



2021-2030 United Nations Decade  
of Ocean Science  
for Sustainable Development

# Материалы Международной научной конференции "Изменение климата в регионе Каспийского моря"



---

**Материалы**

**МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**"Изменение климата  
в регионе  
Каспийского моря"**

УДК 551, 551.46, 565.5, 574

ББК 26.2, 28.08

М 34

**Материалы Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря»** / Отв. редакторы Е.В. Островская, Л.В. Дегтярева. – Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., 2022. – 262 с.



**Финансовая поддержка Международной научной конференции:  
ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»**

**ISBN 978-5-00201-046-2**

На обложке представлен спутниковый снимок Каспийского моря. Увеличенное фото усыхающей лагуны Гомишан, охраняемой Рамсарской конвенцией, расположенной в юго-восточном секторе моря: показаны глинистые растрескавшиеся почвы; в нижней части представлены эродированные края глинистых трещин с включениями ракуши (фото предоставлены Хамидом Ализаде Кетек Лахиджани, октябрь 2021 г.)

## Организационный комитет Конференции

### **Акбер Аскеров**

Начальник Отдела организационно-методического обеспечения систем наблюдения  
Национальная гидрометеорологическая служба  
akber1@yandex.ru

### **Хамид Ализаде Кетек Лахиджани**

Заместитель директора по исследованиям и технологиям  
Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук  
lahijani@inio.ac.ir

### **Наталья Ивкина**

Начальник Управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря  
РГП «Казгидромет»  
Ivkina\_n@meteo.kz

### **Игорь Школьник**

Заведующий отделом  
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова  
igor@main.mgo.rssi.ru

### **Елена Камнева**

Инженер-гидролог отдела гидрологии,  
Гидрометеорологическая служба  
ytwehab93@gmail.com

### **Фриц Шлингеманн**

Старший советник  
Временный Секретариат Тегеранской конвенции  
schlingemann.frits@gmail.com

### **Елена Островская**

Координатор Межправительственной комплексной программы по гидрометеорологии Каспийского моря  
КАСПКОМ  
eostrovskaya@mail.ru

### **Мэтью Биллот**

Старший сотрудник по координации  
Европейский офис ЮНЕП  
matthew.billot@un.org

**Дизайн сборника:** Мохаммад М. Пурвахид

**Переводчики:** Анатолий Савельев, Александр Митрофаненко, Кристина Русских

**Ответственные редакторы:** Е.В. Островская, к.г.н., Л.В. Дегтярева, к.б.н.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Приветственные слова</b> .....	<b>9</b>
Сахар Таджбахш.....	9
Махир Алиев.....	10
Данара Алимбаева.....	13
Андреа Хинвуд.....	14
Хесон Ли.....	15

### **Рекомендации Конференции**

Рекомендации Конференции.....	16
-------------------------------	----

#### **Секция 1: Климат региона Каспийского моря и его изменения в 21 веке**

<i>С.А. Долгих</i> . Вступительное слово.....	26
<i>М.А. Атабаев, Ч.А. Кулиев</i> . Гидрохимия и экология водной среды Туркменской прибрежной зоны Каспийского моря.....	29
<i>Х. Багери, К.Д. Бастами, А. Хамзенур</i> . Реконструкция изменений климата в юго-восточной части Каспийского моря.....	31
<i>П.И. Бухарицин</i> . Климатические условия Нижней Волги и северной части Каспийского моря за прошедший 24-й и наиболее вероятные изменения в начавшемся 25-м и следующем 26-м циклах солнечной активности.....	34
<i>С.А. Долгих</i> . Современное изменение климата на казахстанской территории Прикаспийского региона.....	42
<i>Х. Фарджамии</i> . Оценка площади водной поверхности водно-болотных угодий Анзали в Юго-Западной части Каспийского моря с помощью спутникового дистанционного зондирования.....	45
<i>А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова</i> . Сток Волги в условиях оптимума голоцена и сценарных антропогенных изменениях климата в 21 веке.....	47
<i>Х. Геривани, Х. Лахиджани, В.А. Путанс</i> . Свидетельства так называемого климатического события 4.2, наблюдаемого в кернах, собранных в бассейне Южного Каспия.....	50
<i>П. Гафариан, Х. Лахиджани, М.Р.М. Пенчах</i> . Моделирование выбросов пыли в районе залива Горган в полусухих условиях.....	53
<i>О.В. Горелиц, Г.С. Ермакова, И.В. Землянов, А.А. Сапожникова, И.Ю. Милютина</i> . Гидрологический режим дельты Волги в условиях современных климатических изменений.....	56
<i>Дж.Г. Гусейнов, Н.Р. Мамедова-Фараджли</i> . Влияние гидрометеорологических условий Каспийского моря на реку Кура.....	58
<i>С. Джамшиди</i> . Исследование влияния изменения климата на регион Южного Каспия (физико-химические характеристики южного шельфа - север Ирана).....	60
<i>А.А. Максимов, И.С. Тренина</i> . Спутниковый мониторинг ледяного покрова и опасных ледяных образований Каспийского моря.....	63
<i>М.Г. Мухаммедова</i> . Исследование климата в Туркменской части Каспийского моря.....	66

<i>Ж.К. Наурузбаева.</i> Оценка изменения ледового покрова Каспия до конца XXI века по климатическим сценариям. ....	69
<i>Ж.К. Наурузбаева.</i> Оценка эффективности методики краткосрочного прогноза нарастания толщины льда для Северного Каспия. ....	72
<i>Е.В. Островская, Е.В. Гаврилова, С.А. Варначкин.</i> Изменения гидролого-гидрохимического режима Северного Каспия в условиях меняющегося климата. ....	75
<i>С.Г. Сафаров, Э.С. Сафаров, Дж.С. Гусейнов, Н.Н. Исмайылова.</i> Современные изменения атмосферных осадков на Абшеронском полуострове Азербайджана.....	78
<i>К.Х. Штадельмайер, П. Людвиг, Х.Г. Пинто.</i> Оценка моделирования климата в регионе Каспийского моря. ....	81
<i>Г.В. Суркова, В.С. Архипкин, И.А. Охлопков.</i> Штормовые нагоны в северной части Каспийского моря и атмосферная циркуляция. ....	84
<i>В.О. Татарников, Д.Р. Светашева, Д.Х. Азмухамбетова, И.В. Гонтовая.</i> Прогноз стока рек российской части водосборного бассейна Каспийского моря. ....	87
<i>В.О. Татарников, И.В. Гонтовая.</i> Временное и пространственное изменение волн тепла в Прикаспийском регионе России. ....	90
<i>А. Заррин, А. Дадаши-Рудбари.</i> Прогнозируемые изменения интенсивности осадков на южном побережье Каспийского моря с использованием многомодельного ансамбля СМIP6. ....	93
<i>И.М. Зейналов, У.Х. Махмудова.</i> Роль использования данных спутниковых систем наблюдений в исследовании температуры поверхности воды Каспийского моря. ....	97

**Секция 2. Изменение уровня Каспийского моря: анализ, моделирование и долгосрочные прогнозы**

<i>М.В. Болгов.</i> Вступительное слово. ....	102
<i>Дж. Азизпур.</i> Спектральный анализ изменений уровня Каспийского моря.....	104
<i>М.В. Болгов.</i> Колебания уровня Каспийского моря: история исследований и методы прогнозирования. ....	107
<i>Е.В. Борисов, В.Б. Ермаков.</i> К долгосрочному моделированию среднегодового уровня Каспийского моря.....	112
<i>Н.А. Дианский, Т.Ю. Выручалкина, В.В. Фомин.</i> Влияние на эволюцию уровня Каспийского моря многолетних изменений режима ветра над его регионом в 1948–2017 гг. ....	115
<i>А.В. Фролов.</i> Нелинейная модель колебаний уровня Каспия в палеовремени. ....	117
<i>Н.И. Ивкина, А.В. Галаева.</i> Возможное колебание уровня Каспийского моря на перспективу до 2050 года с учетом климатических изменений. ....	120
<i>А.С. Калугин.</i> Сток Волги при глобальном потеплении на 1.5 и 2 градуса. ....	123
<i>Х. Хошраван.</i> Влияние быстрых колебаний уровня Каспийского моря на окружающую среду Горганского залива. ....	125
<i>Т. Мамшиова, А.С. Алиев, Р.Г. Гардашов.</i> Оценка влияния падения уровня Каспийского моря на геоморфологические характеристики прибрежной зоны Каспийского моря от мыса Бяндован до реки Астарачай водного бассейна Азербайджана на основе обработки спутниковых изображений. ....	128

<i>Дж.Б. Матиколаи, Б. Лайеги.</i> Численное моделирование физических свойств океанографии в Южном Каспии. ....	132
<i>М. Молави-Арабшахи, К. Арпе.</i> Явление телеконнекции между уровнем и температурой поверхности воды Каспийского моря.....	136
<i>П.А. Морозова, К.В. Ушаков, Е.М. Володин, В.А. Семенов.</i> Моделирование уровня Каспийского моря в различных климатических условиях с использованием океанической модели ИВМИО-SICE и климатической модели INMCM. ....	140
<i>Ш.Д. Нандини-Вайсс, К. Арпе, У. Меркель, М. Пранге.</i> Будущее снижение уровня Каспийского моря: имеет ли значение Североатлантическое колебание?.....	143
<i>Р.Е. Никонова.</i> Основные черты гидрометеорологического режима и уровня Каспийского моря в условиях современного глобального потепления климата. ....	146
<i>А.А. Расули, С.Г. Сафаров.</i> Обнаружение изменений береговой линии Каспийского моря с применением процедур объектного анализа нечетких изображений. ....	148
<i>Е.А. Скольская, В.Н. Уваров.</i> Некоторые особенности колебания уровня моря в Северном Каспии в 21 веке.....	150
<i>В.О. Татарников, М.А. Очеретный.</i> Долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря в связи с глобальным потеплением.....	152
<i>Т.А. Янина, Б.Ф. Романюк, В.М. Сорокин.</i> Изменения климата и колебания уровня Каспийского моря: ретроспективный анализ для последних 10000 лет.....	155
<i>А.Г. Елтай, Н.И. Ивкина.</i> Моделирование ветрового волнения у порта Актау.....	157

### **Секция 3. Влияние изменений климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря**

<i>Н.П. Огарь.</i> Вступительное слово.....	160
<i>А.М. Ахундов, Э.В. Мамедов, Э.Э. Джафарова.</i> Оценка состояния экосистемы Каспийского моря вследствие воздействия климатических изменений последних лет по результатам исследований в прибрежных водах Азербайджана.....	163
<i>Ж. Амини.</i> Сетевое управление Рамсарскими водно-болотными угодьями на юге Каспийского моря, как важный аспект политики, связанной с изменением климата. ....	166
<i>В.В. Анистратенко, О.Ю. Анистратенко, Е.М. Чертопруд, Д.М. Палатов, Т.Я. Ситникова, М.В. Винарский.</i> Самурский лес: является ли он пресноводным убежищем для солоноватых понтокаспийцев?.....	169
<i>М.Т. Баймуханов.</i> О влиянии изменения климата и регрессии Каспийского моря на распределение и численность каспийского тюленя ( <i>Pusa caspica</i> ). ....	172
<i>К.Д. Бастами, А. Хамзенур, Х. Багери.</i> Биогенное загрязнение кремнеземом и фосфором в поверхностных отложениях водно-болотных угодий Анзали, Каспийское море.....	175
<i>С.П. Чехомов, В.В. Барабанов, В.П. Разинков.</i> Влияние изменений климатических условий на экосистему Северного Каспия.....	178
<i>Е.В. Островская, Л.В. Дегтярева, Р.Д. Кашин.</i> Изменение трофности и продуктивности Северного Каспия под влиянием меняющегося климата. ....	180
<i>Консорциум местообитаний морского дна EMODnet: С. Агнези, А. Аннунциателлис, З. Аль-Хамдани, Н. Аскью, Т. Беккби, Л. Кастл, В. Дончева, Дж. Дункан, Дж. Гонсальвес, Л. Лааманен, Х. Лиллис, Э. Манка, Ф. МакГрат, Г. Мо,</i>	

