (эталон) запаса углерода в горизонте почвы 0...0,03 м с ненарушенной структурой, т  $C/га$ ,  $F_{LU}$  – коэффициент влияния землепользования, безразмерная величина,  $F_M$  – коэффициент влияния режима управления, безразмерная величина,  $F_F$  – коэффициент дополнительного поступления, безразмерная величина;

$$C_{GS(t)} = 0.01G * V * K_1 * K_2 * (1 - K_3), \quad (5)$$

где  $C_{GS(t)}$  – масса углерода в горизонте почвы 0...0,03 м на площади земли один гектар в год  $t$ , т  $C/га$ ,  $G$  – содержание гумуса в горизонте почвы 0...0,03 м, %,  $V$  – объемная масса почвы в горизонте 0...0,03 м, т/м<sup>3</sup>,  $K_1$  – объем почвенной массы на площади один гектар, м<sup>3</sup>/га,  $K_2$  – содержание углерода в органическом веществе почвы, безразмерная величина,  $K_3$  – наличие крупных фракций в почве, безразмерная величина;

Годовые выбросы  $N_2O$ :

$$N_2O = A * EF, \quad (6)$$

где  $A$  – данные о деятельности (площадь, количество остатков урожая, внесенных в почву удобрений и др. источники);  $EF$  – коэффициент выбросов для  $N_2O$ , т/единицу деятельности:

$$C_{GM} = (M_{EGAB} + M_{EGBB} + M_{EGDW}) * F_M * K_d, \quad (7)$$

где  $C_{GM}$  – запас углерода в резервуаре биомассы, т. С/га;  $M_{EGAB}$  – стандартная величина (эталон) наземной живой биомассы ( $AB$ ),  $M_{EGBB}$  – эталон подземной живой биомассы ( $BB$ ),  $M_{EGDW}$  – эталон мертвого органического вещества ( $DW$ ) на восстановленный растительный покров, т. С/га;  $F_M$  – коэффициент влияния режима управления, безразмерная величина;  $K_d$  – содержание углерода в биомассе, безразмерная величина.

Параметры уравнений определялись (уточнялись) авторами предварительно [4, 5] на базе результатов полевых и лабораторных исследований, выполняемых в природных условиях РК.

В качестве исходной информации для расчета и контроля потоков  $CO_2$  и других видов ПГ для категории «Возделываемые земли», привлекались данные по учету земель, их использованию в производстве, изменению качественного состояния и продуктивности, полученные за 1989... 2018 гг. в ведомственных структурах РК, которые на регулярной основе выполняют в стране системный мониторинг сельскохозяйственных угодий. В том числе использовались данные Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (Комитет по управлению земельными ресурсами, Департамент производства и переработки растениеводческой продукции, РГУ «Республиканский научно-методический центр агрохимической службы»), а также Министерства цифрового развития и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан (НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан», Департамент земельного кадастра) и Министерства национальной экономики Республики Казахстан (Комитет по статистике).

**Представление земель, их состояние.** В соответствии с определением РП МГЭИК, 2006 [9], категория землепользования «Возделываемые земли» включает земли под культурами, в том числе рисовые поля, системы агро- и лесомелиорации, в которых показатели растительной структуры находятся ниже пороговых критериев, используемых для выделения категории лесной площади. В Республике Казахстан (далее РК) в категорию «Возделываемые земли» включаются земли сельскохозяйственного назначения, используемые под пашню, временно не возделываемые пахотнопригодные земли и многолетние насаждения.

Основные площади возделываемых земель в РК сосредоточены в северной половине территории на равнинах лесостепной и степной зоны с засушливым и сухим климатом и наиболее плодородными почвами – черноземами обыкновенными, черноземами южными, темнокаштановыми, каштановыми, а также в южной половине территории на предгорной равнине и низкогорьях сухостепной и степной зоны с сероземами светлыми, сероземами обыкновенными, предгорными темнокаштановыми и черноземными почвами (рис. 1). В поймах рек на лугово-сероземных и лугово-болотных почвах (южная половина Казахстана) и на лугово-черноземных, лугово-каштановых почвах сосредоточены основные массивы орошаемой пашни.

Динамика пашни и пахотнопригодных угодий РК представлена за 1989...2018 гг. в табл. 1, из которой видно, что возделываемые земли после 1990 г. претерпевали существенные изменения, связанные с изменениями экономических и социальных условий в сельском хозяйстве в период кризиса 90-ых годов. Небывалое сокращение площади пашни в севообороте: с 35 792 тыс. га (1989 г.) до 21399 тыс. га (2000 г.) сопровождалось ухудшением ее плодородия, что подтверждается результатами почвенных обследований сельскохозяйственных полей, выполняемых РГУ «РНМЦАС» МСХ РК (табл. 2), а также сведениями из других источников [1, 2, 5]. Из данных таблицы видно, что за последние 30 лет содержание гумуса в пахотном горизонте почвы (среднее на площадь обследования) сокращалось в РК на 30 %, т. е. на 1 % в год. Также сокращалось содержание азота и фосфора в почве на 20 % и на 14 %, т.е. на 0,8 % в год и на 0,5 % в год соответственно. Ухудшение почвенного плодородия на пашне РК с середины 90-тых годов, объясняется сокращением в десятки раз количества вносимых в почву минеральных и органических удобрений, уменьшением поступления в почву биологических остатков растений от урожая сельскохозяйственных культур, грубыми нарушениями зональных технологий и севооборотов. В итоге это вызвало ухудшение водно-физических и биохимических показателей почвы и активную минерализацию органического вещества в почве.

Таблица 1

Распределение и освоенность пахотнопригодных земель РК по природным зонам и типам почв\* за 1988...2018 гг, млн. га

Типы и подтипы почв по природным зонам	Пахотно-пригодные земли	Динамика освоенности земель (в пашне)			
		1988 г.	2000 г.	2014 г.	2018 г.
Черноземы степной зоны, в т.ч. черноземы обыкновенные	16,8	14,5	-	-	-
Черноземы южные	8,0	7,1	-	6,04	6,07
Каштановые сухостепной зоны в т.ч. т. каштановые	8,8	7,4	-	5,24	5,36
Каштановые	27,0	15,1	-	-	-
Светлокаштановые полупустынной зоны	14,0	10,1	-	7,45	8,10
Бурые пустынной зоны, в т.ч. бурые	8,3	3,7	-	1,78	1,92
Серо - бурые	4,7	1,3	-	0,07	0,05
<i>Всего в широтных зонах</i>	9,1	0,5	-	-	-
Сероземы северные и южные пустынно-степной зоны	4,3	0,1	-	0,015	0,016
<i>Всего в высотных зонах</i>	4,8	0,4	-	0,19	0,21
<i>Итого</i>	52,9	30,1	-	21,03	23,35
	-	-	-	1,83	1,83
	8,3	5,5	-	3,85	2,46
	61,2	35,6	21,4	24,88	25,81

*Примечание:* \* – использовались данные из источников [11,12].

В последнее десятилетие, несмотря на определенные изменения в управлении землей, содержание почвенного гумуса на пашне РК продолжало снижаться. В том числе, только за последние четыре года (2014...2018 гг.) содержание гумуса в почве по результатам обследования снизилось на 9 %, т. е. более чем на 2 % в год (табл. 2, рис. 2).

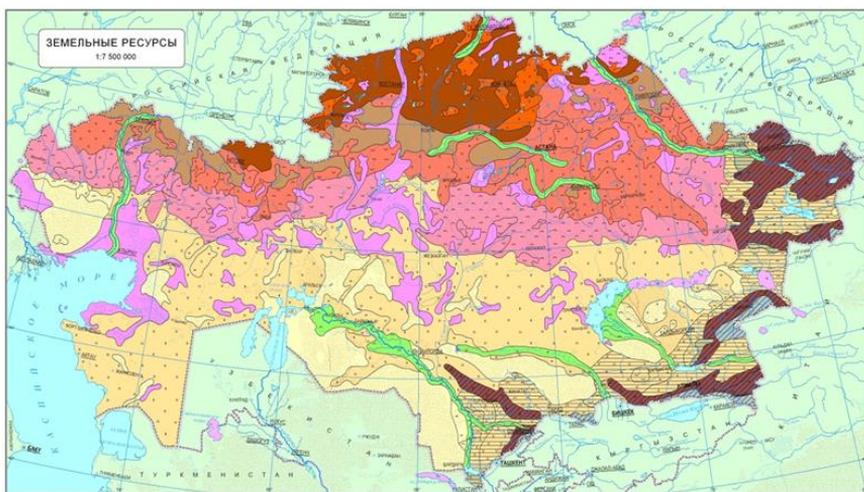


Рис. 1. Земельные ресурсы Республики Казахстан [6]. Земли преимущественно пахотнопригодные используемые под пашню, зональные группы:  – умеренно-засушливые и засушливые степные /черноземы обыкновенные и южные; тяжело-, средне и легкосуглинистые почвы и их комплексы с солонцами не более 30 %;  – сухостепные /темно-каштановые и каштановые почвы, частично светло-каштановые, легкосуглинистые и суглинистые;  – пустынно-степные подгорно-предгорные, степные предгорные и межгорные сероземы обыкновенные и серо-коричневые, темно-каштановые почвы и черноземы; Процент возможного использования земель под пашню:  20-25  25-30  30-35.

Таблица 2

Динамика гумуса, легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора в почве пахотных земель РК по результатам агрохимических обследований за 1989...2018 гг.

Год	Площадь обследования, тыс.га	Содержание в горизонте почвы 0...0,02 м (среднее на площадь обследования)			
		Гумуса, %	Легкогидролизуемого азота, мг/кг	Обменного фосфора, мг/кг	Калия, мг/кг
1989	-	4,29	45,3	22,5	516,6
2010	17 610	3,47	42,5	21,3	587,5
2014	17 341	3,27	36,6	19,4	621,0
2018	18 419	2,99	-	-	-

Примечание: Источник данных РГУ «РНМЦАС» МСХ РК.

При этом, как видно из анализа графика на рис. 2, содержание почвенного гумуса на пашне в разрезе административных областей на территории РК изменялось не однозначно.

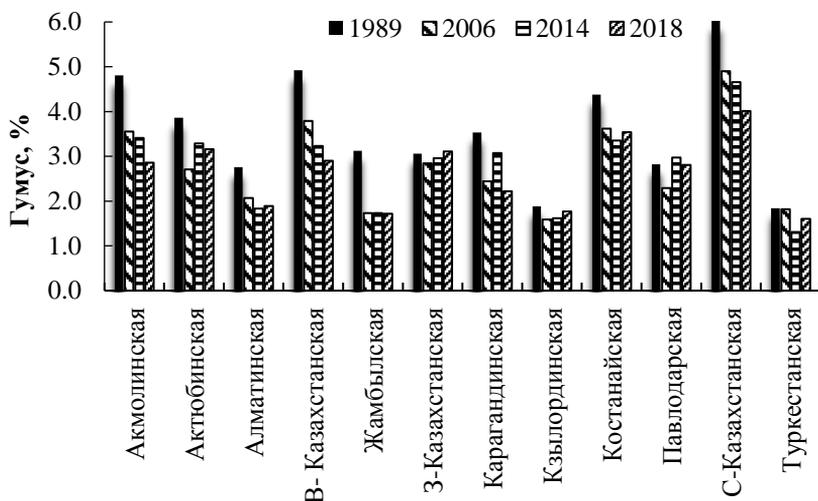


Рис. 2. Содержание почвенного гумуса на пашне (горизонт 0...0,03 м) в разрезе административных областей РК за 1989...2018 гг.

Наибольшее снижение содержания гумуса в почве (до 40 % в среднем на область), в сравнении с 1989 г., приходилось на северные области: Северо-Казахстанскую, Акмолинскую, также Восточно-Казахстанскую, с высокопродуктивными черноземными почвами. Наименьшее снижение содержания почвенного гумуса (до 8...9 % в среднем на область) отмечалось для южных областей – Туркестанской и Кзылординской, со значительным участием орошаемых земель относительно обеспеченных азотными удобрениями. Также незначительное снижение областного содержания гумуса в почве получено в среднем на области (Западно-Казахстанская, Павлодарской и другие), с низко продуктивными каштановыми и светло-каштановыми распаханнами почвами выведенных из севооборота.

**Оценка национальных эмиссий (+) / поглощения (-) CO<sub>2</sub> для возделываемых земель (отчетность по РКИК ООН).** Результаты оценки изменения запасов углерода и потоков CO<sub>2</sub> для категории землепользования «Возделываемые земли» РК за 1989...2017 (2018) гг. представлены в табл. 3, из которой видно, что тренд изменения общего запаса углерода для категории сохранял отрицательный знак на протяжении всего указанного периода.

Таблица 3

Запас накопленного углерода, рассчитанный\* в разрезе резервуаров его накопления и подкатегорий пользования «Возделываемые земли» РК за 1990...2017 гг.

Подкатегория	Год	Площадь, млн.га	Запас углерода, т/га			Итого запас углерода, млрд.т.
			почва	фитомасса	МОВ	
Пашня в севообороте	1990	35,79	67,81	-	-	2,4140
	1995	31,97	67,00	-	-	2,1420
	2000	21,40	66,00	-	-	1,4120
	2009	21,40	59,37	-	-	1,2740
	2014	21,40	55,96	-	-	1,1980
	2017	21,40	54,37	-	-	1,1630
Пашня выведенная в пастбища и залежь	1990	0,18	67,81	0,33	0,25	0,0122
	1995	6,83	67,23	0,65	0,50	0,1995
	2000	14,39	68,07	0,49...1,30	0,98	0,9925
	2009	11,53	69,68	0,97...1,60	0,49...1,96	0,8381
	2014	11,00	69,86	1,62...2,20	0,94...2,20	0,8109
	2017	10,70	69,86	1,96...2,50	2,40	0,8423
Пашня возвращенная в севооборот	1990	-	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-	-
	2000	-	-	-	-	-
	2009	2,86	68,07	-	-	0,1850
	2014	3,39	68,53	-	-	0,2220
	2017	3,70	68,53	-	-	0,2430
Многолетние насаждения	1990	0,16	69,86	6,67	-	0,0131
	1995	-	-	-	-	-
	2000	0,14	69,86	6,67	-	0,0099
	2009	0,14	69,86	6,67	-	0,0099
	2014	0,15	69,86	6,67	-	0,0112
	2014	0,15	69,86	6,67	-	0,0112

*Примечание:* \* – в расчетах использовались данные по содержанию гумуса в пахотном горизонте почвы ГУ «РНПЦ агрохимическая служба» по типам почвы и пересчетом на горизонт 0...0,03 м.

Динамика углерода для отдельных страт экосистемы за 1989...2017 гг. наглядно представлена на рис. 3 и 4.

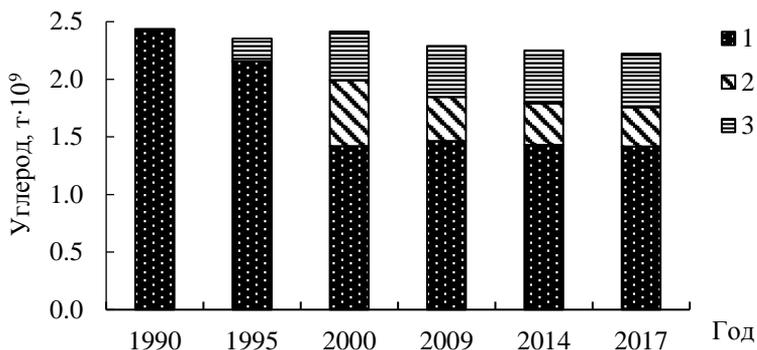


Рис. 3. Запас углерода для категории «Возделываемые земли» РК в разрезе подкатегорий пользования, рассчитанный за 1990...2017 гг. 1- пашня, остающаяся в севообороте и возвращенная в севооборот; 2- пашня, выведенная разово в залежь; 3- пашня, выведенная разово в пастбища.

В период после 2010 г. темпы снижения запаса почвенного углерода на пашне, остающейся в севообороте, корректировались углеродом, накопленным на участках пашни, возвращаемой в севооборот после их не продолжительного вывода в залежь.

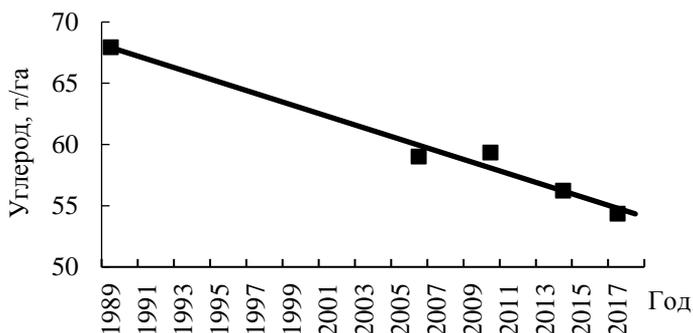


Рис. 4. Динамика запаса углерода для пашни РК, остающейся в севообороте по расчетам за 1989...2017 гг.

Суммарные потоки  $\text{CO}_2$  для экосистемы «Возделываемые земли» РК, как эмиссии в атмосферу, представлены на рис. 5. В том числе за 2017 г. суммарные годовые выбросы  $\text{CO}_2$  для экосистемы «Возделываемые земли» РК, как эмиссии в атмосферу, включая пашню, остающуюся в севообороте, пахотнопригодные земли, выведенные в залежь, как резерв возможного восстановления площади пашни, а также многолетние насаждения, состав-

ляли по расчетам 37 407 тыс.т. С учетом компенсирующего эффекта поглощения углерода на пахотнопригодных землях, выведенных в пастбища, суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  для экосистемы за 2017 г. получены на уровне 26 537 тыс.т.

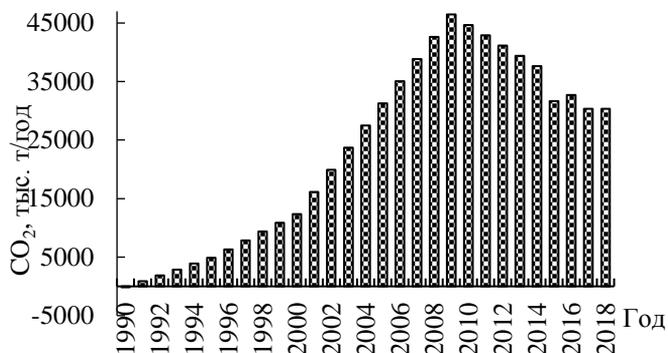


Рис. 5. Динамика суммарных потоков  $\text{CO}_2$  для категории «Возделываемые земли» РК по расчетам за 1989...2017 гг.

**Оценка эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$ .** Для возделываемых земель антропогенные выбросы  $\text{N}_2\text{O}$  из почвы определяются количеством азота (N), дополнительно поступающего в почву вместе с пожнивными остатками урожая культурных растений, вносимыми в почву минеральными азотными и органическими удобрениями, а также поступающего в процессе минерализации органического вещества. Расчеты потоков  $\text{N}_2\text{O}$  (прямые выбросы) выполнялись на базе аналитического выражения 7, коэффициентов из [5] и данных о сельскохозяйственной деятельности, собранных Комитетом по статистике МНЭ РК. О количестве выбросов для пахотных угодий за 1990...2018 гг. от дополнительно поступающего азота в почву можно судить по результатам расчетов, обобщенных в табл. 4 и наглядно представленных на рис. 6.

Из таблицы и рисунка видно, что за последние три десятилетия суммарные эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  из почвы пахотных земель, остающихся в севообороте от дополнительного поступления азота в почву, включая прямые и косвенные, изменялись значительно. Так, на начало 90-ых годов и ранее выбросы  $\text{N}_2\text{O}$  из почвы оставались на уровне 4768 тыс.т. в  $\text{CO}_2$  эквиваленте. После 1990 г. в условиях снижения урожайности сельскохозяйственных культур, минимального внесения удобрений в почву эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  от дополнительно поступающего в почву азота уменьшались в 2...4 раза.

Таблица 4

Эмиссии  $N_2O$  рассчитанные от дополнительного поступление азота в почву пахотных земель РК за 1990...2018 гг.

Год	Прямые эмиссии $N_2O$ , тыс.т.				Косвенные эмиссии $N_2O$ , тыс.т.	Итого эмиссии тыс.т/год	
	Пожневные остатки	Минеральные удобрения	Органические удобрения	Минерализация ОВ		$N_2O$	в $CO_2$ эквиваленте
1990	4,36	5,79	3,57	1,00	2,40	17,12	5101,76
2000	1,62	0,11	1,34	11,26	1,35	15,68	4672,64
2010	1,86	0,52	1,98	22,20	2,47	29,03	8650,94
2015	2,85	1,29	1,96	18,13	2,36	26,59	7923,82
2018	2,99	1,16	2,10	15,33	2,19	23,77	7083,46

Вместе с тем, за счет резкого усиления темпов минерализации органического вещества в почве, общие эмиссии  $N_2O$  из почвы пахотных земель, остающихся в севообороте, возрастали в этот период более чем в 1,5 раза по сравнению с 1990 г. и достигали 8650,94 тыс.т. в  $CO_2$  эквиваленте.

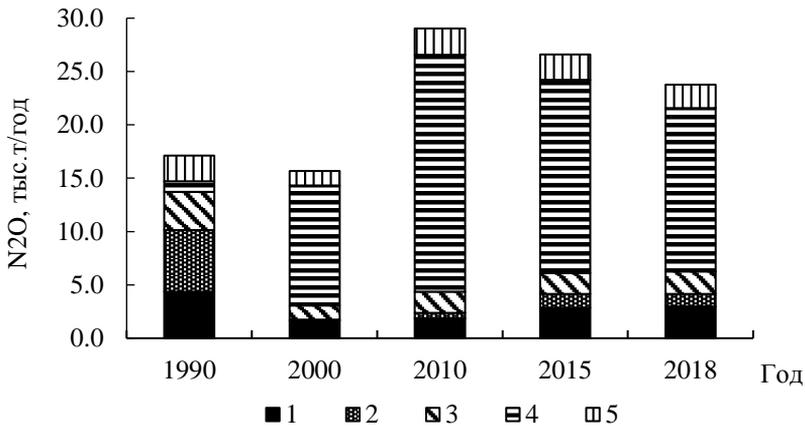


Рис. 6. Эмиссии  $N_2O$  для пахотных земель РК, рассчитанные в разрезе источников поступления азота в почву за 1990...2018 гг. 1- пожневные остатки; 2- минеральные удобрения; 3- органические удобрения; 4- минерализация органического вещества; 5- косвенные выбросы.

**Оценка региональных эмиссий (+) / поглощения (-) CO<sub>2</sub> для пахотных земель, независимый контроль, согласованность информации.**

В статье впервые на примере Акмолинской области представлены результаты оценки эмиссии (+) / поглощения (-) CO<sub>2</sub> для категории «Возделываемые земли», выполняемой на региональном уровне. О динамике использования земель на территории области за 1991...2018 гг. можно судить по сведениям в табл. 5.

Таблица 5

Использование пахотных и пахотнопригодных земель Акмолинской области\* за 1990...2018 гг., тыс.га

Вид землепользования	1991 г.	2000 г.	2003 г.	2013 г.	2014 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Пашня в севообороте	6382	4532	5031	5489	5566	5800	5856	6032
Пашня, выведенная в залежь	-	1571	1052	765	715	530	483	360
Пашня, выведенная в пастбища	-	279	299	128	101	52	43	-

*Примечание:* \* – по сведениям из источника [11].