<i>П. Монтейро, М. Муресан, Э. О'Киффи, Дж. Пиндер, А. Теака, В. Тодорова, Л. Тунези, М. Васкез.</i> Портал Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet) по местообитаниям морского дна – создание карты местообитаний для Каспийского бассейна.....	183
<i>А. Гогаладзе, Ф.П. Весселинг, М. Латтуада, М.О. Сон, В.В. Анистратенко, А.Б. Павел, Н. Раес.</i> Повышение осведомленности о снижении биоразнообразия Каспийского моря в условиях меняющейся окружающей среды – уроки, извлеченные из исследований Черного моря.....	185
<i>С.Дж. Гудман, Х. Тэн.</i> Потенциальное влияние изменения климата 21 века на каспийских тюленей ( <i>Pusa caspica</i> ).....	188
<i>М. Хассанзаде Сабер, Ш. Джамшиди.</i> Подтверждение гетерозиготности стерляди <i>Acipenser ruthenus</i> и ее гиногенных потомков с использованием микросателлитных маркеров.....	192
<i>М. Хассанзаде Сабер.</i> Фенотипические маркеры: способ выявления гибридов среди гиногенных потомков у рыб.....	193
<i>А.О. Джанбарова.</i> Применение вегетационных индексов в дистанционной оценке растительности побережья Каспийского моря.....	194
<i>П.А. Кепбанов, К.О. Аннаниязов, М.О. Сахатова.</i> Оценка влияния изменения климата на количественное и качественное состояние галофильной растительности восточного побережья Каспия.....	196
<i>Г.О. Хамраев, С.К. Вейсов.</i> Изменение уровня моря и его влияние на экологические и геоморфологические условия туркменского побережья Каспия.....	198
<i>Ф.В. Климов, Е.В. Мурова, С.Т. Ербулеков, Л.К. Сидоров, В.И. Черноок, В.В. Кузнецов.</i> Климат и его возможное влияние на численность каспийского тюленя в 2020-2021 гг. ....	200
<i>Ф. Наджафи-Харсини, Р. Абеди, К. Пуртахмаси.</i> Возможность управления дубовыми лесами в Иране с использованием дендроклиматологии.....	202
<i>К. Партоев, Х.М. Ахмедов, М. Сафармади.</i> Продуктивный потенциал топинамбура ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.) на фоне изменения климата в условиях Таджикистана.....	205
<i>М. Раббаниха, Ф. Овфи, Х. Фазли, А. Пурхоломи.</i> Влияние изменения климата на рыбные запасы Иранской части Каспийского моря. ....	207
<i>О.Я. Рахманова.</i> Исследование флоры Прикаспийской пустыни в условиях изменения климата.....	210
<i>Э.А. Рустамов, А.А. Щербина, С.Б. Маммедов.</i> О динамике биоразнообразия туркменского сектора Каспия в зависимости от изменчивости климата. ....	212
<i>Н.М. Танырбердиева, М.Я. Агаева.</i> Состояние биоразнообразия в Каспии.....	216
<i>Ф.П. Весселинг, М. Латтуада, Т. Вильке, Ш. Нандини-Вайсс, М. Пранге, М.В. Винарский и команда проекта PRIDE.</i> Прогнозируемое падение уровня Каспийского моря к 2100 году и его разрушительные последствия.....	218
 <b>Секция 4. Адаптация к изменению климата в регионе Каспийского моря</b>	
<i>М.Г. Атаджанов.</i> Вступительное слово. ....	222
<i>М. Рахмани, К. Шефер, М. Бенько, С. Кижаккетоттам, С. Банерджи.</i> Урбанизация и адаптация к изменению климата в прибрежной зоне Каспийского моря: проблемы и	

решения; с акцентом на Иран и Азербайджан.....	224
<i>Е.М. Акентьева.</i> Методические основы стратегий адаптации к изменениям климата в регионах России. ....	227
<i>А.М. Амирханов, Т.П. Бутылина, Н.Б. Третьякова.</i> Вклад международных проектов в области изменений климата в регионе Каспийского моря в разработку и реализацию Тегеранской конвенции. ....	230
<i>Ш.К. Аширмурадова, Ш.К. Дурдыева.</i> Подготовка специалистов по мониторингу прибрежных экосистем.....	241
<i>А. Байрамов.</i> Готов ли Азербайджан решать проблемы изменения климата?.....	243
<i>М.В. Болгов, А.Л. Бубер, О.В. Горелиц, И.В. Землянов.</i> Управление водными ресурсами Нижней Волги в условиях климатических изменений .....	245
<i>О.Я. Дурдыев, Г.Т. Шадурыеv.</i> Модернизация учебных планов вузов по геопространственным технологиям с целью обеспечения экологической безопасности прибрежных экосистем Каспийского моря.....	248
<i>Р. Гумбатова.</i> Проактивные шаги SOCAR в борьбе с изменениями климата.....	250
<i>Ш.Б. Каррыева.</i> Сохранение и эффективное управление биоразнообразием в условиях климатических изменений. ....	253
<i>Г.С. Куст, О.В. Андреева, Д.С. Шкляева, В.А. Лобковский.</i> О возможностях достижения нейтрального баланса деградации земель в странах Каспийского региона (на примере России, Казахстана, Туркменистана). ....	256
<i>Д.С. Шитлов, Е.В. Островская.</i> Повышение качества климатического обслуживания за счет автоматизации морской наблюдательной сети. ....	259

## **ПРИВЕТСТВЕННЫЕ СЛОВА**

Я хотела бы воспользоваться возможностью сердечно поприветствовать всех участников Научной конференции по изменению климата в регионе Каспийского моря, организованной КАСПКОМ и временным Секретариатом Тегеранской конвенции (TCIS). Кроме того, позвольте мне поблагодарить организаторов Конференции за то, что они собрали нас вместе на этой платформе для обсуждения одной из основных проблем современности для всего мира, какой, без сомнения, является изменение климата. Изменение климата — это серьезный кризис нашего времени, и его последствия проявляются даже быстрее, чем ожидалось. Изменение климата приобрело сегодня беспрецедентное значение в связи с резким повышением мировой температуры в последнее десятилетие. Безусловно, ни один уголок земного шара не остается незатронутым разрушительными последствиями данного явления, и в этом отношении Каспийское море не является исключением. Изменение климата — это серьезная угроза для экосистем и биоразнообразия в регионе. В самом деле, Каспийское море остается подверженным серьезным последствиям изменения климата, включая колебания уровня моря, усиление наводнений, жестокие засухи, сокращение биоразнообразия и усугубление опустынивания.

Все это привело к неизбежным социально-экономическим последствиям в прикаспийских государствах. Поэтому существует безусловная необходимость в проведении научно-технической дискуссии по различным аспектам сложившейся ситуации, чтобы выработать рекомендации, которые будут способствовать лучшей защите Каспийского моря. В данной связи настоящая Конференция намерена охватить широкий спектр тем, включая изменение климата в регионе Каспийского моря, моделирование и долгосрочное прогнозирование изменений уровня моря, воздействие изменения климата на его экосистему и биоразнообразие, а также адаптацию к изменению климата в регионе Каспийского моря. Я искренне надеюсь, что эта Конференция наряду с 25-й сессией Координационного комитета по гидрометеорологии Каспийского моря, которое состоялось 25 октября, станет эффективным и позитивным вкладом в решение приоритетной проблемы Каспийского моря, связанной с изменением климата. Более того, я надеюсь, что данная Конференция послужит надежной платформой для расширения сотрудничества в технической и научной областях. Большое вам спасибо за ваше активное участие в этой сессии, и я еще раз приветствую вас на этой Конференции, и с нетерпением жду вашего участия.

Д-р Сахар Таджбахш  
Председатель Конференции  
(перевод с английского)

### **Уважаемые участники Научной конференции!**

Я рад и польщен возможностью выступить на этой Конференции со вступительным словом от имени Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря (которая кратко называется Тегеранская конвенция).

Польщен, потому что мы уже довольно давно обсуждаем идею проведения научной конференции для региона Каспийского моря, и сегодня мы видим реализацию наших идей и амбиций. Для меня большая честь, потому что вместе с нашим партнером-организатором КАСПКОМ мы помогаем объединить знания региона о современных экологических проблемах, которые оказывают влияние на жизнь нашего нынешнего поколения и, что более важно, повлияют на жизнь поколений наших детей и внуков.

Сегодня Каспийский регион известен в основном своими углеводородными ресурсами и важными транспортными путями, соединяющими Восток и Запад. В то же время Каспийское море является домом для уникального культурного разнообразия народов, населяющих его берега; скоплением эндемичной флоры и фауны, которая обогащает наше глобальное наследие дикой природы; и геоклиматическим разнообразием, которое требует своего должного места в глобальном хранилище научных данных и исследований.

Мы собираемся в непростые времена, когда КОВИД-19 продолжает уносить жизни и бросать вызов нашему социальному и экономическому благополучию. Точно так же, как вирус находит самое слабое место в нашем организме и атакует его сильнее всего, пандемия выявила самые слабые места в нашей экономике, социальном устройстве и взглядах на будущее. Экономический кризис, вызванный пандемией, является результатом многих предыдущих десятилетий, когда экономический рост и эксплуатация природных ресурсов ставились выше устойчивости этих ресурсов и здоровья наших экосистем. В результате последствия этой пандемии планетарного масштаба серьезно обусловлены тремя кризисами планетарного масштаба: изменением климата; утратой биоразнообразия; загрязнением и отходами.

Все три этих планетарных кризиса актуальны для региона Каспийского моря, однако в центре внимания этой Конференции находится изменение климата. И это не случайно. Всего через несколько дней 26-я сессия Конференции Сторон (КС-26) РКИК ООН начнет свою работу в Глазго, Великобритания. Мы надеемся, что эта Конференция, среди прочего, будет воспринята как вклад региона Каспийского моря в глобальные дебаты о последствиях изменения климата и путях продвижения вперед.

В течение этих двух дней мы услышим множество презентаций и дискуссий о разрушительных последствиях изменения климата и путях его смягчения и адаптации в регионе Каспийского моря. Так что не мое дело и не мое намерение останавливаться на технической стороне вопроса.

Однако я хотел бы поговорить о возможностях, которые я вижу на этой Конференции.

Знания, накопленные человечеством за его историю, позволяют нам верить в нашу коллективную способность выйти из кризиса, построив лучшую жизнь, более сильную экономику, более равноправное общество и более устойчивую среду для преодоления вызовов, с которыми нам еще предстоит столкнуться.

Регион Каспийского моря является ярким примером богатства и заботы, которые природа дарит нам для удовлетворения наших повседневных потребностей и построения лучшего будущего для наших детей. Вековая промышленная эксплуатация Каспийского моря, безусловно, в значительной степени ответственна за ухудшение состояния окружающей среды, с которым мы сталкиваемся сегодня в регионе. В то же время человеческий потенциал, который развился в регионе за этот период, современные технологии и понимание долгосрочных выгод от инвестиций в природу позволяют нам нарисовать яркую картину для этого региона. Регион, активно продвигающий свою синюю экономику, строящий свою физическую инфраструктуру на основе природных решений и развивающий устойчивое к изменению климата и стабильное общество.

Чего мы ожидаем от этой конференции, так это обобщения существующих научных знаний о влиянии изменения климата в регионе, что помогло бы нам активизировать подлинное сотрудничество в масштабах всего бассейна Каспийского моря и мобилизовать ресурсы для совместной борьбы с негативными последствиями изменения климата.

Эта конференция является первой в своем роде в Каспийском регионе, поскольку она направлена на создание прочной научной основы для пятистороннего сотрудничества прикаспийских государств в пределах всего бассейна по смягчению последствий изменения климата и адаптации к нему.

Тегеранская конвенция была первым и долгое время единственным юридически обязывающим соглашением между пятью суверенными государствами Каспийского региона. Она была заключена вскоре после распада Советского Союза, во время многих существующих разногласий между прибрежными государствами по правовому статусу Каспия и вытекающему из этого доступу к его природным ресурсам. Тот факт, что пять соседних государств проявили политическую волю к созданию общих руководящих рамок на основе сотрудничества в области охраны окружающей среды, свидетельствует о жизненно важной роли окружающей среды для развития и процветания региона.