Для региональной оценки ПГ по категории «Возделываемые земли» использовались данные по содержанию гумуса в почве полученные в процессе агрохимических обследований пахотных угодий, выполняемых РГУ «Республиканский научно-методический центр агрохимической службы» МСХ РК за 2006...2018 гг., в соответствии с Правилами проведения агрохимического обследования почв, 2015 г. [8]. Исходной земельной единицей для агрохимических обследований является элементарный участок земли площадью до 75 га (на орошаемой пашне до 10 га), представляемый объединенной пробой из 20...25 точечных проб, отобранных на глубину пахотного горизонта до 0,02 м, с последующим обобщением на уровне хозяйства, административного района, области, республики. Также для расчетов ПГ использовались данные по содержанию гумуса в почве в горизонтах 0...0,02 м и 0,03м, и по объемной массе почвы, получаемые в результате почвенных обследований сельскохозяйственных угодий. НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан» МЦР и АКП РК, в соответствии с Правилами ведения мониторинга земель и пользования его данными в Республике Казахстан, 2003 г. [7]. Наблюдения осуществляются

на стационарных (СЭП) и полустационарных (ПСЭП) экологических площадках, составляющих государственную территориально-зональную сеть пунктов наблюдений.

Рассчитанные на различных пространственно-временных уровнях средние величины содержания гумуса в почвах РК, с использованием в комплексе результатов независимых обследований пахотных угодий на территории Акмолинской области, представлены в табл. 6. Анализ таблицы подтверждает устойчивую тенденцию снижения содержания гумуса в почве пахотных земель на территории области в период 2002...2018 гг. Полученные в результате агрохимических обследований пахотных земель и обобщенные в разрезе ландшафтов «площадные» показатели содержания гумуса в почве, достаточно согласуются с «точечными» данными содержания гумуса в почве, полученными на сети экологических площадок (СЭП и ПСЭП), организованных на территории области НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан».

Таблица 6

Содержание гумуса (%) в почвенном горизонте 0...0,03 м на пашне Акмолинской области за 1999...2018 гг. по результатам независимых обследований

Почва	Наблюдения на площадках	1999 г.	2003 г.	2006 г.	2008 г.	2013 г.		2018 г.	
		2*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
Черноземы обыкновенные	- (44)	-	4,89 (7)	5,15	4,36 (10)	5,00 (15)	4,10	4,16	3,90 (12)
Черноземы южные	- (92)	3,55 (5)	3,58 (8)	4,05	3,41 (19)	3,80 (25)	3,03	3,24	3,12 (35)
Темно-каштановые	- (115)	-	2,58(7)	3,34	2,76(31)	2,98 (26)	2,30(	2,42	2,17(51)
Каштановые	- (21)	-	2,28 (7)	2,78	2,40 (6)	2,66	-	2,25	1,90 (8)
Светло-каштановые	-	-	-	-	-	2,28	-	2,18	-
Область	(266)	(5)	(22)	3,55	(66)	3,41 (66)	(66)	2,86	(107)

*Примечание:* \*1– агрохимические обследования РГУ «РНМЦАС» МСХ РК, \*2- почвенные обследования НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан» МЦРАОП РК.

Рассчитанные в динамике запасы почвенного углерода для пахотных угодий Акмолинской области, с использованием данных по гумусу аг-

рохимических обследований, с пересчетом на горизонт 0...0,03 м по эмпирическим данным экологических площадок (табл. 7), подтверждают эффективность комплексного межведомственного подхода к оценке парниковых газов, связанных с землепользованием.

Таблица 7

Запасы почвенного углерода, рассчитанные в разрезе типов почвы для пахотных угодий Акмолинской области за 2002...2018 гг.

Почва	2002...2006 гг.			2007...2013 гг.			2014...2018 гг.		
	площадь, млн. га	гумус, %	углерод, т/га	площадь, млн. га	гумус, %	углерод, т/га	площадь, млн. га	гумус, %	углерод, т/га
Черноземы обыкновенные	0,36	4,93	89,11	0,46	4,78	86,40	0,59	3,98	71,94
Черноземы южные	0,62	3,81	70,60	0,65	3,58	66,34	1,34	3,05	56,11
Темнокаштановые	0,50	3,22	61,36	1,13	2,79	52,93	1,23	2,34	44,51
Каштановые	0,93	2,67	52,65	0,38	2,29	45,23	1,05	2,16	43,60
Светлокаштановые	-	-	-	0,15	1,87	38,15	1,02	1,79	36,52
Итого по области	2,42	-	64,71	2,77	-	59,76	4,31	-	51,93

Годовые изменения запасов углерода и эмиссии / поглощения CO<sub>2</sub> для категории землепользования «Возделываемые земли», рассчитанные в пределах административных границ Акмолинской области за 1989...2018 гг. представлены в табл. 8.

Как видно из анализа табл. 8, суммарные изменения запасов углерода и потоков CO<sub>2</sub> рассчитанные для категории землепользования «Возделываемые земли» в пределах административных границ Акмолинской области, достаточно согласуются с их трендами, полученными на национальном уровне.

Таблица 8

Запасы углерода и эмиссии (+) / поглощения (-) CO<sub>2</sub> для пахотных угодий  
Акмолинской области за 1989...2018 гг.

Год	Пашня в сево- обороте		Пашня, выведенная из севооборота			Пашня и пахотнопригодные земли			
	Пло- щадь млн. га	Запас угле- рода в почве, т/га	Пло- щадь, млн.га	Запас угле- рода, т/га		Пло- щадь, млн.га	Изменение за- паса углерода, млн.т/год		Эмиссия (+) / по- глощение (-), млн.т/год CO <sub>2</sub>
				Почва	Био- масса		Почва	Био- масса	
1989	6,38	87,00	0,00	0,00	0,00	6,38	0,00	0,00	0,00
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	4,53	76,00	1,85	81,00	0,58	6,38	-5,54	0,097	19,26
2006	5,18	64,71	1,20	87,00	1,46	6,38	-6,87	0,139	23,40
2013	5,49	59,76	0,89	88,70	2,28	6,38	-5,89	0,151	19,57
2018	6,03	51,93	0,36	88,70	5,20	6,38	-6,39	0,250	21,57

**Оценка деятельности по землепользованию, осуществляемой в соответствии с п.3 и 4 Статьи 3 Киотского протокола.** Анализ результатов оценки ПГ, связанных с землепользованием за 1990...2018 гг. показал, что участки пашни, выведенные разово из севооборота в пастбища и частично в залежь (земли запаса), можно выбрать как дополнительный вид деятельности, имеющий место после 1990 г., для представления отчетности РК по Киотскому протоколу в соответствии с п. 3, 4 Статьи 3 КП. О наличии резерва чистого поглощения углерода на землях в составе категории «Возделываемые земли» можно судить по динамике запаса углерода, представленной в вышеприведенной табл. 3. Выполненная оценка деятельности, связанная с умеренным пастбищным использованием бывших пахотных земель, подтверждает возможность поглощения CO<sub>2</sub> новой экосистемой в период до 2020 г. и возможность получения дополнительных единиц абсорбции для зачисления их в резерв выполнения принятых РК обязательств по Киотскому протоколу на второй период (2013...2020 гг.). Рассчитанное предварительно в рамках административных границ РК суммарное чистое поглощение от деятельности на бывших пахотных землях за 2013...2018 гг. составляет 61 398 тыс. т CO<sub>2</sub>.

Вместе с тем, следует отметить, что при подготовке дополнительной отчетности по землепользованию, согласно п. 3 и 4 Статьи 3 Киотского протокола, в соответствии с Руководящими указаниями МГЭИК 2003, 2012

[10, 13], требуется улучшенное представление земель с привязкой результатов оценки деятельности к местности, а также обеспечение контроля результатов с привлечением независимых данных. Такое представление земель и контроль оценки деятельности по землепользованию, осуществляемой согласно п.4 Статьи 3 Киотского протокола, можно обеспечить путем использования в расчетах комплекса данных независимых обследований сельскохозяйственных угодий на региональном уровне, показанного на примере Акмолинской области.

#### **Выводы:**

1. Выполненные исследования показали, что для категории «Возделываемые земли» антропогенные выбросы/поглощения  $\text{CO}_2$  и других видов парниковых газов определяются комплексом факторов: объемом продукции, получаемой в процессе производства, агротехническим уровнем обработки почвы, количеством внесенных в почву удобрений, применением почвозащитных агротехнологий, а также тем, в какой мере оптимизирована структура земельных площадей, включая земли подвергаемые интенсивной обработке, сохраняемые в ненарушенном их состоянии или восстанавливаемые после интенсивного пользования.

2. В новом тысячелетии в условиях заметного роста валовой продукции растениеводства в РК, которая увеличивалась в 4...5 раз по сравнению с 2000 г., возрастающих объемов вносимых в почву минеральных удобрений (до 100 тыс.т. и более) и улучшаемого управления землей, содержание почвенного гумуса на пашне по результатам регулярных почвенных обследований, тем не менее, продолжало снижаться. По мнению специалистов, такое затянувшееся на длительный период несбалансированное состояние пашни как агро-экосистемы, по гумусу и по другим показателям почвенного плодородия, можно объяснить достаточной нарушенностью биологических и биохимических связей в экосистеме, которые повлекли снижение потенциала ее углеродопоглощения, отсюда уменьшение запаса углерода и общее снижение экологической устойчивости. В сложившейся ситуации тренд изменений запасов углерода для категории «Возделываемые земли» сохранял отрицательный знак на всем протяжении периода лет 1990...2018 гг. за счет стабильного снижения запаса почвенного углерода на пашне, остающейся в севообороте. В последнее пятилетие расчеты потоков углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) для категории землепользования подтверждают определенное снижение годовых темпов эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу, однако до 2020 г. вероятность сохранения эмиссии для экосистемы остается.

3. В последние десятилетия, в условиях резкого снижения агротехнического уровня обработки почвы, эмиссии закиси азота ( $N_2O$ ) от дополнительного поступления азота в почву вместе с остатками урожая и удобрениями уменьшались по расчетам в 2...4 раза по сравнению с 1990 г. Вместе с тем, общие эмиссии  $N_2O$  из почвы пахотных земель, остающихся в севообороте, даже при сокращении их площади на 40 %, возрастали более чем в 1,5 раза по сравнению с 1990 г. за счет усиления темпов минерализации органического вещества в почве.

4. Содержание почвенного гумуса на пашне РК в разрезе административных областей изменялось по результатам почвенных обследований не однозначно. Наибольшее снижение содержания гумуса в сравнении с 1989 г., приходилось на северные области с высокопродуктивными черноземными почвами. Рассчитанные за 1989... 2018 гг. в пределах административных границ Акмолинской области для категории землепользования «Возделываемые земли» суммарные изменения запасов углерода и потоков  $CO_2$  согласуются с их трендами, полученными на национальном уровне.

5. Использование в согласованности результатов независимых почвенных обследований сельскохозяйственных угодий, выполняемых на ландшафтном уровне различными ведомствами на территории РК, улучшает перспективу улучшения отчетности по инвентаризации парниковых газов, сектор землепользования, предоставляемой по РКИК ООН и получения необходимой информации для дополнительной отчетности по Киотскому протоколу в соответствии со Статьей 3 п.п. 3, 4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базильжанов Е. К. Состояние пахотных угодий Казахстана // Земельные ресурсы Казахстана. – 2011. – № 2 (65). – С.16-18.
2. Васильченко Н. И., Звягин Г. А. Современное состояние пахотных темно- каштановых почв Северного Казахстана и мероприятия по их улучшению // Матер. междунар. научно- практ. конф. «Рациональное использование почвенных ресурсов и их экология». – Алматы, 2012. – С. 62 – 66.
3. Лебедь Л. В., Иорганский А. И. К зональному распределению почвенного углерода в Казахстане // Гидрометеорология и Экология. – 2014. – № 1. – С.132-143.

4. Лебедь Л.В. Опустынивание пастбищ и динамика углеродопоглощения в условиях экстенсивного землепользования в Казахстане // Матер. 1-ой Междунар. научно-практ. конфер. "Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление", Астана, Казахстан, 25-27 сентября 2014 г. – С.325- 332.
5. Лебедь Л.В., Есеркепова И. Б., Иорганский А. И., Кошен Б. М., Рамазанова С. Б., Царева Е. Г. Динамика парниковых газов для пахотных угодий в Казахстане // Почвоведение и Агрехимия. – 2015. – № 1. – С. 28- 42.
6. Национальный атлас Республики Казахстан. - Том 1. Природные ресурсы и условия. – Алматы, 2006. – 95с.
7. Правила ведения мониторинга земель и пользования его данными в Республике Казахстан. Утверждены Постановлением Правительства Республики Казахстан от 19 сентября 2003 г., № 956. – 30 с.
8. Правила проведения агрохимических обследований почв. Утверждены И. о. Министра сельского хозяйства РК от 27 февраля 2015 года, № 41/147. – 15 с.
9. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, т. 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, МГЭИК, 2006 [Электр. ресурс ]. URL:<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol4.html> (дата обращения: 25.05.2019).
10. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства /Глава 4. Дополнительные методы и руководящие указания по эффективной практике, вытекающие из Киотского протокола. МГЭИК, 2003[Электронный ресурс]. URL:<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglucf/russian/ch4.pdf> (дата обращения: 25.05.2019).
11. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2016-2017 годы, Астана, 2018. – 290 с.
12. Фаизов К.Ш., Кененбаев С. Б., Мамутов Ж. У., Есимбеков М. Б. География и экология почв Казахстана. — Алматы: ТОО «Алейрон», 2006. – 348 с.
13. NFCCC. 2008. Kyoto Protocol / Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. 2008.– 104 p.

Поступила 25.05.2019

Геогр. ғылым. канд

Геогр. ғылым. канд

Ауыл шаруаш. ғылым. канд.

Лебедь Л.В.

Есеркепова И.Б.

Атабаев М.А.

Васильченко Н.И.

Токпаев З.Р.

## **ПАРНИКТІ ГАЗДАРДЫ ЕСЕПКЕ АЛУ ҰЛТТЫҚ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨНДЕЛГЕН ЖЕРЛЕРДІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ**

**Түйін сөздер:** парникті газдар, өңделген жерлер, жер пайдалану, эмиссия/жұтылу, ұлттық есепке алу жүйесі

*Парникті газдарды ұлттық есепке алу жүйесін дамыту және агроэкожүйесінің экологиялық тұрақтылығы мәселесін жақсарту аясында жер пайдалану категориясы бойынша «1989...2018 жылдардағы (оның ішінде соңғы онжылдықтағы) өңделген жерлер» эмиссия арының /көмірқышқыл газының (CO<sub>2</sub>) және азот оксидінің (N<sub>2</sub>O) жұтылуын бағалау орындалды.*

L.V. Lebed, I.B. Yesserkepova, M.A. Atabayev, N.I. Vassilchenko,  
Z.R. Tokpayev

## **ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE CULTIVATED LANDS IN THE NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORY SYSTEM**

**Key words:** Greenhouse gases, land use, cultivated land, emissions/removals, national inventory system

*The assessment of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and nitrous dioxide (N<sub>2</sub>O) emission/absorption in the category of “Cultivate lands” for the 1989...2018 years including the last decade in the framework of national greenhouse gas inventory improvements and for the development of environmental sustainability issues were implemented.*

УДК 502

Канд. биолог. наук

Т.Н. Лысакова<sup>1</sup>А.М. Нукжанова<sup>1</sup>

Канд. биолог. наук

П.С. Дмитриев<sup>1</sup>**ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ В 2016 И 2018 ГОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ  
СВАЛОК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ СЕВЕРО-  
КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ  
БИОИНДИКАЦИОННОГО МЕТОДА**

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, полигон бытовых отходов, экологический мониторинг, биоиндикатор, биотестирование.

*При исследовании состояния почв на территории свалок твердых бытовых отходов Северо-Казахстанской области использовался биоиндикационный метод. Данный метод наглядно показывает состояние почвенного покрова на территории свалок. В результате проведенного исследования в различные годы почвам были присуждены различные уровни загрязнения. Это обусловлено тем, что несанкционированные свалки имеют различные годы образования и мусор, складированный на свалках, имеет различный состав. В 2016...2017 годах в Северо-Казахстанской области была проведена работа по оптимизации свалок, в результате чего свалки были устранены, а мусор вывезен на соседние свалки, что в одном случае улучшило состояние окружающей среды, а в другом ухудшило.*

Важным аспектом проблемы загрязнения окружающей среды является проблема утилизации отходов бытового происхождения. Выбор метода и типа сооружений в конкретном городе или регионе целиком зависит от местных условий и осуществляется на основе обязательного сравнения технико-экономических показателей ряда вариантов с учетом климатических факторов, санитарно-эпидемиологической обстановки, а также численности населения, которое обслуживается [1, 7].

---

<sup>1</sup> Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан.

Антропогенные воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой – обуславливают антропогенную модификацию уже имевшихся природных факторов и тем самым изменение свойств биологической системы. Если эти новые параметры значительно отклоняются от соответствующих исходных величин, то возможна биоиндикация [5].

Основное различие между физическим или химическим изменением антропогенных факторов среды и биоиндикацией состоит в том, что первые методы дают количественные и качественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии, а с помощью второго подхода можно получить информацию о биологических последствиях и сделать лишь косвенные выводы об особенностях самого фактора [10].

Кресс-салат – это биоиндикаторное однолетнее овощное растение, которое обладает повышенной чувствительностью к загрязнению почвы тяжелыми металлами, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами от автотранспорта. Этот биоиндикатор отличается быстрым и почти стопроцентным прорастанием семян, которое заметно уменьшается в присутствии загрязняющих веществ. Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязняющих веществ претерпевают заметные морфологические изменения (задержка роста и искривления побегов, уменьшение длины и массы корней, а также количества и массы семян).

Растение кресс-салат как биоиндикатор также удобен тем, что влияние стрессоров можно изучать одновременно на большом количестве растений с небольшой площадью рабочего места. Очень короткие периоды эксперимента также привлекательны. Семена кресс-салата прорастают на третий или четвертый день, так что на большинство экспериментальных вопросов можно ответить в течение 10...15 дней.

Таким образом, эксперимент с рассадой кресс-салата является одним из самых быстрых, а само растение позволяет четко судить о качестве окружающей среды [11].

**Материалы и методы исследования.** Северо-Казахстанская область расположена на севере Казахстана, занимает южную окраину Западно-Сибирской равнины. Площадь области составляет 97993 км<sup>2</sup>, или 3,6 % территории Казахстана, население – около 572 тысяч человек. Климат региона резко континентальный. Зима холодная и продолжительная, лето

относительно жаркое, с преобладанием ясной, часто сухой погоды. Северо-Казахстанская область расположена в лесостепной и степной зонах [3].

На территории Северо-Казахстанской области имеется один полигон для захоронения твердых отходов.

Объектами анализа являлись образцы почвы, отобранные на территориях, прилегающих к полигонам твердых бытовых отходов (ТБО) Северо-Казахстанской области. Всего было отобрано 20 образцов в разных частях региона. Образцы почвы были собраны на свалках с разным составом и разным годом формирования [4].

Представители управления природных ресурсов и регулирования природопользования, энергетики и ЖКХ, департамента экологии Северо-Казахстанской области при участии представителей районных департаментов ЖКХ оптимизируют свалки ТБО в области, проводят регулярные посещения и осмотр свалок ТБО в районах местности.

На конец 2015 г. было 579 условно организованных полигонов. Количество свалок в Северо-Казахстанской области превышает количество свалок в других районах Республики Казахстан [6, 9].

Основными природными ресурсами региона являются почвы, представленные черноземами на 70 % пахотных земель. Территория, несмотря на общую плоскостность, характеризуется неоднородностью условий почвообразования. Наличие высокоразвитого мезо- и микрорельефа, неоднородность химического состава и литологии материнских и подстилающих пород обуславливают различия во влажности почвы и солевом режиме даже на относительно небольших территориях. Отдельные почвообразующие процессы географически сильно сужены и часто сочетаются друг с другом. Все это обуславливает чрезвычайное разнообразие и сложность почвенного покрова [3].

Почвы отбирались в летний период 2016 г. и 2018 г. с горизонта поверхности 0...20 см. Токсичность почвы оценивали биотестированием в соответствии с всхожестью и ростом семян кресс-салата. Согласно выбранному способу оценка субстратов проводится в следующих вариантах:

- выращивание семян кресс-салата на субстратах, загрязнение которых необходимо оценить (почва);
- полив рассады опытного растения водой из разных источников.

Признаки, которые использовались для биотестирования почвы:

- прорастание семян;
- длина побегов [11].

Показатели биотестирования выражают в виде средних арифметических значений роста тестируемых растений из n-го числа определений. Значимость несоответствия между средними значениями оценивали с использованием t-критерия Стьюдента для уровня достоверности P=95%. В случае кресс-салата, саженцы, выращенные на образцах почвы, отбирались на территории полигонов с саженцами, выращенными в экологически чистой почве.

#### **Результаты исследования:**

1. Биологическая оценка образцов почв Северо-Казахстанской области за период июль-август 2016 г.

Отбор проб почвы для исследования проводился в июле 2016 г. в 20 точках в Северо-Казахстанской области:

- 1 с. Полтавка, Аккайынский район;
- 2 с. Чаглы, Аккайынский район;
- 3 с. Ивановка, Аккайынский район;
- 4 с. Киялы, Аккайынский район;
- 5 с. Безлесное, Аккайынский район;
- 6 с. Петровка, Жамбылский район;
- 7 с. Екатериновка, Жамбылский район;
- 8 с. Айымжан, Жамбылский район;
- 9 с. Святодуховка, Жамбылский район;
- 10 с. Кладбинка, Жамбылский район;
- 11 с. Новокаменка, Кызылжарский район;
- 12 с. Рассвет, Кызылжарский район;
- 13 с. Приишимка, Кызылжарский район;
- 14 с. Красная горка, Кызылжарский район;
- 15 с. Архангельское, Кызылжарский район;
- 16 с. Новоишимское, район им. Г. Мусрепова;
- 17 с. Ломоносовка, район им. Г. Мусрепова;
- 18 с. Червонное, район им. Г. Мусрепова;
- 19 с. Дружба, район им. Г. Мусрепова;
- 20 с. Неженка, район им. Г. Мусрепова.

Места отбора проб почвы представлены на рис. 1. По результатам эксперимента было установлено, что наибольший процент прорастания семян кресс-салата отмечен в точках отбора проб: Ломоносовский район им. Г. Мусрепова (100 %); Чаглы, Аккайынский район (96 %); Святодуховка,

Жамбылский район (96 %); Рассвет, Кызылжарский район (96 %); Безлесное, Аккайинский район (92 %); Новокаменка, Кызылжарский район (92 %).

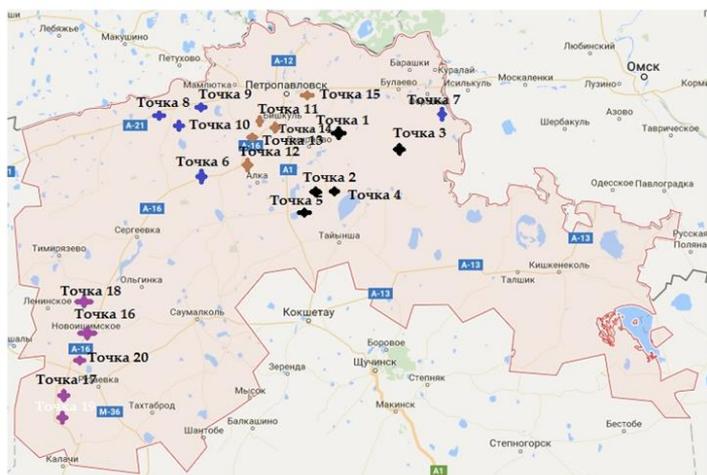


Рис. 1. Места отбора проб почвы для исследования.