Сегодня, когда правовой статус Каспия регулируется специальной Конвенцией, а углеводородная промышленность вывела Каспийский регион на современную геополитическую карту мира, как никогда ранее нам необходимо проявлять озабоченность и добросовестность в отношении инвестиций в сохранение и

обогащение природной экосистемы Каспийского моря для обеспечения устойчивого и процветающего будущего региона.

Тегеранская конвенция и протоколы к ней создают механизмы взаимодействия между Сторонами. Продемонстрированная всеми прикаспийскими государствами воля к совместной работе во имя более здорового и процветающего Каспийского региона является движущей силой достижения наших общих целей. Богатство научных знаний и богатое разнообразие народов и культур вокруг Каспийского моря являются ключом к успеху.

Я желаю этой Конференции успешных и продуктивных двух дней и благодарю вас за ваше внимание!

Махир Алиев,  
Координатор временного Секретариата  
Тегеранской конвенции  
(перевод с английского)

### **Уважаемые дамы и господа!**

Для меня большая честь приветствовать участников Международной научной конференции по изменению климата в Каспийском регионе по поручению Координационного комитета по гидрометеорологии Каспийского моря (КАСПКОМ).

Изменение климата – это одна из остроактуальных глобальных проблем современности. Принимая во внимание географическое положение Каспийского региона, его обширную территорию и удаленность от океана, эти изменения могут быть более ощутимы. Приведу пример: за период 1976-2020 гг. коэффициент линейного тренда среднегодовой температуры воздуха составил для Земного шара  $+0,18^{\circ}\text{C}/10$  лет, а для Каспийского региона –  $(+0,46^{\circ}\text{C}/10$  лет). Учет климатических условий и оценка их изменений необходимы для определения потенциальных последствий и принятия своевременных и адекватных мер адаптации, в конечном итоге, для обеспечения устойчивого развития региона. Именно поэтому на 24-й сессии КАСПКОМ в 2019 г. было принято решение о подготовке и проведении региональной научной конференции, посвященной этой проблематике.

Как следует из программы конференции, участникам предстоит обсудить не только изменение климата в регионе Каспийского моря, но и проблемы с ним связанные. Это, прежде всего, влияние климата на изменение уровня Каспийского моря. Последствия колебаний уровня наиболее сильно выражены в северо-восточной, мелководной части, которая относится к территории Казахстана. Также предстоит обсудить не менее важные проблемы влияния изменения климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря, а также экономические последствия климатических изменений и меры по адаптации.

Мы уверены, что данная конференция, организованная под эгидой Координационного комитета по гидрометеорологии Каспийского моря и временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря станет значимым международным событием и еще раз подчеркнет, что без привлечения информации от гидрометеорологических служб многие из актуальных задач, стоящих перед мировым сообществом, не могут быть решены.

Представительный круг участников конференции, еще раз подтверждает важность данных исследований для сохранения уникальной экосистемы крупнейшего в мире замкнутого водоема – Каспийского моря. Желаю всем успешной и конструктивной работы. Выражаю уверенность, что результаты конференции будут полезны не только правительствам прикаспийских стран, но и мировому сообществу, для принятия обоснованных решений по проблемам изменений климата и адаптации к ним в Каспийском регионе. Благодарю за внимание!

Данара Алимбаева  
Генеральный директор РГП «Казгидромет»  
Председатель КАСПКОМ

Большое спасибо за приглашение передать приветственные слова от имени ЮНЕП для этой Научной конференции по изменению климата в регионе Каспийского моря. Для меня большая честь находиться в сообществе таких выдающихся ученых и на этой важной конференции.

Мои поздравления организаторам: Координационному комитету по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (CASPCOM), временному Секретариату Тегеранской конвенции (TCIS) и всему Организационному комитету, состоящему из представителей двух организаций и пяти Прикаспийских государств.

Мы уже много слышали о значимости данного события для региона Каспийского моря и стоящих перед ним экологических проблем. Хотелось бы отметить, что наука, и преимущества научно обоснованной политики это то, к чему ЮНЕП всегда стремился и продолжает стремиться, и это то, что нам всегда необходимо иметь в виду, когда мы переходим от понимания проблем к эффективным и доказательным решениям. Больше, чем когда-либо, нам необходимо обеспечить эффективное освещение научных проблем, с которыми мы сталкиваемся. Что мы решаем проблемы изменения климата, смягчаем их последствия и адаптируемся к ним в этом чувствительном регионе планеты. ЮНЕП активно участвует в содействии скорейшему установлению углеродной нейтральности и планирует активизацию действий в течение следующих 10 лет. Действительно, мы просим все секторы и правительства прислушаться к науке и не откладывать срочные меры по обеспечению перехода к возобновляемым источникам энергии и экономике замкнутого цикла.

Эта научная конференция является первым шагом на пути к более структурированному научному сотрудничеству в регионе Каспийского моря, и я желаю Вам успехов в Вашей встрече и в обмене научными данными в регионе.

Андреа Хинвуд  
Главный научный сотрудник ЮНЕП  
(перевод с английского)

Благодарю Вас за приглашение МГЭИК выступить перед участниками Конференции по изменению климата в регионе Каспийского моря.

Как председатель органа ООН по оценке науки, связанной с изменением климата, я приветствую инициативу Сторон Тегеранской конвенции и КАСПКОМ по объединению ученых из пяти прибрежных стран Каспийского моря для обмена знаниями и лучшего понимания меняющихся климатических условий крупнейшего внутреннего водоема на Земле. Каспийское море с его уникальной и изолированной экосистемой, богатыми нефтегазовыми ресурсами и долгой историей колебания уровня воды заслуживает особого внимания в науке оценки и в устранении последствий изменения климата. Мы знаем, что в результате глобального потепления мелководные части этого закрытого водоема рискуют исчезнуть, в то время как прибрежные зоны могут утратить свою жизнеспособность в качестве двигателей экономического развития и источников эндемичного биоразнообразия.

Понимание того, как изменение климата может повлиять на условия жизни и потенциал будущего развития региона, представляется более актуальным, чем когда-либо в свете прогнозов, сделанных МГЭИК.

Эта Конференция может дополнить и обогатить работу и понимание климатических рисков и последствий, относящихся к этой важной области, охватываемой оценкой МГЭИК. Позвольте мне призвать вас не только пересмотреть, но и развить впечатляющий объем научных исследований, представленных на этой Конференции. МГЭИК будет рада оценить научные данные, представленные на этой Конференции, и рекомендации, появляющиеся по ее результатам.

Могу ли я еще раз призвать организаторов поддерживать созданную сеть ученых, способствуя также сотрудничеству МГЭИК с научным сообществом региона Каспийского моря и извлекать из этого пользу?

Я желаю вам очень успешной конференции!

Спасибо!

Хесон Ли  
Председатель МГЭИК  
(перевод с английского)

## РЕКОМЕНДАЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Участники Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря», состоявшейся 27-28 октября 2021 г. под эгидой Координационного комитета по гидрометеорологии Каспийского моря и временного Секретариата Тегеранской конвенции,

Принимая во внимание изменения климата, происходящие в регионе Каспийского моря и выражающиеся в:

- повышении температуры воздуха,
- снижении водного стока рек,
- увеличении испарения с поверхности водных объектов в бассейне моря,
- снижении уровня моря,
- изменении ледового режима;

Признавая необходимость укрепления международного сотрудничества между Прикаспийскими государствами в решении проблем изменчивости и изменения климата;

Поддерживая реализацию Цели устойчивого развития (ЦУР)–14 «Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития»;

Признавая растущую потребность в изучении и устранении взаимосвязанных последствий урбанизации и изменения климата, связанных с колебаниями уровня моря, засухой и нехваткой воды, для обеспечения долгосрочного экономически устойчивого и экологически обоснованного управления прибрежными зонами Каспийского моря;

Осознавая, что Каспийское море – это уникальный водоем со многими, только ему присущими, особенностями; наиболее известной из которых является колебание его уровня под воздействием изменения природных и антропогенных процессов;

Признавая необходимость обмена оперативной и режимной информацией о состоянии окружающей среды в целях обеспечения безопасности и устойчивого развития Каспийского региона в условиях меняющегося климата;

Учитывая, что изменение взаимосвязей, составляющих водного баланса, в особенности речного стока и испарения, оказывает наибольшее воздействие на многолетние колебания уровня моря;

Отмечая, что под воздействием климатических изменений меняются жизненные циклы и распределение уникальных эндемичных видов Каспийского моря, будут затронуты трофические сети и нарушено функционирование экосистем, что в худшем случае приведет к исчезновению многих видов,

**рекомендуют:**

В целях адекватной оценки и разработки прогноза изменений климата в регионе Каспийского моря

**1. прикаспийским государствам:**

- развивать климатическое обслуживание в регионе на базе Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО), способствовать обмену данными о климате и состоянии окружающей среды в рамках ВМО и КАСПКОМ, иных межгосударственных соглашений;
- способствовать регулярному проведению международных комплексных полевых исследований современного состояния и загрязнения морской среды и дельт рек, состояния биологических сообществ Каспийского моря, в том числе для оценки их динамики под воздействием климатических изменений;
- содействовать обмену информацией и результатами научных климатических исследований между учеными внутри региона и за его пределами, формировать и поддерживать сеть заинтересованных исследователей.

**2. научному сообществу:**

- способствовать развитию и повышению качества моделей глобального и регионального климата, включая исследование и моделирование палеоклимата и отдельных климатических характеристик, моделирование и прогноз опасных гидрометеорологических явлений;
- способствовать изучению влияния гидрометеорологических условий и изменений климата Каспийского региона на состояние морской среды, гидрофизику, гидрогеологию, гидрохимию и экологию моря, гидрологию впадающих в него рек;
- развивать методы дистанционного мониторинга и ГИС-приложений для исследования регионального климата, гидрологического и ледового режима моря и их изменений;
- продолжить исследования многолетних изменений стока рек, впадающих в Каспийское море, включая долговременные периоды повышенной/пониженной водности, а также стока тепла, наносов, стока химических веществ и влияющих на них природных и антропогенных факторов.

В целях повышения качества мониторинга, моделирования и прогнозирования уровня Каспийского моря

**1. прикаспийским государствам:**

- осуществлять контроль за изменениями основных составляющих водного баланса и гидрометеорологических характеристик Каспийского моря в рамках межправительственного Соглашения о сотрудничестве в области гидрометеорологии Каспийского моря;
- развивать научное сотрудничество в регионе в рамках разрабатываемого межправительственного Соглашения о сотрудничестве в сфере научных исследований на Каспийском море;

- способствовать регулярному обновлению Генерального Каталога уровня Каспийского моря, Каталогов температуры воды и воздуха, поверхностного стока в Каспийское море и его солёности, созданных под эгидой КАСПКОМ для оценки динамики данных параметров под воздействием климатических изменений;
- развивать сети мониторинга, особенно на восточном побережье, в прибрежных и открытых районах Каспийского моря, а также поощрять судовладельцев к добровольной регистрации гидрометеорологических параметров в открытой части Каспийского моря;
- содействовать обмену гидрометеорологической и прогностической информацией для обеспечения безопасности на море в соответствии с международными обязательствами прикаспийских государств и достигнутыми между ними договоренностями.

## **2. научному сообществу:**

- способствовать изучению влияния колебаний уровня Каспийского моря на его экологическое состояние и изменения морфометрических характеристик;
- развивать методы дистанционного зондирования для исследования уровня режима моря;
- разработать научный проект по диагностике и долгосрочному прогнозу изменения уровня Каспийского моря на основе новых результатов СМР из AR-6, и с этой целью создать целевой научный фонд, объединив усилия национальных научных фондов прикаспийских стран;
- разработать новое поколение интерактивно связанных региональных моделей «атмосфера – поверхность суши – озеро» с целью уточнения оценок испарения и получения более надежных прогнозов.