Наименьший процент прорастания семян кресс-салата отмечен в баллах: Новоишимский район им. Г. Мусреповой (56 %); Екатериновка, Жамбылский район (52 %). Средний показатель имеет следующие местоположения: Полтавка, Ивановка, Киялы Аккайинского района; Петровка, Жамбылский район; Пришимка, Красная Гора и Архангельское, Кызылжарский район (рис. 2).

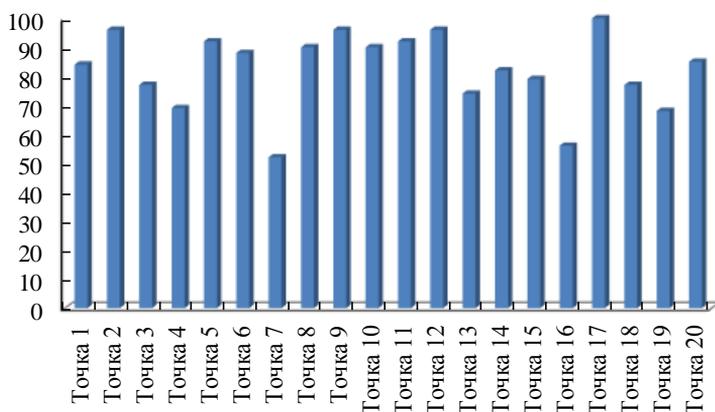


Рис. 2. Всхожесть семян кресс-салата (%) за 2016 год.

При исследовании проростков кресс-салата было установлено, что наибольшая из диапазона средних длин побега (7,6 см) отмечена в точке 17

(Ломоносовка, район имени Г. Мусрепова) и в точке 9 – 6,4 см (Святодуховка, Жамбылский район); кратчайшая из диапазона средних длин побега (5,4 см) – в точке 7 (с. Екатериновка, Жамбылский район).

В ходе исследования был рассчитан процент всхожести семян кресс-салата. На основании этих данных был рассчитан уровень загрязнения почвы. Было установлено, что:

- загрязнение отсутствует в пунктах: Ломоносовка, район им. Г. Мусрепова; Чаглы Аккайинского района; Святодуховка, Жамбылский район; Рассвет, Кызылжарский район; Безлесное, Аккайинский район; Новокаменка, Кызылжарский район;
- низкий уровень загрязнения в точках: Полтавка, Аккайинский район; Ивановка, Аккайинский район; Киялы, Аккайинский район; Петровка, Жамбылский район; Айымжан, Жамбылский район; Кладбинка, Жамбылский район; Приишимка, Кызылжарский район; Красная Горка, Кызылжарский район; Архангельск, Кызылжарский район; Червоне, район им. Г. Мусрепова; Дружбинский район им. Г. Мусрепова; Неженский район имени Г. Мусрепова;
- среднее загрязнение в точках: Новоишимское р-н им. Г. Мусрепова; Екатериновка, Жамбылский район.

2. Биологическая оценка образцов почвы Северо-Казахстанской области за период июнь-сентябрь 2018 г.

Отбор проб почвы для исследования проводился в июне-августе 2018 г. в 7 точках Северо-Казахстанской области:

- 1) Киялы, Аккайинский район;
- 2) Безлесное, Аккайинский район;
- 3) Петровка, Жамбылский район;
- 4) Святодуховка, Жамбылский район;
- 5) Красная Горка, Кызылжарский район;
- 6) Новоишимский район им. Г. Мусрепова;
- 7) Дружба, Район им. Г. Мусрепова.

По результатам эксперимента установлено, что наибольший процент прорастания семян кресс-салата отмечен в точках отбора проб Святодуховка, Жамбылский район (94 %); Безлесное, Аккайинский район (92 %). Наименьший процент прорастания семян кресс-салата отмечен в баллах в точке 6 – Новоишимское, район им. Г. Мусрепова (67 %).

Средний показатель имеет следующие местоположения: Киялы Ак-

кайинского района; Петровка, Жамбылский район; Красная Горка, Кызыл-жарский район, Дружба, район имени Г. Мусреповой (рис. 3).

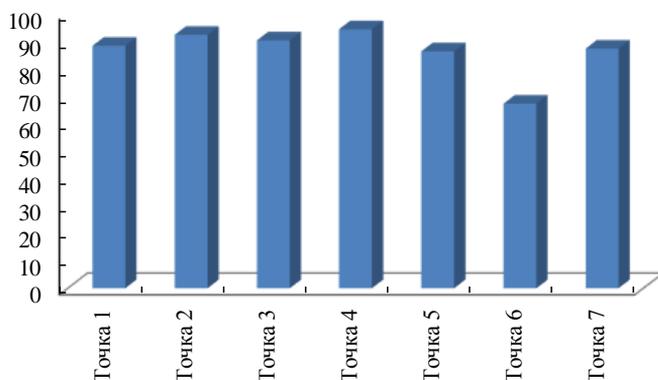


Рис. 3. Всхожесть семян кресс-салата (%) за 2018 г.

При исследовании саженцев кресс-салата было установлено, что наибольшая длина побега (7,2 см) из диапазона средних в точке 3 (Святодуховка, Жамбылский район), а наименьшая (5,4 см) – в точке 6 (Новоишимское, район им. Г. Мусрепова).

3. Сравнительная характеристика биологической оценки образцов почв Северо-Казахстанской области в 2016 г. и в 2018 г.

В 2016...2017 гг. акиматами районов были проведены работы по сокращению количества свалок. «В этом вопросе необходимо отметить формальный подход, поскольку работа в этом направлении ведется уже несколько лет, а количество завершенных свалок не увеличивается» – сказал главный эколог региона. «Оптимизация проводилась по следующим критериям: бесперспективные села, одно хранилище отходов для нескольких близлежащих населенных пунктов. По результатам оптимизации общее количество объектов по утилизации отходов составляет 472, земельные участки оформлены на 235» [9].

При изучении качества почвы на свалке в течение двух лет существенных изменений не произошло, поскольку природа тратит более ста лет на восстановление.

**Заключение:** Принцип биологической диагностики почвы основан на идее, что почва как среда обитания представляет собой единую систему с населяющими ее популяциями различных организмов. В зависимости от сочетания природных факторов, определяющих процесс почвообразования,

разные почвы различаются по составу своей биоты, направлению биохимических превращений и содержанию тех химических компонентов, которые являются продуктами этих превращений, или их агентов [2].

В настоящее время проблема с бытовыми отходами, их количеством и складированием стоит остро для всей страны и для Северо-Казахстанской области в частности. Для уменьшения вредного воздействия твердых бытовых отходов на окружающую среду и здоровье человека предлагается оптимизировать свалки, которые расположены на территории населенных пунктов с населением менее 150 чел., отходы накапливаются долго и не имеют больших габаритов, что говорит о возможности сбора отходов и перевозки их в ближайшие села. Так же рекомендуется оптимизация свалок, расположенных на территории близкорасположенных соседних сел, так, если расстояние между селами 2...5 км, то целесообразно на 2 села обустроить одну свалку. После тщательного анализа рекомендуется оптимизация в 5 районах области [8].

Усиление антропогенного влияния привело к необходимости разработки методов, которые могли бы вовремя выявлять деградацию природных экосистем, устанавливать долгосрочные тенденции и буферную способность биологических систем в отношении разнообразных и, в основном, сопутствующих факторов. Активное использование биологических методов для диагностики антропогенных нарушений в настоящее время связано, прежде всего, с быстрым реагированием организмов на любые отклонения в окружающей среде от нормы. Кроме того, такая реакция позволяет оценить антропогенные воздействия в терминах, которые имеют биологическое значение, а зачастую и те, которые могут быть переданы человеку.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимкулов С. О., Алматова У. И., Эгамбердиев И. Б. Отходы - глобальная экологическая проблема. Современные методы утилизации отходов // Молодой ученый. – 2014. – № 21. – С. 66-70.
2. Брылев С.Н., Арутюнова А.К. Анализ и оценка состояния окружающей среды на свалках и полигонах ТБО в Московской области // Электронная промышленность. – 2005. – № 2. – С.61-64.
3. Грибский А.А. Почвы и земельные ресурсы Северо-Казахстанской области. – Петропавловск: СКГУ, 2004. – 34 с.
4. Добровольский Г.В., Никитин ЕД. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход. -

- М.: Наука, МАИК «Наука / Интерпериодика», 2000. – 185 с.
5. Ерошина Д.М., Лысухо Н.А. Влияние полигонов твердых отходов на подземные воды (на примере Республики Беларусь) // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 4. – С.37-42.
  6. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО. [Электрон. ресурс].–URL: <http://www.studfiles.ru/preview/3856757/> (дата обращения 17.01.2019).
  7. Калюжина Е.А., Самарская Н.С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения // Инженерный Вестник Дона.– 2014. –№ 2. – С.33-38.
  8. Попов В.А., Садуов М.Ж. Проект нормативов предельно- допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для свалки ТБО. – Петропавловск, 2016. – 328с.
  9. Программа модернизации системы управления твердыми бытовыми отходами Северо-Казахстанской области на 2015-2030 годы. – Петропавловск, 2015. – 38 с.
  10. Соколова А.А. Растения-индикаторы загрязнения природной среды // Рязанский экологический вестник. – 1995. – № 5. – С. 28-34.
  11. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – С. 149-165.

Поступила 22.01.2019

Биолог. ғылым. канд. Т.Н. Лысакова  
А.М. Нукжанова  
Биолог. ғылым. канд. П.С. Дмитриев

**СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ  
БИОИНДИКАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДАҒЫ ҚАТТЫ ҮЙ  
ТҮРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ПИЛОТТАРЫНДА 2016  
ЖӘНЕ 2018 ЖЫЛДАРДАҒЫ ЖЕР ҚЫРТЫСЫН ЗЕРТТЕУ**

**Түйін сөздер:** қатты тұрмыстық қалдықтар; тұрмыстық қалдықтарды көму полигоны; экологиялық мониторинг; биоиндикатор; биотестілеу.

*Солтүстік Қазақстан облысындағы полигондар топырақтарын зерттеуде биоиндикация әдісі пайдаланылды. Бұл әдіс полигондардағы топырақ жамылғысының күйін анық көрсетеді. 2016...2017 жылдар аралығында өткізілген зерттеу нәтижесінде бойынша топыраққа әртүрлі ластану деңгейлері берілген.. Бұл*

санкцияланбаған полигондардың әртүрлі қалыптасқан жылдарға байланысты, ал қоқыстарда сақталған қоқыс басқа құрамда болады. Солтүстік Қазақстан облысындағы 2016...2017 жылдардағы полигондарды оңтайландыру туралы ұмытпаңыз, нәтижесінде полигондар жойылып, қоқыстарды қоршаған ортаны жақсартатын көрші полигондарға, екіншісінде нашарлады.

T.N. Lyssakova, A.M. Nukzhanova A.M., P.S. Dmitriev

**RESEARCH OF SOILS WITHIN THE TERRITORY OF SOLID HOUSEHOLD WASTE LANDFILLS OF THE NORTH KAZAKHSTAN OBLAST IN 2016 AND 2018 BY MEANS OF THE BIOINDICATION METHOD**

**Key words:** solid household waste; household waste landfill; ecological monitoring; bioindicator; biotesting.

*The bioindication method was used in the study of soils in the solid waste landfills of the North Kazakhstan oblast. This method clearly shows the state of the soil cover in the waste landfills. As a result of the study, different levels of pollution were awarded to soils in different years. This is due to the fact that unauthorized landfills have different years of formation and the garbage stored at landfills has a varied composition. Do not forget about the optimization of landfills in the North Kazakhstan oblast in the years 2016...2017, as a result of which they were eliminated, and the garbage was taken to neighboring landfills, that is in one case improved the environment and in the other worsened.*

УДК 502.333

Доктор эконом.наук

А.А. Медеу<sup>1</sup>К.М. Кыргызбай<sup>1</sup>

### ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗГЛЯДОВ НА ВОДУ: КОНЦЕПЦИИ И ТЕОРИИ

**Ключевые слова:** вода, оценка воды, концепции водных ресурсов, проблемы использования воды, устойчивое развитие

*В статье показано, как изменилось использование водных ресурсов, экономическая оценка водных ресурсов и как изменилось отношение к водным ресурсам до нашего времени. Представлены теории и концепции использования водных ресурсов с целью определения важности воды и демонстрации эволюции оценки водных ресурсов.*

Все природные явления и объекты, которые человек использует в процессе труда, называются природными ресурсами. К ним относятся: атмосферный воздух и почва, вода, солнечная радиация и климат, полезные ископаемые, животный и растительный мир. На протяжении веков вода являлась источником благосостояния человека и одним из основных ресурсов экономического развития.