В целях сохранения и защиты экосистемы и биоразнообразия Каспийского моря

## **1. прикаспийским государствам:**

- содействовать экосистемному управлению биоресурсами Каспийского моря в качестве стратегического инструмента морского планирования для преодоления социальных и экономических последствий изменения климата и снижения уровня моря, совокупного воздействия человека, и для объединения усилий по сохранению и восстановлению морской среды на границе между сушей и морем;
- снижать антропогенную нагрузку на морские и прибрежные экосистемы, включая сокращение загрязнения морской среды из наземных и морских источников, чрезмерного выпаса скота, вырубки кустарниковой растительности, сброса коллекторно-дренажных вод, строительства различных сооружений;
- обеспечить защиту морских и прибрежных экосистем, прекращение незаконного рыболовства, а также поддержку обмена опытом и

извлеченными уроками по их реализации в Каспийском регионе;

- поддержать разработку и реализацию регионального проекта по воздействию изменения климата и адаптации к нему на морскую среду и прибрежные зоны Каспийского моря под эгидой Тегеранской конвенции в тесном сотрудничестве с международными организациями-донорами (Зеленый климатический фонд (ЗКФ), Адаптационный фонд и ГЭФ);
- способствовать региональному сотрудничеству прикаспийских стран, направленному на сохранение, воспроизводство, рациональное использование и устойчивое управление совместными биоресурсами Каспийского моря, такими как осетр, килька и каспийские тюлени, для лучшего понимания и преодоления последствий глобального потепления и изменения климата в Каспийском море;
- создать регулярное (ежеквартальное) совещание Рабочей группы по биоразнообразию в Каспийском регионе, возможно, с привлечением временного Секретариата Тегеранской конвенции;
- привести к исполнению положения статьи 6 части II Ашхабадского протокола и, прежде всего, положение (А): создать всесторонний реестр находящихся под угрозой исчезновения видов флоры и фауны; на основе реестра разработать Каспийскую Красную книгу Тегеранской конвенции для ее принятия на Конференции Договаривающихся Сторон;
- проводить систематический мониторинг естественной флоры, регулярную оценку состояния редких видов, размножения в естественных условиях и возможности культивирования на опытных участках;
- учитывать оценку экологических и климатических рисков во всех проектах по использованию природных ресурсов;
- обеспечить подготовку молодых исследователей и поддерживать существующих исследователей, обладающих опытом в области таксономии и биоразнообразия, чтобы обеспечить хорошую научную базу для решения кризиса биоразнообразия Каспия сейчас и в будущем региональными учеными;
- повышать осведомленность общественности местных сообществ Прикаспия о том, как защитить биоразнообразие Каспия в условиях изменения климата.

## **2. научному сообществу:**

- укреплять коллективные усилия в рамках регионального сотрудничества между прикаспийскими странами в проведении крупных мета- исследований, которые охватывали бы биоразнообразие, временные и пространственные масштабы изменчивости, моделирование экосистем, а также стандартизации будущих исследований (таксономических групп, методов, временного горизонта, масштаба и т. д.);
- способствовать созданию информационных систем по биоразнообразию Каспия посредством платформы IOC/IODE/OBIS;

- совместно спланировать Стандарт Прибрежной морской экологической классификации, основанный на модели СМЕCS, для стран Каспийского бассейна с целью мониторинга изменений в чувствительных и уязвимых местообитаниях в связи с вероятным ущербом от изменения климата, принимая во внимание опыт Иранского научно-исследовательского института рыболовства (IFSRI);
- использовать карты местообитаний морского дна, разработанные при поддержке Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet), для устранения пробелов в исследованиях и знаниях о текущих и будущих прогнозируемых последствиях изменения климата для экосистемы и биоразнообразия Каспийского моря, а также для принятия обоснованных решений по проблемам изменения климата в регионе Каспийского моря;
- способствовать сотрудничеству с порталом Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet) по местообитаниям морского дна в области сопоставления, разработки и составления EUSeaMap в Каспийском бассейне, в том числе при составлении крупномасштабной карты местообитаний Каспийского моря (EUSeaMap), разрабатываемой для информационного мониторинга воздействия изменения климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря;
- создать централизованную библиотеку подробных локальных карт сообществ, биоценозов, биотопов и местообитаний для всего Каспийского моря при содействии портала EMODnet по местообитаниям морского дна;
- создать каталог данных о биоразнообразии Каспийского бассейна (включая водно-болотные угодья), каталог экологических данных, что облегчило бы централизованный доступ к данным о биоразнообразии в Каспийском регионе, а также сопоставление и агрегирование существующих аспектов окружающей среды, имеющих экологическое значение для Каспийского моря;
- создать современную и обновляемую библиотеку каспийских видов, доступную для всех, поскольку правильная идентификация видов является основой для экологического мониторинга и мониторинга биоразнообразия;
- поддержать исследование влияния нового инвазивного вида *Beroe ovata*, который является естественным врагом *Mnemiopsis leidyi*, на пелагические и бентические сообщества и рыбные запасы в изменяющихся экологических условиях Каспийского моря;
- разработать показатели воздействия изменения климата на биоразнообразие Каспийского моря, которые обобщали бы эмпирические данные из программ мониторинга для анализа соответствующей нагрузки, состояния и воздействия или меры, связанные с биоразнообразием;
- разработать региональные модели для оценки влияния изменения климата на биоразнообразии Каспия, прежде всего – влияния изменения уровня моря.

В целях сохранения уникальной популяции каспийского тюленя, учитывая, что глобальное потепление климата и регрессия моря могут негативно повлиять на его численность и распространение:

**1. прикаспийским государствам:**

- уделять приоритетное внимание устранению существующих угроз, в частности, сокращению массовой смертности тюленей при незаконном рыболовстве и развитию охраняемых районов, поскольку это повысит устойчивость популяции к климатическим воздействиям;
- содействовать созданию сети охраняемых районов Каспийского моря, таких как Рамсарские угодья в рамках Тегеранской конвенции, для сохранения и восстановления численности каспийского тюленя, и укрепления международного сотрудничества;
- исключить каспийского тюленя из Соглашения о сохранении и рациональном использовании водных биоресурсов Каспийского моря, предполагающего коммерческий промысел совместных водных биологических ресурсов, к которым, согласно этому документу, в настоящее время относится и каспийский тюлень.

**2. научному сообществу:**

- изучать адаптивные реакции каспийского тюленя на быстро меняющиеся условия окружающей среды для прогнозирования будущей ситуации;
- способствовать моделированию популяции каспийских тюленей для получения количественных прогнозов последствий для демографии популяции при различных сценариях и того, как климатические процессы могут взаимодействовать с другими антропогенными факторами стресса, такими как смертность тюленей, связанная с рыболовством;
- изучить перспективы расширения альтернативных мест обитания для размножения каспийского тюленя, включая создание искусственных морских субстратов для размножения и охраняемых участков на суше.

В целях сохранения уникальной орнитофауны:

**1. прикаспийским государствам:**

- обеспечить максимально возможное сохранение водно-болотных угодий, обуславливающих кормовую базу для ресурсов водно-болотных птиц и биоразнообразия;
- способствовать планомерному развитию сети ООПТ, в том числе ВБУ международного, регионального и национального значения;
- восстановить деградированные водно-болотные угодья, в первую очередь, речных пойм и рек, впадающих в Каспий;
- инициировать создание международной рабочей группы орнитологов стран Каспийского региона для объединения усилий по изучению зимовок

водоплавающих птиц на Каспии и многолетней динамики их численности.

## **2. научному сообществу:**

- продолжать учеты и мониторинг водоплавающих птиц с привлечением всех стран региона;
- оценить вклад климатических факторов в деградацию местообитаний водно-болотных птиц Каспийского региона;
- подготовить коллективную монографию: «Динамика биоразнообразия (на примере водно-болотных птиц) на фоне изменения климата в Каспийском регионе».

В целях минимизации негативных последствий и адаптации к изменению климата в регионе Каспийского моря

## **1. прикаспийским государствам:**

- разработать национальные и региональные планы адаптации к изменению климата;
- обеспечить тесное взаимодействие специалистов гидрометслужбы, академической и ведомственной науки и потребителей климатической информации в различных отраслях экономики, природопользования, социальной сферы, включая лиц, принимающих решения, при разработке и реализации всех стадий адаптационного процесса;
- укреплять трансграничное сотрудничество в рамках существующих соглашений (КБР/CBD, Тегеранская конвенция, Рамсарская/Ramsar, CMS и др. конвенции, АЕWA и фонды, инициативы);
- принять на региональном уровне Программу мониторинга окружающей среды, основанную на общепринятых целях и стандартах качества воды и поддерживаемую хорошо развитой сетью морских наблюдений, в качестве средства и инструмента для разработки политики и принятия решений в соответствующих региональных органах, в частности на Конференции Договаривающихся Сторон Тегеранской конвенции и КАСПИКОМ;
- включить вопросы влияния изменения климата на уязвимые экосистемы и биоразнообразии региона Каспийского моря в международные и национальные планы и программы по снижению рисков бедствий (GNDR);
- содействовать расширению сети охраняемых территорий и созданию новых морских особо охраняемых природных территорий и объектов (ООПТ);
- способствовать усилению охранных мероприятий и устойчивому управлению номинированных территорий ЭБЗР/ЕБСА (Экологически и/или биологически значимых районов) в Каспийском море;
- способствовать созданию пространственно-динамических охраняемых районов с учетом изменений важных местообитаний из-за изменения климата и регрессии уровня моря;

- разрабатывать соответствующие согласованные меры и процедуры по смягчению последствий колебаний уровня Каспийского моря;
- проводить оценку уязвимости прибрежных территорий к нестабильности уровня Каспийского моря для планирования адекватных адаптационных, защитных и восстановительных действий;
- способствовать комплексному управлению прибрежной зоной Каспийского моря, в качестве инструмента устранения зон повышенного экологического риска в условиях колебаний уровня Каспийского моря на основе регионального сотрудничества стран региона;
- предусмотреть в рамках реализации основных положений Тегеранской конвенции работы по Морскому пространственному планированию (maritime spatial planning) – разработку и ввод в действие государственных и трансграничных Морских планов (в качестве примера - Директива 2014/89/ЕС «О создании основы для планирования морских пространств» от 23 июля 2014 года);
- обеспечить разработку производителями нефти и газа в регионе Каспийского моря стратегий развития с низким уровнем выбросов, с применением новых и инновационных мер и технологий по сокращению выбросов на всех стадиях цикла добычи нефти и газа, в том числе при поддержке соответствующего согласованного законодательства;
- уменьшить зависимость от ископаемого топлива в нефтегазодобывающих регионах Каспийского моря и его прибрежных зонах посредством скоординированных исследований и эксплуатации подходящих возобновляемых источников энергии и мер по адаптации и внедрению полностью окупаемого промышленного и бытового оборудования;
- укреплять региональное и международное сотрудничество прикаспийских стран, включая реализацию международных проектов, проведение совместных научных исследований в области оценки влияния колебаний уровня Каспийского моря на морскую и прибрежную экосистемы, а также по смягчению последствий колебания уровня моря;
- повышать осведомленность прибрежного населения, начиная с дошкольного возраста, о Каспийском море, его животном мире, истории, экологических условиях, вызовах и угрозах здоровью моря и его прибрежных зон с целью развития бережного отношения к природе, выработки бытовых привычек, не наносящих урон Каспийскому морю и его побережью.

## **2. научному сообществу:**

- проводить исследования зависимости эффективности рыболовства и сельского хозяйства от гидрографов водосборных бассейнов рек, впадающих в Каспийское море, чтобы обеспечить оптимальное регулирование режимов их работы в целях устойчивого развития;
- поощрять обновление и внедрение новых исследований и предметов в учебные программы студентов, в целях максимального повышения

человеческого потенциала в прибрежных государствах для устранения экономических, социальных и экологических последствий изменения климата; с этой целью было бы целесообразно разработать межгосударственную программу академического обмена и базу данных;

- создать сеть заинтересованных ученых и экспертов по различным аспектам биоразнообразия, гидрологии и климатологии Каспийского моря (база данных региональных экспертов под эгидой Секретариата Тегеранской конвенции) для участия в будущих региональных проектах.

## **Секция 1**

# **Климат региона Каспийского моря и его изменения в 21 веке**

## **Международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря»**

27-28 октября 2021 г.

### **СЕКЦИЯ 1**

#### **Вступительное слово**

**С.А. Долгих**

Работа первой секции Научной конференции по изменению климата в регионе Каспийского моря была посвящена исследованиям различных аспектов климата региона и его изменений.

Всего заслушано 11 докладов представителей всех стран Прикаспийского региона, аудитория составляла около 50 участников.

По данным ВМО 2020 год стал одним из трех самых теплых лет в истории наблюдений – глобальная средняя температура составила примерно 14,9°C, что на 1,2°C выше доиндустриального (1850-1900 гг.) уровня. Последние 10 и 5 лет стали самыми теплыми за всю историю наблюдений. Как было показано во многих докладах, современный климат Прикаспийского региона, так же, как и глобальный, претерпевает значительные изменения.

Основные черты изменения климата в регионе за последние 45 лет – это повышение приземной температуры воздуха и разнонаправленное и, как правило, незначительное изменение количества осадков. Так, скорость изменения средней годовой температуры и температуры зимнего сезона составляет 0,4-0,6°C/10 лет, температура весеннего сезона повышается на 0,4-0,7°C/10 лет, летнего сезона – на 0,5-0,7°C/10 лет и осеннего сезона – на 0,2-0,5°C/10 лет. Диапазон изменения количества осадков по региону в зимний и осенний сезоны и в целом за год составляет за 10 лет от -5 до +5% (процентах нормы за 1961-1990 гг.), от -5% до +10% в весенний сезон. В летний сезон количество осадков либо не изменяется, либо уменьшается, местами до 15% за 10 лет.

Кроме повышения средней годовой и сезонных температур, в температурном режиме региона произошли также следующие наиболее заметные изменения:

- увеличение количества дней с температурой выше 90-го перцентиля, жарких

дней с температурой воздуха выше 30 °С, количества и продолжительности волн тепла;

- сокращение количества дней, когда суточный минимум температуры воздуха опускался ниже 0°С и ниже –2°С, что сказывается на ледовых условиях на поверхности Каспийского моря;
- увеличение повторяемости так называемых тропических ночей, когда ночные температуры не опускаются ниже 20°С, вследствие чего организм человека не успевает отдохнуть от дневной жары;
- увеличиваются продолжительность вегетационного периода со средней суточной температурой выше 10°С и суммы температур за этот период.

Уже заметны последствия изменения климата.

На большей части территории региона заметно усиление засушливости. В некоторых регионах зафиксировано увеличение числа дней с сильными осадками, что свидетельствует об активизации конвективных процессов, в том числе за счет повышения температуры морской поверхности и изменения в характере атмосферной циркуляции. Интенсивные осадки уже привели к ряду проблем, особенно в г. Баку, в том числе к затоплению улиц и тоннелей, к подъему уровня грунтовых вод. Значительно упал уровень Каспийского моря. Площадь водной поверхности моря сократилась на 22.3 тыс. км<sup>2</sup>, в основном за счет мелководной северо-восточной части.

Для акватории Северного Каспия характерно возникновение нагонных явлений, особенно с ноября по март и в основном при двух типах циркуляции: при установлении сибирского антициклона и при вторжении циклонов, когда усиливаются барические контрасты и, соответственно, ветер над поверхностью моря.

Наблюдается совместное воздействие климатических изменений и антропогенных факторов на гидрологический режим дельты Волги. Увеличился зимний сток реки, уменьшился сток в половодье, уменьшается общая продолжительность ледовых явлений и продолжительность ледостава. Изменение ледового режима дельты Волги не может не отразиться на экологических системах дельты.

По данным Шестого оценочного доклада МГЭИК (ОД6 МГЭИК) глобальное потепление на 1,5°С и 2°С будет превышено в 21 веке, если в ближайшие десятилетия не произойдет значительного сокращения выбросов углекислого газа (СО<sub>2</sub>) и других парниковых газов.

Проекции климата на перспективу до нескольких десятилетий указывают на дальнейшее значительное потепление в Прикаспийском регионе. При повышении глобальной температуры на 2°С в соответствии со сценарием SSP5-8.5 в регионе можно ожидать следующие изменения в характеристиках климата:

- повышение средней годовой температуры на 2,5...3,5°С, увеличение количества дней с максимальной температурой выше 35°С на 5-37 дней;

- изменение годовых осадков от минус 5 до плюс 10%, осадков зимнего сезона – от минус 2 до плюс 13%, при этом вероятно уменьшение осадков летнего сезона на 10-25%.
- с увеличением уровня потепления увеличатся интенсивность и частота выпадения сильных осадков;
- средняя скорость приземного ветра снизилась (высокая степень достоверности) и будет продолжать снижаться (средняя степень достоверности);
- сезонная продолжительность снежного покрова еще больше сократится к середине 21 века (высокая достоверность).

По данным озвученных на секции докладов, в регионе вероятно увеличение повторяемости пыльных бурь за счет пыли с обнажившегося дна Каспийского моря. Толщина льда на море будет уменьшаться, возрастет вероятность безледных условий. При этом существует большая неопределенность в оценках будущего стока р. Волги, обеспечивающей значительный приток воды в Каспийское море.

Свидетельства так называемого климатического события 4.2, наблюдаемого в кернах, собранных в бассейне Южного Каспия, указывают, что резкое изменения климата могли быть причиной краха многих цивилизаций в прошлом. Наблюдаемое сейчас беспрецедентное изменение климата может также привести к существенным социальным изменениям во многих регионах земного шара, включая Каспийский регион.

В результате работы секции был предложен ряд рекомендаций для научного сообщества по активизации комплексных исследований климата Каспийского региона и развитию климатического обслуживания в регионе на основе глобальной рамочной основы климатического обслуживания (ГРОКО).

## **Гидрохимия и экология водной среды Туркменской прибрежной зоны Каспийского моря**

*М.А. Атабаев, Ч.А. Кулиев*

Педагогический институт имени Сейитназар Сейди, Туркменабад, Туркменистан

*e-mail: mrdntbw@gmail.com*

Борьба против всеобщего потепления климата, охрана окружающей среды, улучшения экологии стали проблемой глобального масштаба. Проблемы экологии Каспийского моря тоже входят в ряд таких проблем. Исследования вопросов гидрохимического состава водной среды Каспия обусловлены всевозрастающей социальной, экономической, культурной и экологической ролью моря.

Каспий омывает западную часть территории Туркменистана. В результате использования морских вод туркменского побережья в целях производства соли, в районах Гувлыдуз, Гарабогаз образовались залежи соли. Отходы данных промышленных объектов оказывают свое влияние на водно-солевой баланс моря.

На основе нашего исследования изучены изменения в гидрохимическом составе вод Каспия, происходившие по соответствующим кварталам, годам 2016-2018 гг. в таких пунктах туркменского побережья как Гарабогаз, Гьянлы, Аваза, Туркменбаши, Хазар, Эсенгулы. В работе применены общие методы анализа гидрохимического состава водной среды. На основе полученных результатов характеризуются благоприятствующие уровни минерального состава вод для обитания рыб туркменского побережья Каспия.

В годы исследования средняя соленость моря составляла 13,8 г/л. Этот показатель в восточном направлении постепенно повышается и достигает 14,1 г/л. В летнее время на поверхности воды и на прибрежном мелководье уровень солёности повышается. Значительное повышение солёности воды Каспия сближает его с Черным морем. Такое явление создает опасность проникновения в Каспий паразитов (например, гребневиков), обитающих в Черном море.

Под влиянием стока речных вод в море уменьшается количество хлоридных ионов. Увеличивается количество ионов кальция (370 мг/л), карбонатов (22 мг/л), сульфатов (3500 мг/л), а суммарное количество ионов натрия и калия (3460 мг/л), магния (750 мг/л), гидрокарбонатов (210 мг/л) изменяется незначительно. На восточном побережье Каспия зафиксировано превышение ионов хрома (1,9 мкг/л), свинца (26,1 мкг/л), мышьяка (44 мкг/л) от среднего уровня по морю, а также превышение принятых норм кальция, сульфатов и стронция (18,36 мкг/л).

Геологическое расположение Каспийского моря на высокоминеральном «красно-цветном» термальном слое, приводит к проникновению в море солевых потоков извне и усложнению гидрохимического состава морских вод. Последовательное

уменьшение стока рек в Каспийское море вследствие всеобщего потепления климата является причиной снижения уровня воды в нем. При снижении уровня, увеличивается соленость морских вод, усиливается проникновение в море высокоминерализованных подземных термальных вод. Это значительно воздействует на экологию водной среды, создает угрозы биологическим сообществам, поэтому должно обязательно учитываться при разработке мероприятий по сохранению биоразнообразия Каспийского моря.

Перевод с английского

## **Реконструкция изменений климата в юго-восточной части Каспийского моря**

*Х. Багери, К.Д. Бастами, А. Хамзепур*

Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук (INIOAS), Тегеран,  
Иран

*e-mail: bagheri1@gmail.com*

Реконструкция прошлых изменений климата может предоставить нам ценную информацию о времени, масштабах и деталях климатических изменений. Для реконструкции позднечетвертичных климатических условий используются различные методы палеомагнетизма, палеонтологии и др. Одним из таких методов является использование стабильных изотопов углерода и кислорода, предоставляющих особенно ценную информацию о температуре осадочных пород, температуре их диагенеза, изменениях температуры в породах различного диагенеза с выделением отдельных областей с разным содержанием карбонатов. Учитывая значимость залива Горган и тот факт, что в этом регионе не было проведено много исследований, касающихся долгосрочного изменения климата, в этом исследовании мы попытались использовать различные данные, полученные из осадочных кернов, собранных в юго-восточной части Каспийского моря (залив Горган). Изменения температуры и условия окружающей среды региона в позднем четвертичном периоде должны быть изучены и реконструированы.

Залив Горган площадью более 400 км расположен в юго-восточной части Каспийского моря (36°48'N, 53°35'Е и 36°55'N, 54°03'Е, 60 км×12 км, максимальная глубина 4 м). Залив Горган образовался в период голоцена на песчаной косе, которая называется прибрежной барьерной системой Мианкале. Он соединен с Каспийским морем через пролив Ашораде-Бандар Торкаман (Чапаглы), который расположен в северо-восточной части залива. На этот залив в основном влияют процессы, происходящие в его бассейне. На водный баланс в заливе Горган влияет приток пресной воды из ряда небольших рек и ручьев, в том числе Горганруд с севера и КарехСу с востока. Эти две реки отводят стоки из жилых и сельскохозяйственных районов в залив.

При этом для реконструкции позднечетвертичных климатических условий осадочный керн (N1) был отобран из залива Горган с помощью гравитационного пробоотборника. Керн сначала был исследован на магнитную восприимчивость (МВ). После нарезки керна и отбора проб определенных размеров, использовался лазерный анализатор размера частиц (Horiba LA-950) для анализа фракций грунта. Также для определения общего содержания органического вещества (COB) использовался метод определения потерь при прокаливании (L.O.I). Для этих целей часть каждого образца (около 3 г) помещали в тигель и нагревали при 550°C в течение 5 часов, после чего фиксировали процентное содержание органического материала в пробе.

Для измерения содержания карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ , %) более крупные частицы грунта удаляли вручную, а оставшиеся осадки помещали в муфельную печь (Excitation, EX.1200-12L) на 1 час при  $950^\circ\text{C}$ . Для датирования  $^{14}\text{C}$  в лабораторию в Познани, Польша, было отправлено в общей сложности 3 образца органического вещества, анализ стабильных изотопов кислорода и углерода был проведен на недигенетических и незначительно дигенетических бентических фораминиферах (*Ammonia Beccari*) с помощью масс-спектрометра в лаборатории Уинсора, Канада. Палеотемпература морской воды оценена на основе значений  $\delta^{18}\text{O}$  для морской воды и ее аналога в арагоните.