Вода может рассматриваться как социальная ценность, а также как экономический товар.

Между состоянием водных ресурсов, обществом и экономикой есть сильная внутренняя связь. Многие люди думают и говорят, что вода является религиозной, культурной и социальной ценностью, и вода не должна рассматриваться как товар. Ведь социальные и культурные ценности, связанные с водой, противостоят экономическим ценностям. Из-за отсутствия расчета и неправильного водопользования людьми идет загрязнение воды и ухудшение состояния окружающей среды, это в свою очередь приводит к огромным негативным последствиям [3].

Многие до этого времени считали, что воду можно использовать по усмотрению человека, потому что вода – божий дар. Поскольку на Земле происходит естественная циркуляция и непрерывная регенерация воды,

---

<sup>1</sup>Институт географии, г. Алматы, Казахстан

многие ошибочно думали, что ресурсы пресной воды неистощимы и неисчерпаемы, в отличие от других минеральных ресурсов. Водная оболочка земли – гидросфера занимает большую часть, примерно 71% поверхности Земли. Но водные ресурсы распределены неравномерно, большая часть сосредоточена в океане, намного меньше в ледниках и подземных водах, водоемах. Конечно, общие запасы воды на планете неисчерпаемы. Но основу их составляют соленые воды Мирового океана, которые мало используются, а пресная вода составляет всего 1 % от общего объема воды.

Вода – необходимый ресурс, для независимого экономического развития страны, а не только для жизнедеятельности человека. Все ресурсы, находящиеся в распоряжении общества, ограничены. В том числе и вода. А также, постоянное улучшение качества жизни и развитие экономики требуют постоянного роста потребления воды населением, в коммунальном хозяйстве, в отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Сегодня суточная норма водопотребления в зависимости от способов доставки воды и ее наличия колеблется от 70 до 500 л воды. Но норма потребления воды за каждые десять лет удваивается, увеличивается загрязненность, ухудшается ее качество. Соответственно происходит качественное и количественное истощение водных ресурсов.

В результате всего этого вода из природного ресурса превращается в товар, за который нужно платить, и который служит предметом жизнестойкости страны, а параметры потребления регулируются дипломатическими отношениями.

Авторы доклада Римского клуба утверждают что, современный мир находится на грани катастрофы, причины которой многочисленны, но главной является мировоззрение человечества [8]. Описать проблему можно используя концепцию «пустого и полного мира»: все века своего существования человек открывал свободные, еще не используемые и не принадлежащие никому ресурсы и территории, но сейчас действовать, таким образом, уже невозможно – мир «заполнен». Нет перспективы дальнейшего открытия новых ресурсов, нужно использовать то, что мы уже имеем. Но если продолжать пользоваться традиционными методами, религиями, институтами рассчитанный на «пустой» мир – недалеко до коллапса.

Римский клуб возник в 1968 г. Создатель – выдающийся итальянский предприниматель Аурелио Печчеи. Он промышленник, у

которого был долгосрочный взгляд на развитие человечества: куда оно идет, как развивается человечество, какими будут возможные позитивы и негативы, и какие поправки необходимо вообще вносить в поведение людей, чтобы человечество выжило, и развитие было устойчивое (то есть сбалансированное и непрерывное). И поэтому концепция клуба «Устойчивое развитие» отражает идею долгосрочной поддержки, баланса между удовлетворением современных потребностей человечества и защитой интересов будущих поколений. Такое общее видение определило формирование самой организации. Члены организации пришли к пониманию, что человечество перешло, условно говоря, от модели пустого мира к модели полного мира [1].

Пустой мир – мир с богатыми ресурсами и еще не известными территориями. Мир, в котором масштаб деятельности людей и человеческой цивилизации в физическом измерении был значительно меньше, чем физические показатели нашей среды обитания, которой является планета Земля. Нынешнее общество фактически достигло предела физических возможностей – наш мир уже заполнен. И поэтому по-другому нужно использовать ресурсы, которые есть.

А также идею пустого и заполненного мира использовал за два года до создания Римского клуба выдающийся американский экономист, интеллектуал, социолог, философ Кеннет Боулдинг. Он – один из основателей теории системного подхода. В своей книге «Экономика перехода к космическому кораблю Земля» он сделал интересное сравнение. Говорил, что существует экономика ковбоев в прерии и экономика космонавта на космическом корабле. Ковбой прерии может не заботиться об ограниченности ресурса. Не заботиться о переработке собственных отходов, не думать о ресурсах, которые нужны или о размерах плантаций. Это модель, когда все те ресурсы, которые потребляются, и возможность выбрасывать отходы – не ограничены [2].

И совсем другая ситуация, когда космонавты находятся на корабле. Им нужен полный замкнутый цикл всего. Все самим выращивать, самим перерабатывать все отходы, которые на этом корабле – для того, чтобы использовать их в дальнейшем.

В этом смысле мы можем говорить, что мы уже приблизились к экономике космического корабля, которым является Земля. Поэтому мы должны задумываться о всех физических ограничениях, имеющих на планете.

И это те вопросы, которые Римский клуб задал еще в 1972 г., сделав доклад «Пределы роста». Доклады Римского клуба привлекли огромное внимание в мире. Уже не только ученых, интеллектуалов, но и политиков в разных странах, и привели к тому, что эта тематика попала в Организацию Объединенных Наций, именно благодаря этому возникла идеология устойчивого развития. В 1992 г. был проведен первый саммит ООН по вопросам устойчивого развития.

Вначале термин «устойчивое развитие» использовался в природопользовании, точнее в рыбном и лесном хозяйстве. Под этим словом понималась система эксплуатации, которой природные ресурсы не истощаются и имеют возможность естественного воспроизводства.

Устойчивое развитие (УР) – развитие, которое, удовлетворяет потребности настоящего времени, не ставя под угрозу возможность, удовлетворять свои собственные потребности будущих поколений,

Концепция устойчивого развития вышла от объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и экологической.

1. Экономическая составляющая. Концепция подразумевает оптимальное использование ограниченных и экологических ресурсов, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов.

2. Социальная составляющая. Социальная составляющая УР ориентирована на человечество и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, и на сокращение разрушительных конфликтов между людьми. Суть этого подхода – справедливое распределение благ.

3. Экологическая составляющая. С экологической точки зрения УР должно обезопасить целостность биологических и физических природных систем. Особое внимание нужно уделить на жизнеспособность экосистем [5].

От устойчивого развития ожидается повышение качества жизни всего населения планеты, притом без возрастания объемов употребления природных ресурсов до степени, превышающей возможности Земли как экологической системы. Усилия по формированию устойчивого образа жизни предполагают комплексный подход к деятельности в трех основных областях:

1. Охрана окружающей среды и сохранение природных ресурсов – рассмотреть проблемы сокращения потребления ресурсов, прекращения загрязнения окружающей среды и сохранения природной среды обитания, найти экономическое приемлемое решение этих проблем;

2. Экономический рост и справедливость – стимулировать долгосрочный экономический рост;

3. Социальное развитие – удовлетворить потребности народа в энергии, воде и санитарии, продовольствии, образовании, рабочих местах, бережное отношение к социальному и культурному разнообразию и соблюдение прав участвовать в принятии решений, влияющих на их дальнейшую судьбу.

Не смотря на все достижения «устойчивого роста», по мнению авторов Римского клуба, в результате голода непременно будет снижение численности населения и промышленного производства, и неизбежны истощения ресурсов, разрушения окружающей среды и т.д. По мнению авторов доклада, единственным выходом в этой ситуации является поддержание «нулевого роста» [6].

Сторонники концепции «нулевого роста» утверждают, что отрицательные явления современной жизни, вроде загрязнение окружающей среды, промышленный шум, выброс отравляющих веществ, ухудшение облика городов и т.д. – отражения постоянного экономического роста и технического прогресса. Так как производственные процессы лишь преобразуют природные ресурсы, но не используют полностью, и со временем они в виде отходов вернутся в окружающую среду. Полагается, что экономический рост и технический прогресс должен целенаправленно сдерживаться.

Экономический рост обеспечивает увеличение объема товаров и услуг. Это все признают но, по мнению сторонников «нулевого роста» экономический рост не всегда может создать высокое качество жизни. Авторы видят в реализации концепции «нулевого роста», согласно которой необходимо сократить численность населения планеты, приостановить рост производства, согласовывать свою хозяйственную деятельность с возможностями биосферы, создать новые технологии по нейтрализации и устранению загрязнения окружающей среды [4].

Глобальная проблема современного мира – дефицит чистой пресной воды. Воду использует все в разных целях – для бытовых нужд, промышленности и особенно сельском хозяйстве. Увеличивающиеся

каждым годом нормы водопотребления приводят к быстрому росту сброса коммунально-бытовых, сельскохозяйственных, промышленных сточных вод во внутренние водоемы и моря. Это ухудшает состояние водоемов. Положение озер, морей, рек и водохранилищ нашей страны можно признать как крайне тяжелое.

Есть три аспекта водоснабжения: социальный, экологический и экономический.

Социальный аспект объясняется тем, что потребность в воде для здоровья населения намного опережает другие факторы жизнеспособности.

Экологический аспект состоит в том, что природные воды практически формируют состояние окружающей среды и проживания людей.

Экономический аспект – это, с одной стороны, функционирование всей производственно-хозяйственной сферы государства, а с другой – само водообеспечение, оно требует огромных общественных затрат.

Стоимость воды столь высока, что определить ее невозможно. Дефицит водных ресурсов, а также отсутствие доступа к достаточному количеству соответствующего качества воды – значительные преграды для роста и развития населения. Воду нужно использовать не обостряя неравенство в социальной, экономической и экологической сфере и таким образом, что можно было получить максимальную выгоду. Рациональное использование водных ресурсов способно порождать большие преимущества для здоровья человека, сельского хозяйства и промышленного производства, обеспечивающих экономический рост.

Основным принципом экономического регулирования рационального использования, восстановления и охраны водных объектов является платность водопользования.

Согласно принципу Дублинских правил, вода имеет экономическую ценность во всех конкурирующих видах ее использования и должна быть признана в качестве экономического блага. В этом принципе, важно признать, сначала основное право каждого человека на доступ к чистой воде и санитарии по доступной цене.

Водные ресурсы являются национальным богатством, совокупностью экономических активов страны, составляющих необходимое условие общественного производства и жизнедеятельности людей. Соответственно, рациональное пользование и охрана водных ресурсов должны регулироваться на законодательной основе с учетом

экономических и экологических, так и правовых аспектов. Таким образом, применение экономической оценки водных ресурсов, являющимся основным инструментом рационального планирования и использования, а также средства экономического регулирования качества воды, становится первоочередной задачей для водной безопасности стран.

В случае товаров или услуг торгуемых на рынке, человек будет сравнивать стоимость (цена) и выгоды (благополучие, полученное от потребления товара или услуги), прежде чем принимать решение о том, чтобы купить его. Поэтому там, где товар или услуга торгуется на конкурентных рынках, цена, заплаченная за это, обычно отражает его (минимальную) экономическую ценность. Но не все товары и услуги торгуются на рынках. Они называются как «не рыночные» товары и услуги. Многие экологические ресурсы являются классическими примерами, не являющихся рыночных товаров и услуг.