Размер зерен был очень разным – от песка до глины. Керна N1 состоит из 39 песчано-илистых фаций, 28 илистых фаций, 9 илисто-песчаных фаций, 9 фаций гравийно-песчаной грязи, 3 фаций гравийно-илистого песка и 1 фации гравийного песка. Максимальное и минимальное содержание песка было зафиксировано на 617 и 690 см керна (80,27% и 0%) соответственно, в то время как наибольшее содержание ила и глины было на уровне 138 и 416 см (99,45% и 8,95%) соответственно. Наименьшее содержание ила наблюдалось на уровне 626 см (7,23%). Среднее содержание песка, ила и глины в этом керне составляло 25,13%, 72,52% и 1,56% соответственно.

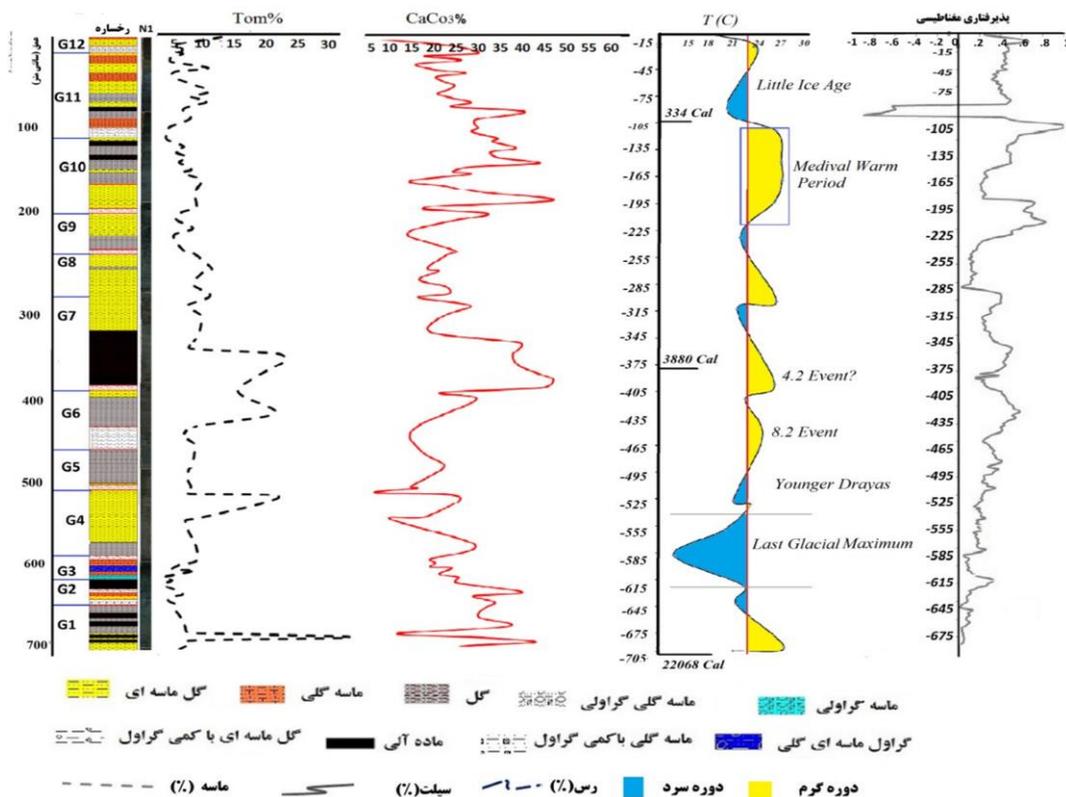


Рис. 1. Реконструкция теплых и холодных периодов с использованием осадочных фаций, температуры и магнитной восприимчивости за последние 22000 лет

Результат магнитной восприимчивости показал тесную взаимосвязь между распределением частиц по размерам и величиной МВ из-за изменения наземного притока, которое вызвано колебаниями уровня моря в разное время. Этот процесс

усиливается с увеличением размера частиц и диапазонов МВ одновременно с понижением уровня моря и ослабевает при повышении уровня моря.

Диапазон содержания кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и изотопа углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) составлял от -4,22 до -1,17‰ и от 2,66 до -0,94‰ со средним значением 3,34 и -2,11‰ соответственно. Согласно результатам углеродного датирования (датировка  $^{14}\text{C}$ ), возраст отложений в N1 достиг 22070 лет. Скорость осаднения в кернах варьировала от 0,57 до 3 мм. Реконструкция палеотемпературы воды по стабильным изотопам показала, что максимальная температура, зарегистрированная в керне, была получена на уровне 144 и 686 см (27,4 и 27,1°C), а минимальная температура – на уровне 450 см (13,7°C). Средняя температура, по данным этого керна, составляла 22,2°C. Основываясь на результатах возраста  $^{14}\text{C}$  и стабильных изотопов, 15-градусные изменения температуры произошли в течение примерно 22 000 лет, соответственно, было выявлено семь теплых и холодных периодов, самым холодным периодом из которых является последний ледниковый максимум (Wurm) с температурой 13,7°C. Самые высокие температуры относились к доледниковому и нынешнему периодам (около 27°C). Более того, данные седиментологии и магнитной восприимчивости подтвердили вышеуказанные результаты.

## **Климатические условия Нижней Волги и северной части Каспийского моря за прошедший 24-й и наиболее вероятные изменения в начавшемся 25-м и следующем 26-м циклах солнечной активности**

*П.И. Бухарицин*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Астрахань, Россия

*e-mail: astrgo@mail.ru*

### **Циклы солнечной активности**

Солнечная активность – регулярное возникновение в атмосфере Солнца характерных образований: солнечных пятен, факелов в фотосфере, флоккулов и вспышек в хромосфере, протуберанцев в короне. Области, где в совокупности наблюдаются эти явления, называются центрами солнечной активности. В солнечной активности (росте и спаде числа центров солнечной активности, а также их мощности) существует приблизительно 11-летняя периодичность (цикл солнечной активности). Солнечная активность влияет на многие земные процессы, в том числе на климат.

Влияние цикличности процессов солнечной активности на климат Земли установлено более двух веков назад, и сейчас никем не оспаривается.

Для характеристики солнечной активности, в 1849 году директор Цюрихской обсерватории Р. Вольф предложил условную единицу (число Вольфа) – количество солнечных пятен. В оптическом диапазоне индикатором солнечной активности является усредненное число пятен.

Была установлена связь 11-летних циклов с гидрометеорологическими явлениями на Земле. Так, самые сильные наводнения в С.-Петербурге приходятся на начало восходящей ветви солнечного цикла с запозданием на один год после минимума (1824, 1924, 1955 гг.).

Кроме того, были установлены и более продолжительные циклы:

- **22-летние циклы (Хойла).** При переходе от одного 11-летнего цикла к другому меняется полярность головного и хвостового солнечных пятен в каждом полушарии. Это позволило Хойлу выделить 22-летние циклы, каждый из которых состоит из четного и нечетного 11-летних.
- **«Вековые» циклы.** А.П. Ганский выделил 80-летние циклы солнечной активности, которые были названы «вековыми». В 1939 году Глейсберг рассчитал продолжительность вековых циклов примерно в 78 лет, в 1956 году уточнил – 78.8 года. Существование «вековых» циклов подтвердил М.Н. Гневнышев [6].
- **190-летние циклы («индиктион»).** В 1948 году Л.Л. Предтеченский установил цикл солнечной активности продолжительностью 190 лет, который

был назван «индиктионом» - возвращающийся. По расчетам Андерсона индиктион состоит из двух полупериодов: 88 и 81 год, всего 169 лет. По расчетам Д.А. Бонова, с учетом магнитных свойств 11-летних циклов, индиктион состоит из восьми 22-летних циклов и длится 176 лет [2]. Во второй половине XVII века на Земле наблюдалось общее похолодание (малый ледниковый период) (рис. 1).

Анализ температурного режима по г. Астрахани за период с 1836 по 2016 год хорошо согласуется с расчетами Д.А. Бонова [2]. Влияние солнечной активности на климатические характеристики носит региональный характер, и проявляется в усилении атмосферных процессов в одних регионах и их ослаблении в других. Изменение климата по побережью и акватории Северного Каспия имеют однонаправленный характер. Так, температурный режим по данным МС Астрахань, Тюлений, Кулалы, Ганюшкино, Атырау, Пешной, Форт-Шевченко за 1938-2003 гг. изменяется синхронно и синфазно. Периоды резкого изменения температуры воздуха наступают одновременно и имеют один тренд – повышение или понижение [3].

Имея данные наблюдений за температурой воздуха по МС Астрахань с 1836 г., стало возможным выявить особенности температурного режима на протяжении с 8-го по 23-й одиннадцатилетний цикл солнечной активности и распространить их на весь северо-каспийский регион.



Рис. 1. В оптическом диапазоне индикатором солнечной активности является усредненное число солнечных пятен. На графике четко прослеживаются квази 11-летние циклы и периоды резкого снижения солнечной активности, когда Солнце как бы «засыпает»

#### **Анализ температурного режима показывает:**

Прошедший 23-й 11-летний солнечный цикл (1996-2009 гг.) стал в северо-каспийском регионе самым теплым за все годы наблюдений – средняя годовая температура воздуха  $+10,8^{\circ}\text{C}$  (при норме  $+9,6^{\circ}\text{C}$ ), средняя температура холодного сезона  $-0,2^{\circ}\text{C}$  (при норме  $-2,3^{\circ}\text{C}$ ). Вероятно, пик очередного повышения температуры воздуха, связанного с изменениями солнечной активности, пройден. Это

подтверждается и изменениями в режиме увлажнения. Наблюдавшийся в 1990-2000 гг. резкой рост годовой суммы осадков, сменился ее уменьшением.

Следующий за ним 24-ый **четный** цикл солнечной активности начался в декабре 2008 г. и продлился примерно до середины 2020 г. Общая продолжительность цикла составила  $11,8 \pm 0,7$  лет. Основной максимум солнечной активности был в первой половине 2011 г. Характерное для четных 11-летних циклов понижение атмосферного давления в полярных областях в периоды повышения солнечной активности, как правило, приводит к смещению центра арктического антициклона к северо-востоку. Атлантические циклоны, формирующиеся во влажном морском воздухе, и проходят севернее обычного, что, в целом, приводит к уменьшению количества осадков в бассейнах Волги и Камы и уменьшению годового стока реки Волги в Каспийском море.

Столь значительные прогнозируемые изменения климатических и гидрологических условий, безусловно, должны были негативно сказаться на деятельности всех, без исключения, отраслей народного хозяйства не только Астрахани, Астраханской области, но и всего северо-каспийского региона. Это привело к значительным дополнительным материальным затратам как в теплые, так и в холодные сезоны рассматриваемого периода.

В северо-каспийском регионе увеличилась антициклоничность климата под влиянием гребня Азорского и Сибирского антициклонов. Погода стала засушливее, количество осадков уменьшилось. Континентальная арктическая воздушная масса, в которой формируется Сибирский антициклон, в результате интенсивного радиационного выхолаживания в зимний сезон года определяло резкие понижения температуры воздуха.

Усиление меридиональной формы циркуляции атмосферы в периоды максимумов солнечной активности привело к еще большему понижению температуры воздуха в зимний сезон за счет вторжения арктического воздуха по нормальной полярной и ультраполярной осям. В большей степени это коснулось восточной части Северного Прикаспия.

Средняя годовая температура воздуха в 24-ом цикле составила около  $9^{\circ}\text{C}$ , что на  $0,6^{\circ}\text{C}$  ниже многолетней нормы и на  $1,8^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в 23-ом цикле (1996-2007 гг.). Понижение среднегодовой температуры произошло за счет резкого снижения температуры холодного сезона года (ноябрь-март) от  $-3,0$  до  $-3,5^{\circ}\text{C}$ , что на  $0,7-1,2^{\circ}\text{C}$  ниже нормы и на  $3,0-3,5^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в 1996-2007 гг.

Таким образом, 24-ый четный одиннадцатилетний цикл солнечной активности по Астраханской области и всему Северному Каспию характеризовался засушливыми, с малым количеством осадков летними периодами, повторяемостью довольно холодных зим и сильными восточными ветрами. Общее снижение количества осадков по Волго-Камскому бассейну привело к уменьшению объемов годового стока реки Волги, к низким весенним половодьям, уменьшению до критических значений глубин в летнюю и зимнюю межень и общему снижению уровня Каспийского моря.

Усиление континентальности климата региона отразилось на сельском хозяйстве, водном транспорте, затронуло рыбную отрасль. В летние месяцы происходило интенсивное цветение воды в водоемах Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. От недостатка воды происходило массовое пересыхание малых и средних водотоков в пойме и дельте Волги. Особенно этому были подвержены водоемы района западных подстепных ильменей (ЗПИ).

Потребовалось выполнение дополнительных объемов дноуглубительных, мелиоративных работ, реконструкции многих существующих прибрежных морских и речных гидротехнических сооружений и объектов. Возросли расходы жилищно-коммунального комплекса на обеспечение водой населения, особенно в периоды летне-осенней межени, и на отопление жилых, служебных и производственных помещений в холодные сезоны. Значительно возросло потребление электрической и тепловой энергии, различных видов топлива [1].

Понижение уровня Каспийского моря в первую очередь сказалось на его мелководной, северной части. В летние, жаркие сезоны это привело к интенсивному прогреву и испарению воды с обширных мелководий Северного Каспия, возрастанию солености морской воды до опасных значений, возникновению обширных зон с гипоксией. Возросла повторяемость и интенсивность опасных сгонов воды, что приводило к массовым простоям судов в морской части ВКМСК, особенно в зимние периоды, при наличии дрейфующих льдов [5].

#### **Анализ многолетнего температурного режима (1836-2016 гг.) и предварительный климатический прогноз на 25–26 солнечных циклы**

Международное сообщество климатологов разделилось на две группы. Одни считают, что на земном шаре установился режим глобального потепления. Тренд глобального потепления имеет необратимый характер и определяется антропогенными факторами. Предлагается принять срочные меры по резкому сокращению выбросов в атмосферу промышленных газов, чтобы избежать резкого потепления климата и катастрофического повышения уровня Мирового океана.

Другие считают, что изменения температурного режима носят циклический характер и определяются цикличностью процессов солнечной активности и связанного с этим изменения угловой скорости вращения Земли. Предполагается, что солнечная активность вступила в фазу резкого снижения. Прогнозируется, примерно с 2030 года, начало фазы Маундера (почти полное отсутствие солнечных пятен) и связанного с этим нового малого ледникового периода.

Анализируя температурный режим Астрахани, приходим к однозначному выводу о цикличности его изменений, связанных с естественными причинами. Холодные и теплые периоды, выявленные по наблюдениям в Европе, хорошо согласуются с 11-летними циклами солнечной активности и подтверждаются данными наблюдений в г. Астрахани (табл. 1).

Наиболее холодными являются четные 11-летние циклы, наиболее теплыми – нечетные. Цикличность холодных периодов 89 лет, теплых – 88 лет.

Таким образом, цикличность холодных и теплых периодов, как в Европе, так и в Астраханском регионе, в частности, соответствует «вековым» циклам солнечной активности, рассчитанным Д.А. Боновым [2].

Таблица 1. Средние температуры воздуха холодных и теплых периодов в Астрахани

Период	Продолжительность, гг.	№ 11-летнего цикла	Средняя температура цикла
Холодный	1746-1756гг.	0	-
	1833-1843гг.	8	8.8
	1923-1933гг.	16	9.0
Умеренно холодный	1766-1775гг.	2	-
	1855-1867гг.	10	9.0
	1944-1954гг.	18	9.2
Теплый	1823-1833гг.	7	-
	1913-1923гг.	15	10.0
	1996-2007гг.	23	10.8
Умеренно теплый	1810-1823гг.	6	-
	1902-1913гг.	14	9.5
	1986-1996гг.	22	10.2

### **Особенности температурного режима солнечных циклов**

По данным наблюдений за температурой воздуха по МС Астрахань с 1836 года, был проанализирован температурный режим на протяжении VIII-XXIV одиннадцатилетних солнечных циклов.

Анализ данных этих таблиц позволяет сделать следующие выводы:

Четко просматривается двоичная система в структуре солнечных циклов от 11-летних до «индиктиона»:

- 11-летний цикл состоит из двух 5.5-6.0-летних.
- 22-летний цикл состоит из двух 11-летних.
- два 22-летних цикла составляют полупериод «векового» цикла.
- «вековой» цикл состоит из двух полупериодов.
- «индиктион» состоит из двух «вековых» циклов и т.д.

### **Предварительный прогноз 25-го солнечного цикла**

Ученые, которым поручено прогнозирование активности Солнца в течение следующего 25-го 11-летнего солнечного цикла, говорят, что он, вероятно, будет слабым, очень похожим на прошедший 24-й (рис. 2).

Эксперты группы прогнозирования 25-го солнечного цикла говорят, что новый солнечный цикл имеет медленный старт. Период наибольшей солнечной активности (солнечный максимум) ожидается между 2023 и 2026 годами с диапазоном солнечных пятен от 95 до 130. Это значительно ниже среднего числа солнечных пятен, которое обычно колеблется от 140 до 220 за солнечный цикл. Эксперты уверены, что начавшийся 25-й цикл должен сломать тенденцию ослабления солнечной активности, наблюдаемую последние четыре цикла. «Мы ожидаем, что 25-й солнечный цикл будет очень похож на 24-й: еще один довольно слабый цикл, которому предшествует длинный, глубокий минимум», — говорит сопредседатель группы д-р Лиза Аптон, специалист по физике Солнца из «Space Systems Research Corporation».

Ожидаемые климатические условия на 25-й солнечный цикл (с 2021-2022 гг. по 2032-2033 гг.). Первые два года холоднее нормы. Сумма средних температур календарной зимы ниже  $-20.0^{\circ}\text{C}$ . Далее, к пику активности цикла, повышение средней годовой температуры выше нормы ( $10.5-11.0^{\circ}\text{C}$ ) и к концу цикла вновь устойчивое понижение температуры. Колебания средних температур будут определяться их колебаниями в период ноябрь-март. В начале и конце цикла раннее установление ледового покрова в дельте Волги и на Северном Каспии [4].

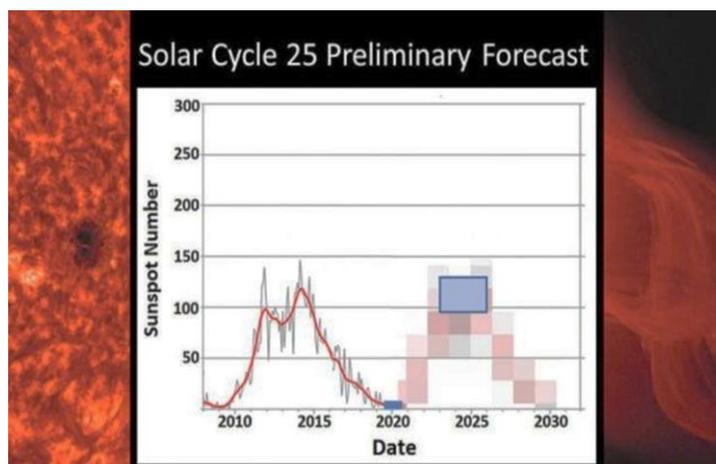


Рис. 2. Прогноз 25-го солнечного цикла. Земля приближается к очередному малому ледниковому периоду

### Прогноз на 26 солнечный цикл (2023-33 гг. по 2043-44 гг.)

Начало фазы Маундера и наступление малого ледникового периода.

Преобладающий синоптический процесс: азиатский (сибирский) антициклон или его гребень. Экстремально малое количество осадков. Продолжительные и сильные ветры восточной четверти. В теплый сезон года пыльные бури и суховеи. Тяжелая ледовая обстановка на Северном Каспии в период декабрь- март.

Влияние солнечной активности на климатические характеристики носит региональный характер, усиливая атмосферные процессы в одних регионах и ослабляя в других. Изменение климата по побережью и акватории Северного Каспия имеют однонаправленный характер. Так, температурный режим по данным МС

Астрахань, Тюлений, Кулалы, Ганюшкино, Атырау, Пешной, Форт-Шевченко за 1938-2003 гг. изменяется синхронно и синфазно.

Периоды резкого изменения температуры воздуха наступают одновременно и имеют один тренд – повышение или понижение. С учетом коэффициента корреляции прогноз погоды, составленный для Астрахани, можно распространить и на Северный Каспий.

Для устойчивой и регулярной работы Волго-Каспийского канала в этот период потребуется резко увеличить состав ледокольного флота на Северном Каспии. Без создания специализированной системы гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на Нижней Волге и в замерзающей северной части Каспия, обеспечение ритмичной работы ВКМСК и навигации на Северном Каспии будет невозможно [4].

### **Заключение**

Все, изложенное выше, является научными предположениями, основанными на фактических многолетних гидрометеорологических данных и прогнозах в области исследований солнечно-активных связей. Но технологии не совершенны, много неизученных и невыявленных факторов и связей. Однако другой альтернативы на сегодня нет, поскольку в настоящее время традиционными методами гидрометеорологической службе прогнозы на такие длительные периоды не по силам. Следует отметить, что предсказанные ранее последствия влияния прошедшего 24-го цикла солнечной активности на климатические условия в Северо-Каспийском регионе за период с 2006 по 2017 г. практически полностью оправдались.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Андреев А.Н., Бухарицин П.И. Вековые колебания солнечной активности и ожидаемые климатические изменения в Северо-Каспийском регионе // Геология, география и глобальная энергия. 2010. №1 (36). С.79-87.
2. Бонов А.Д // Солнечные данные. 1969. № 2. С. 93-95.
3. Бухарицин П.И., Андреев А.Н. Ритмы солнечной активности и ожидаемые экстремальные климатические события в Северо-Каспийском регионе на период 2007-2017 гг. // Труды Международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе» (Москва, 19-20 октября 2006 г.). М., 2006. С. 137-143.
4. Бухарицин П.И., Андреев А.Н., Бухарицин А.П., Султанова Э.Э. Влияние изменений солнечной активности в период очередных 25 и 26-го циклов на климатические условия на нижней Волге и в северной части Каспийского моря // Всероссийская научная конференция с международным участием «Земля и космос» к столетию академика РАН К.Я. Кондратьева: сборник материалов. СПб., 2020. С. 18-27.

5. Бухарицин П.И., Бухарицин А.П. Морские операции в мелководной морской части Волго-Каспийского судоходного канала в ледовых условиях // 47-я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения (январь 2019). Наука и современность 2019, часть 7. 47th International Scientific Conference of Eurasian Scientific Association (January 2019). Science and modernity. 2019. С. 409-415.
6. Гневыхев М.Н. Об 11-летнем цикле солнечной активности // УФН. 1966. Т. 90. Вып. 2.

## Современное изменение климата на казахстанской территории Прикаспийского региона

*С.А. Долгих*

РГП «Казгидромет», Научно-исследовательский центр, Алматы, Казахстан

*e-mail: svetlana\_dolgikh@mail.ru*

Глобальное потепление продолжает бить рекорды. По данным ВМО, 2020 год вошел в тройку самых теплых лет с аномалией средней глобальной температуры  $1,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$  относительно температур за период 1850-1900 гг., последнее пятилетие, так же, как и последнее десятилетие были самыми теплыми за период индустриальных наблюдений [2]. Темпы изменения климата неодинаковы по территории земного шара. В Казахстане Прикаспийский регион отличается наиболее высокой скоростью повышения средней годовой и сезонной температуры воздуха [1].

**Исходные данные.** Используются данные Республиканского гидрометеорологического фонда РГП «Казгидромет» по 8 метеорологическим станциям региона: 1) ряды среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков; 2) ряды суточных максимальных и минимальных температур воздуха и суточного количества осадков.

**Методы оценки.** Для оценки изменений в характеристиках климата за определенный интервал времени использованы коэффициенты линейных трендов, определяемые методом наименьших квадратов. При анализе трендов применялся пороговый уровень статистической значимости  $P\text{-value} < 0,05$ . В качестве меры существенности тренда рассчитывался коэффициент детерминации ( $R^2$ ), характеризующий вклад трендовой составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени и выраженный в процентах от полной дисперсии.

Для оценки изменений и экстремальности температурного режима и режима осадков использовались климатические индексы, рекомендованные Всемирной метеорологической организацией и рассчитанные с помощью пакета программ ClimPACT [3]. Эти индексы позволяют оценить многие аспекты изменения климата, такие как изменение интенсивности, частоты и продолжительности проявления экстремальности в температуре воздуха и количества осадков.