Оценка нерыночных товаров и услуг понижает экологическую и ресурсную экономику. Экономисты признают, что люди ценят вещи – в том числе многие важные услуги водоснабжения земли – которые они не покупают через рынок или не могут оценивать по причинам, не зависящим от их собственной покупки и использования. Кроме того, не все, что снижает полезность, например, загрязнение, оценивается на рынках. Экологические и ресурсные экономисты проводят большую часть своих профессиональных усилий, пытаясь оценить ценность общества (часто называемую теневой ценой) для нерыночных товаров и услуг. Современная экономическая парадигма предполагает, что ценности товаров и услуг основываются на базовых отношениях спроса и предложения, которые обычно, но не всегда, отражаются в рыночных ценах. Экономика – это не только изучение рынков, но, в более общем плане, изучение предпочтений как аспекта человеческого поведения.

Мы знаем, что экономисты, изучающие проблемы ресурсов и окружающей среды, не все говорили одинаково о том, как экономика должна применяться к исследованиям и политическим вопросам. Как и в дисциплине в целом, и в целом с другими социальными и политическими науками, они обладают рядом методологических перспектив по изучению экономики, а также различными идеологическими взглядами на соответствующую роль частных и государственных структур в управлении природными и экологическими ресурсами. Они широко различаются по использованию и ограничениям экономики как инструмента политики.

Неоклассические экономисты в основном сосредоточены на объяснении поведения цен и распределении ресурсов в рыночной экономике. Предполагается, что экономическая эффективность является основной целью общества. Если существуют условия, при которых рынки не функционируют должным образом, неоклассические экономисты применяют свои инструменты и концепции для понимания таких условий и предписывают средства правовой защиты, которые повышают экономическую эффективность. Экологические и ресурсные экономисты приняли эти концепции и адаптировали их к нерыночной оценке в целях анализа политики.

Но другие школы экономической мысли также занимаются вопросами окружающей среды и природных ресурсов. В отличие от воспринимаемой основной направленности на рынки и цены, институционалисты подчеркивали важность изучения влияния экономических институтов на создание и распределение доходов, как правило, с использованием описательных, а не количественных инструментов. Экономисты и институционалистическая традиция, как правило, ставят под сомнение основного акцента на экономическую эффективность как критерий анализа политики. С позиции политики они скептически относятся к результатам свободного рыночного механизма и подчеркивают важность других ценностей, таких как объективность и справедливость распределения доходов.

На другом конце политического спектра – экономисты свободного рынка, которые подчеркивают роль отдельных свобод, а также важность экономической эффективности и требуют децентрализации, определенных и принудительных прав собственности и рыночных институтов для решения водных и экологических проблем [10].

Экологические экономисты представляют собой растущий и все более влиятельный отход от методов и политических предписаний основной экономики. Эта школа мысли возникла в тандеме с мировым пробуждением к экологическим проблемам в конце 1960-х годов. Возможно, ключевой предпосылкой движения экологической экономики является то, что рост мировой экономики в недалеком будущем будет ограничен биофизической способностью экологической системы Земли. Экологические экономисты скептически относятся к потенциалу систем распределения рынка и технологических инноваций для решения потенциальных долгосрочных экологических проблем. Вместо того, чтобы

подчеркивать максимальный экономический рост в качестве основной социальной цели, они подчеркивают политику устойчивости или «развития, которая отвечает потребностям настоящего, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности».

Поднимая сложные вопросы и оспаривая основные принципы, эти различные конкурирующие точки зрения заставляют постоянно переосмысливать экономическую теорию, добавляя вклад экономики в понимание и управление экономикой. Однако ни одна из конкурирующих парадигм не предлагает жизнеспособных альтернативных моделей экономики благосостояния для принятия экономически эффективных решений в области политики и проектов с учетом уникальных характеристик воды, описанных выше.

Ранее была сказана цитата из Дублинского заявления по воде и устойчивому развитию о том, что воду следует признать экономическим благом: управление водой является важным способом достижения эффективного и справедливого использования, и поощрять сохранение и охрану водных ресурсов. Эта предпосылка предполагает, что экономические критерии должны быть в числе инструментов, используемых при оценке политики управления водными ресурсами. Однако редко критерии экономической эффективности являются единственным критерием для принятия всех решений по водным ресурсам. Экономика уже давно связана с равенством и распределением в качестве другого фактора в определении социального благосостояния. Важны также другие антропоцентрические проблемы, такие как экологическая справедливость в отношении групп меньшинств. Кроме того, некоторые возможные решения о распределении водных ресурсов могут также вызвать этические проблемы (например, принцип Южной Африки, согласно которому доступ к воде является правом человека). Наконец, биоцентрические критерии, воплощенные в законах, принятых в демократических обществах, таких как Закон о находящихся под угрозой исчезновения видов, часто придают большое значение принятию решений по водным ресурсам. Для экономиста водных ресурсов важно признать, что даже лучший анализ не принимает решения, это люди делают. При принятии окончательного решения разные люди привносят разные взгляды.

Даже если вода признана как экономический товар, это не означает что рассматривать воду нужно только механизмом рынка. Мы должны

учитывать сильные и слабые стороны рыночной системы как механизма распределения водных ресурсов. Для использования воды, которая является исключительной и конкурирующей, и которая не имеет внешних эффектов, конкурентные водные рынки достигнут экономически эффективных водораспределений. Но, как видно из этого перечня предостережений многие виды использования воды являются конкурирующими, но не исключительными (т. е. общим пулом), непривлекательными и неисключимыми (приводящими к общественным благам) или генерируют негативные внешние эффекты. В этих случаях нарушения рынка хорошо известны. Необходимо либо корректировать рыночные неудачи для регулирования этих рынков, либо альтернативы рыночным институтам, такие как некоторый уровень правительственной или водопользовательской ассоциации, необходим для эффективного распределения водных ресурсов. Таким образом, возникает необходимость в методах экономической оценки для обеспечения мер ценности и дефицита экономической политики, связанной с водой. Чтобы заложить основу для таких анализов, нужно рассмотреть широкие концептуальные рамки экономической оценки применительно к водным ресурсам.

По словам руководителя Миссии Всемирного Банка в Центральной Азии Дэвида Пирса, нет никакой деятельности, которую можно назвать «оценкой воды». Чтобы оценить, экономисты ищут денежные меры от потерь благосостояния из-за различных изменений водоснабжения или деградации воды. Фундаментальными понятиями, используемыми в качестве меры стоимости, являются готовность платить (WTP) или готовность принять (WTA) компенсацию за изменения в ресурсах или качестве ресурсов. Ресурсы имеют экономическую ценность или доходность при условии, что пользователи охотно платят за них цену [9].

Несмотря на то, что улучшение распределения доходов, повышение качества окружающей среды и достижение других социальных целей имеют большое значение, более важно анализировать цели экономической эффективности в разработке, распределении и управлении количеством и качеством водных ресурсов. Для этого есть две основные причины. Во-первых, в условиях растущего дефицита и растущей конкуренции среди водопользователей максимизация чистой экономической выгоды от определенного количества воды становится все более важной социальной задачей. В некоторых случаях эта информация может быть полезной для содействия разрешению общественных конфликтов в воде. Во-вторых, в

рамках более широкой многоцелевой структуры ценности эффективности представляют собой конструктивный способ оценки альтернативных издержек (льготных преимуществ) для достижения альтернативных целей.

Если говорить об эволюции СВА (cost-benefit analysis - анализ выгоды и затрат) при планировании водных ресурсов, в течение многих лет в Соединенных Штатах требовалось систематическое сопоставление оценочных выгод с предполагаемыми расходами на федеральные проекты в области водных ресурсов, что является ранним примером положений Закона о рекультивации 1902 г. Однако методы оценки были чрезвычайно грубыми по современным стандартам, часто состоящим только из сопоставлений ожидаемых валовых доходов, полученных бенефициарами с ожидаемыми суммами общих расходов по проекту. Мало или вообще не уделялось внимания часто значительным связанным с этим расходам, которые должны быть израсходованы, чтобы позволить бенефициарам использовать результаты проекта. Такие затраты могут включать в себя расходы на строительство и эксплуатацию транспортных систем для перемещения воды с точки захвата до точки использования. Кроме того, упущенные выгоды от исключенных альтернативных видов использования воды были проигнорированы (ситуации, которые и сейчас имеются). В начале двадцатого века экономисты начали формулировать методы нормативного экономического анализа, которые стали известны как экономика благосостояния. Известное требование в Законе США о контроле над паводками, приняты в 1936 г. – «если выгоды для тех, кому они могут начисляться, превышают сметные расходы» – считалось основанием для создания экономики благосостояния в качестве концептуальной основы.

Только после середины века некоторые экономисты стали приспособлять строгие концепции микроэкономики и экономики благосостояния к государственным инвестициям и вопросам распределения, связанным с водой. Эти экономисты выдвинули несколько относительно простых концепций, таких как альтернативные издержки, спрос как WTP, маржинальный анализ, нерыночные затраты и выгоды, а также различия между частными и социальными выгодами и издержками – к экономической оценке проблем распределения воды.

Новая эра серьезного развития и применения концептуальных основ экономики благосостояния началась в конце 1950-х годов. Появилось несколько других основных тем. Одна из центральных идей – все еще

спорная – заключалась в том, что вода может рассматриваться как экономический товар. Экономисты также утверждали, что недооцененные водные ресурсы создают искусственный спрос на воду в городских и промышленных, а также сельскохозяйственных целях. Было предложено полное ценообразование, возможно, реализованное с увеличением структуры блочной ставки.

Такие работы в конце 1950 и начале 1960 годов обеспечили концептуальную основу для излияния прикладных исследований экономики и политики в области водных ресурсов. Одно из них полученная концептуальная доктрина о цели экономической эффективности и реализации с помощью принципа Парето.

Экономическую эффективность можно определить как организацию производства и потребления, так что все однозначные возможности для повышения экономического благосостояния исчерпаны. Несколько, иначе говоря, экономическая эффективность – это выделение ресурсов, чтобы не было возможного дальнейшего перераспределения, что обеспечило бы рост производства или удовлетворенность потребителей некоторыми фирмами или отдельными лицами без одновременного наложения убытков на других. Это определение экономической эффективности, называемое оптимальной по Парето, выполняется в абсолютно функционирующей конкурентной экономике. Эффективность Парето достигается, когда предельные выгоды от использования товара или услуги равны предельным издержкам поставки товара.

Переход к применяемой практике затрат и выгод от теории экономики благосостояния требовал несколько мер. В нашем сложном обществе в политике не много изменений, которые могли бы улучшить благосостояние для многих, избегать снижения благосостояния некоторых людей. Только лишь немногие изменения будут соответствовать строгим стандартам Парето, чтобы никого не ухудшать.

Кроме того, вместо того, чтобы оценивать все возможные распределения в непрерывной функциональной структуре, СВА (практика затрат и выгод) обычно исследует довольно большие дискретные приращения изменения, чтобы оценить, движется ли в направлении эффективности Парето. Действие, которое генерирует дополнительные выгоды сверх дополнительных издержек, называется Парето-превосходящим.

Выгодные и неблагоприятные последствия часто являются абстрактными и двусмысленными концепциями. Как отмечалось ранее, основные экономисты рассматривают ценности как внешние и предлагают измерять воздействия с точки зрения удовлетворения человеческих предпочтений. Чтобы преобразовать концепцию благосостояния в единую метрику, предлагаемый измерительный стержень – это деньги. Изменение благосостояния человека от какого-либо предлагаемого улучшения измеряется как максимальная сумма денег, которую человек хотел бы отказаться от улучшения. И наоборот, для изменения, которое снижает благосостояние, мерой является минимальная сумма компенсации, требуемая для принятия изменения.

Экономическая оценка проектов или предложений основана на систематической балансировке прогнозируемых положительных и отрицательных последствий, вызванных предложением. Преимуществами называем «хорошие» или «желаемые» эффекты, внесенные в предложение. В то время затраты являются «плохими» или «нежелательными» последствиями.

Оценка результатов политики должна основываться на концепции готовности платить. Льготы представляют собой суммы максимальных сумм, которые люди хотели бы заплатить, чтобы получить результаты, которые они считают желательными. А затраты – это количество максимальных сумм, которые люди готовы платить, чтобы избежать результатов, которые они считают нежелательными.

Теоретические подходы к оценке воды приобрели актуальность после энергетического кризиса 1972...1973 гг., когда на первый план вышли энергосберегающие технологии, широкое использование возобновляемых источников энергии и экологические факторы, которые стали играть значимую роль в социально-экономической политике развитых стран. С конца 1980-х с появлением концепции «Устойчивого развития» и повышения значимости использования водных ресурсов, были предприняты попытки разработки универсальной объективной модели экономической оценки воды. На практике существуют несколько методических направлений по оценке водных ресурсов: затратный подход, доходный подход, рентный подход, подход на основе замыкающих затрат.

В целом, существует три основных типа экономической оценки. Во многом они отличаются по типу данных экономической ценности:

– рыночные цены: когда экологические товары и услуги связаны с конкурентными рынками, где деньги, обращающихся за покупки товаров и услуг, для оценки экономической ценности используют ценовые данные. Это, как правило, относится к сельскохозяйственной продукции. Однако пока есть рынки для водоснабжения и водоотведения, цены не определены на конкурентных рынках;

– методы выявленных предпочтений: в то время как большинство экологических товаров и услуг не торгуются на рынках, в ряде случаев их характеристики (например, их качество или количество) повлияют на спрос (и, следовательно, цену) других товаров и услуг, которые торгуются на рынках. Например, в контексте воды, качество и надежность водоснабжения может повлиять на продажную стоимость имущества. Точно так же качество, количество и места отдыха водоема повлияет на количество и тип посетителей, сколько денег тратится на эти цели и, следовательно, определяющих рекреационное значение водоема. Конкретные методы включают гедонические цены, модели затрат путешествия и модели спроса места отдыха. Хотя эти методы потенциально охватывают более широкий спектр прямых и косвенных потребительных стоимостей, чем рыночные цены, они по-прежнему являются неполными, поскольку охватывают не все аспекты водной среды (например, климат регулирование, обеспечение среды обитания) спрос влияния на рыночные товары и услуги; метод субъективных предпочтений: многие природные ресурсы, не торгуются на рынках вообще, или то, что торгуется, является частичным аспектом экосистемных услуг, которые они предоставляют.

Экономическая оценка водных ресурсов опирается на платежах за использование водных ресурсов:

– платежи за право пользования водными ресурсами. Такой вид платежа является водным налогом, выплачиваемый в виде фиксированных рентных платежей за единицу объема забора водных ресурсов или за единицу объема продукции водопользователей. Ставки за водопользование определяются от состояния водных ресурсов, качества воды, доступности и дефицита, условий водопользования, гарантии водообеспечения и т.д.

– платежи за восстановление и охрану водных ресурсов. Ставки за восстановление и охрану вод рассчитываются основываясь на необходимость возмещения затрат на содержание и восстановление водных объектов, защиты и охраны вод и водных объектов, а также эксплуатации водных сооружений.

Есть две схемы взимания платы за использование воды:

1. Схема жесткого государственного регулирования размеров платы за водопользование. Такая схема реализуется в Австралии, странах Азии и Африки. Плата поступает в государственный бюджет позволяя аккумулировать финансовые ресурсы в целях поддержания и дальнейшего развития водохозяйственных систем и сооружений.

2. Вторая схема платы за водопользование применяется в странах Западной Европы, основываясь на совместном управлении рационального использования и охраны водных ресурсов со стороны водопользователей, образующие бассейновые объединения. Таким образом, бассейновые объединения берут на себя обязательства по защите и охране водохозяйственного баланса и его оценки, соблюдением рационального водопользования и водозабора, регулированием стока, контролем качества воды, предотвращением паводков и наводнений. В свою очередь, водопользователи вносят взносы в качестве платы за воду на содержание и финансирование деятельности бассейновых организаций, а государство получает налоги, которые используются в большей части для кредитования и субсидирования водохозяйственного строительства и выплат компенсаций льготным категориям водопользователей [7].

Структура и цена тарифов на воду являются решающими факторами в обеспечении оптимального уровня возмещения затрат и обеспечения устойчивого использования водных ресурсов с помощью стимулов и инвестиций в водосберегающие технологии. Влияние цен на воду на потребление воды зависит от ценовой эластичности спроса. Спрос на воду является «эластичным», если изменения в цене оказывают достаточно большое влияние на величины спроса (и наоборот для неэластичного спроса). Ценовая эластичность может быть под влиянием дополняющих методов, таких, как информационно-просветительских кампаний.

Лидирующие страны признали, что одно из главных прав человека – право на доступ к питьевой воде, но они также признают, что должны применяться принципы возмещения расходов, когда количество водопотребления свыше базового уровня. Обеспечение устойчивой системы водоснабжения не может обойтись без инвестиций, необходимых для технического обслуживания и расширения охвата сетей в целях удовлетворения потребностей развития и растущего населения.

Для нашего народа переход к «устойчивому развитию» стал необходимостью. Без этого рост экономики будет только на определенном

этапе, особенно если рост только за счет эксплуатации ресурсов. Для достижения целей стратегии развития Казахстана до 2050 г. и стратегии вхождения в число тридцати наиболее конкурентоспособных стран мира следовать по принципу устойчивого развития необходимо.

В перспективе развитии Казахстана есть значительные барьеры, которые представляют угрозу для долгосрочного устойчивого развития страны. До настоящего времени экономический рост нашей страны происходит в основном за счет роста цен на сырье и использования большего объема природных ресурсов. Безусловно, имеются деградация природного капитала и огромные потери. Прирост ВВП сопровождается высокими эмиссиями в окружающую среду. На главном месте стоит проблема опустынивания окружающей среды. Нарастающие выбросы токсичных веществ от стационарных и передвижных источников, накопители отходов угрожают не только состоянию природных ресурсов, но и здоровью населения. Имеет место существенный разрыв в экономическом и социальном положении регионов. Имеются проблемы в демографической ситуации и состоянии здоровья населения страны, имеет значительное место пока недостаточный уровень его правовой, экономической, экологической грамотности. Преодоление этих барьеров должно стать главной задачей на пути перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию, принятому в 2006 г.

Переход к устойчивому развитию для Республики Казахстан будет проходить на поэтапной основе. Должны быть подготовлены условия для претворения принципов устойчивого развития во все сферы общественной и политической деятельности, диверсификации экономики, осуществления технологического прорыва. На этом основании, к 2024 г. Республика Казахстан приобретает статус «государства устойчивого развития» и способствует дальнейшему прогрессу в устойчивом развитии евразийского континента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алинов М.Ш. Экология и устойчивое развитие. – Алматы, 2012. – С. 140-146.
2. Вовк В. От ковбойской экономики следует перейти к экономике космического корабля [Электрон. ресурс]. – 2018. URL: <https://www.ukrinform.ru/rubric-technology.html> (дата обращения: 03.03.2018).
3. Лю Цин. Механизм формирования и перспективы развития водного

- рынка. – Москва, 2015. – С. 21-27
4. Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рендерс Й., Беренс Ш. Пределы роста (The Limits to growth) // Сложное положение человечества. Докл. по проекту Римского клуба, Москва, 1991.
  5. Панкина М.В. Феномен экологического дизайна онтологический анализ. – Москва: Наука: информ, 2014. – С. 120-132.
  6. Пестель Э. За пределами роста. М.: Прогресс, Пангея, 1994. – С. 134-140.
  7. Редковская О.В. Экономическая оценка природно-ресурсного потенциала особо охраняемых природных территорий в системе кадастрового учета // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2007. – № 1. – С. 47–56.
  8. Римский доклад. Come On. Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet – A Report to the Club of Rome [Электрон. ресурс].– 2018.– URL: [https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Weizsacker\\_Wijkman\\_2018\\_Come%20on.pdf](https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Weizsacker_Wijkman_2018_Come%20on.pdf).
  9. European Environment agency // Towards efficient use of water resources in Europe– ЕЕА, Copenhagen, 2012. – № 1. С. 29-35.
  10. Robert A. Young and John B. Loomis. Determining the Economic Value of Water Concepts and Methods. – RFF Press, 2014. – С. 198-220.

Поступила 30.04.2019

Эконом. ғылым. докторы

А.А. Медеу  
М.Қ. Қырғызбай

## СУҒА ЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨЗҚАРАСТАРДЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ: КОНЦЕПЦИЯ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛАР

**Түйін сөздер:** су, судың бағасы, су ресурстарының концепциясы, суды пайдалану мәселелері, тұрақты даму

*Мақалада қазіргі уақытқа дейін су ресурстарын қолдану, экономикалық бағалау және суға деген көзқарастың қалай өзгергені көрсетілген. Су ресурстарының маңыздылығын анықтау және суды бағалау эволюциясын көрсету мақсатында су ресурстарын пайдаланудың теориялары мен концепциялары қарастырылған.*

А.А. Medeu, M.K. Kyrgyzbay

## THE EVOLUTION OF ECONOMIC VIEWS ON WATER: CONCEPTS AND THEORIES

**Key words:** water, water assessment, water resource concepts, water use problems, sustainable development

*The article shows how the use of water resources has changed, the economic assessment of water resources and how the attitude to water resources has changed up to our time. Theories and concepts of using water resources are presented to determine the importance of water and demonstrate the evolution of water resources assessment.*

«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ» ЖУРНАЛЫНЫҢ РЕДАКЦИЯСЫНА ӨТКІЗІЛЕТІН ҚОЛЖАЗБАЛАРҒА ҚОЙЫЛАТЫН ТЕХНИКАЛЫҚ ТАЛАПТАР «ҚАЗГИДРОМЕТ» РМК РЕСМИ САЙТЫНДА ОРНАЛАСТЫРЫЛҒАН: <https://kazhydromet.kz/>

ТЕХНИКАЛЫҚ ТАЛАПТАРҒА СӘЙКЕС БЕЗЕНДІРІЛМЕГЕН ҚОЛЖАЗБАЛАР БАСЫЛЫМҒА ЖІБЕРІЛМЕЙДІ ЖӘНЕ АВТОРҒА ҚАЙТАРЫЛМАЙДЫ,

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСИ СТАТЬИ РАЗМЕЩЕНЫ НА ОФИЦИАЛЬНОМ САЙТЕ РГП «КАЗГИДРОМЕТ»: <https://kazhydromet.kz/>

РУКОПИСИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ С ТЕХНИЧЕСКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ, К ПУБЛИКАЦИИ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ И АВТОРАМ НЕ ВОЗВРАЩАЮТСЯ,

*Журналға мақала ұсынушы авторлар төменде келтірілген кестені толтыруы шарт/Авторам, подаваемым статьи в наш журнал, необходимо заполнить таблицу, приведенную ниже*

#### Мақала туралы ақпарат/Сведения о статье/Manuscript details

№	ӘОЖ/УДК	
1.	Авторлар/Авторы/Authors	қазақша/ на русском/ in english
2.	Авторлардың жұмыс орны/ Место работы авторов/ Affiliation	қазақша/ на русском/ in english
3.	Мақаланың атауы/ Название статьи/ Manuscript title	қазақша/ на русском/ in english
4.	Түйін сөздер/Ключевые слова/ Key words	қазақша/ на русском/ in english
5.	Түйіндеме/Аннотация/Abstract	қазақша/ на русском/ in english
6.	Байланыс/Контакты/ Contacts	Әрбір авторға беріледі/ Предоставляется по каждому автору/ Must be provided for each author

**Примечание** – зарубежным авторам редакция журнала предоставляет услугу по переводу названия, ключевых слов, аннотации рукописи на казахский язык,