**Результаты.** Скорость повышения среднегодовых температур воздуха находится в пределах от  $0,24^\circ\text{C}/10$  лет (МС Тушибек) до  $0,43^\circ\text{C}/10$  лет (МС Актау, рис. 1).

Все тренды являются статистически значимыми и доля объясненной трендом дисперсии от 23 до 45%. Необходимо отметить, что за последний 20-ти летний период на всех станциях Прикаспийского региона отмечены только положительные отклонения от среднего многолетнего значения за период 1961-1990 гг. На станциях, расположенных на побережье, или близко от него, максимальное повышение

температуры воздуха отмечено в зимне-весенний период (до  $0,43^{\circ}\text{C}/10$  лет на МС Атырау и МС Пешной). На материковой части максимум потепления приходится на летний сезон (до  $0,42^{\circ}\text{C}/10$  лет на МС Кызан). Минимально повышаются температуры, в основном, в осенний сезон.

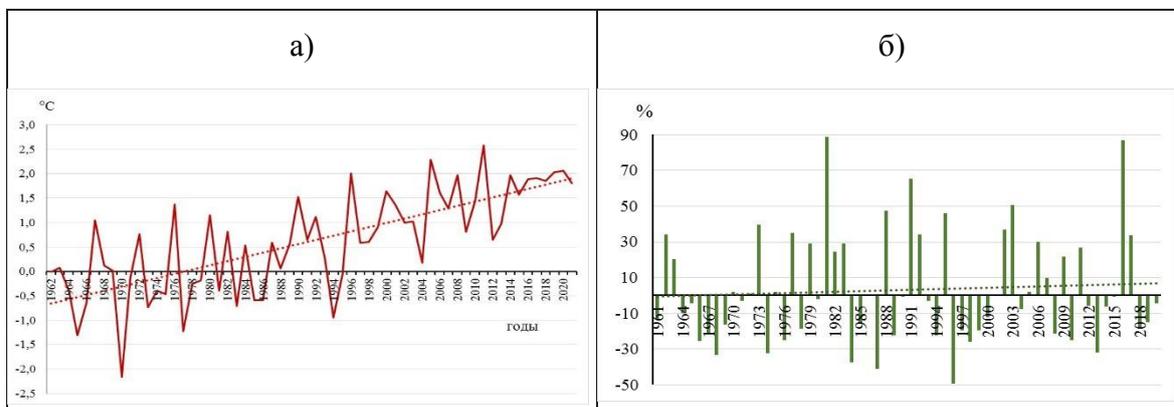


Рис. 1. Временной ряд и линейный тренд аномалий: а) температуры воздуха (в  $^{\circ}\text{C}$ ) и б) количества осадков (в % нормы) по данным метеорологической станции Актау. Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1991 гг.

Кроме повышения средней годовой и сезонных температур, в температурном режиме региона произошли также следующие наиболее заметные изменения:

- почти на всех станциях статистически значимое увеличение количества дней с температурой выше 90-го перцентиля (на 1-3 дня каждые 10 лет, индекс tx90p), жарких дней с температурой воздуха выше  $30^{\circ}\text{C}$  (на 1-8 дней/10 лет, индекс SU30), количества и продолжительности волн тепла (на 1-7 дней/10 лет);
- статистически значимое сокращение количества дней, когда суточный минимум температуры воздуха (индекс FD0) опускался ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже ниже  $-2^{\circ}\text{C}$  (на 2-5 дней/10 лет), что сказывается на условиях образования льда;
- повсеместное уменьшение на 1-2 %/10 лет доли холодных ночей (с минимальной температурой воздуха ниже 10-го перцентиля, индекс TN10p) и увеличение повторяемости так называемых тропических ночей, когда ночные температуры не опускаются ниже  $20^{\circ}\text{C}$ , вследствие чего организм человека не успевает отдыхать от дневной жары;
- увеличиваются продолжительности вегетационного периода со средней суточной температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  (на 2-4 дня/10 лет, индекс GSL) и суммы температур за этот период.

В режиме осадков в Прикаспийском регионе существенных долгопериодных изменений практически не наблюдалось. Статистически значимые изменения наблюдались только на двух метеостанциях – Пешной и Кулалы, остров. Причем изменения на этих станциях носят противоположный характер:

- на станции Кулалы, остров наблюдается некоторое уменьшение годового количества осадков, количества осадков за 5 дней (индекс Rx5day), количества суток с осадками более 10 мм (индекс R10mm), повторяемости дней с осадками более 90-го и 99-го перцентилей (индексы r95p и r99p), и соответственно – средняя интенсивность осадков в день (индекс SDII);
- на станции Пешной произошли изменения в этих же характеристиках режима осадков, только с противоположным знаком.

**Заключение.** Изменение климата региона характеризуется сочетанием значительного увеличения средней годовой и сезонных температур приземного воздуха, повторяемости экстремально высоких суточных температур, продолжительности волн тепла и отсутствием существенных изменений в режиме осадков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2020. [доступен на <http://www.kazhydromet.kz>].
2. State of the Global Climate: 2020. WMO № 1264. Geneva, 2021. 56 p.
3. The ClimPACT User Guide [Available online at [https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact/blob/master/www/user\\_guide/Climpact\\_user\\_guide.md](https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact/blob/master/www/user_guide/Climpact_user_guide.md)]

Перевод с английского

## Оценка площади водной поверхности водно-болотных угодий Анзали в Юго-Западной части Каспийского моря с помощью спутникового дистанционного зондирования

*Х. Фарджам*

Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

*e-mail: h.farjami@inio.ac.ir*

Каспийское море является крупнейшим водным бассейном Земли со специфическими физическими и химическими характеристиками. В некоторых публикациях оно было отнесено к категории глубоководных морей, а в других – к категории озер [1]. Это создало уникальные условия для распространения многообразной фауны и флоры в озере и прибрежной зоне. Одной из наиболее важных охраняемых территорий на юге Каспийского моря являются водно-болотные угодья Анзали (рис. 1а). Они получили статус международных угодий, охраняемых Рамсарской конвенцией, в 1975 году [2]. Водно-болотные угодья Анзали оказывают большое воздействие на туризм, экономику, биоразнообразие, подземные воды региона. Различные экологические и антропогенные факторы угрожают водно-болотным угодьям Анзали, поэтому их площадь постепенно уменьшается. Этими факторами являются размывание из-за ливней, зарастание и заиление, засуха, нерегулярное орошение, аквакультура, сельскохозяйственные стоки, городские и промышленные отходы, чрезмерный вылов рыбы и незаконная охота, эрозия почвы, цветение водорослей и так далее [3].

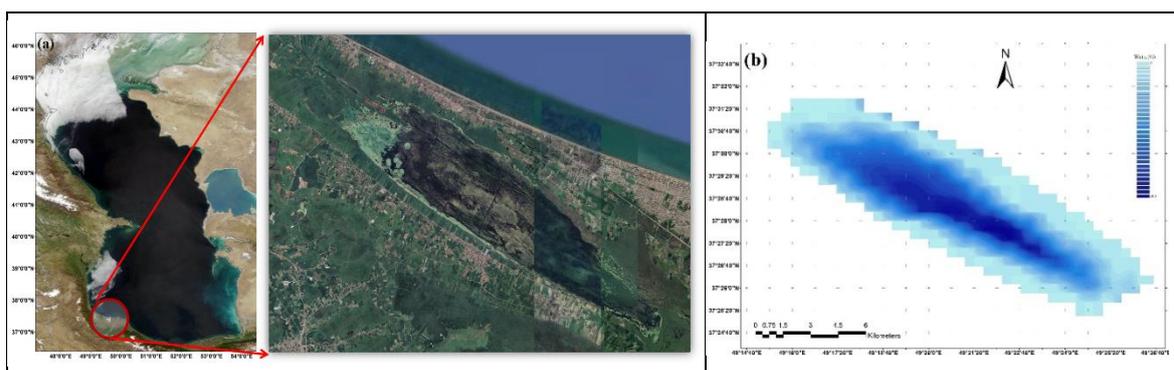


Рис. 1. а) Каспийское море и водно-болотные угодья Анзали (район исследования); б) процентное содержание воды в исследуемой области с 2000 по 2021 год

В этом исследовании изменения площади водной поверхности водно-болотных угодий Анзали были исследованы с использованием спутниковых снимков. Изображения спектрального отражения поверхности спектро радиометра с умеренным разрешением (MODIS) обеспечивают оценку спектрального отражения поверхности, как это было бы оценено на уровне земли в отсутствие атмосферного рассеяния и поглощения.

Для этой цели были использованы изображения отражения поверхности MODIS Terra с 2000 по 2021 год (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Затем на собранные изображения был нанесен нормализованный разностный водный индекс (NDWI) для оценки площади водно-болотных угодий Анзали.

Результаты этого исследования показывают, что в 2021 году площадь водно-болотных угодий Анзали сократилась до 20% от площади поверхности в 2000 году (рис. 1б). Это может быть связано с различными факторами, такими как изменение климата, нерациональное и неправильное использование природных ресурсов в регионе. Это будет изучено в будущих исследованиях. Кроме того, результаты показывают, что алгоритм NDWI на спутниковых снимках может быть использован для создания и совершенствования модели поддержки и управления международными охраняемыми водно-болотными угодьями Анзали.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Farjami, H., & Hesari, A. R. E. (2020). Assessment of sea surface wind field pattern over the Caspian Sea using EOF analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 35, 101254.
2. Mousazadeh, Roya, Hamidreza Ghaffarzadeh, Jafar Nouri, Alireza Gharagozlou, and Mehdi Farahpour. "Land use change detection and impact assessment in Anzali international coastal wetland using multi-temporal satellite images." *Environmental monitoring and assessment* 187, no. 12 (2015): 1-11.
3. Pulido, M., Alfonso-Torreño, A., Barrena-González, J., Robina-Ramírez, R., & Abdennour, M. A. (2020). Identifying Problems in Watering Ponds with Different Purposes. *Environments*, 7(9), 63.

## **Сток Волги в условиях оптимума голоцена и сценарных антропогенных изменениях климата в 21 веке**

*А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова*

Институт географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: georgiadi@igras.ru*

Изменения стока Волги были оценены на *модели месячного водного баланса* [2]. В ее основе лежит уравнение среднемноголетнего месячного водного баланса речных водосборов. В предлагаемом подходе оцениваются сценарные изменения среднего многолетнего месячного стока в ячейках регулярной сетки 1x1 градус по широте и долготе. Воднобалансовые расчеты проводятся в пределах упомянутых ячеек, охватывающих слой почвогрунтов, включающий горизонт подземных вод активного водообмена, характерный для средних по размеру речных водосборов. Для таких ячеек рассчитываются основные составляющие водного баланса, в том числе сток, формирующийся на поверхности и в подповерхностном слое, и сток из зоны активного водообмена, на основе чего определяется суммарный сток из ячейки, который интегрируется для всего бассейна Волги. Речной сток, температура воздуха, атмосферные осадки задаются для каждой из ячеек. Расчеты проводятся по квазисуткам, т.е. среднемесячные значения температуры воздуха и атмосферных осадков интерполируются по суткам в пределах каждого месяца, на основе использования разработанных алгоритмов, которые изложены в [2].

Для проведения палеогидрологических оценок *для условий оптимума голоцена* были использованы данные традиционных палеоклиматических реконструкций отклонений температуры воздуха и атмосферных осадков от их современных значений за январь и июль. Они были получены на основе зонального и информационно-статистического методов [3, 4]. Модельные палеоклиматические реконструкции среднемесячных аномалий указанных выше климатических характеристик для каждого месяца среднемноголетнего года получены также осреднением результатов палеоклиматической реконструкции, проведенной на 18 глобальных климатических моделях, включенных в программу РМIP-II [7].

Расчеты изменения стока Волги *в условиях сценарного климата текущего столетия* проводились на основе среднеансамблевых модельных климатических сценариев из программы СМIP3 [8] с наиболее (A2) и наименее (B1) интенсивным ростом среднеглобальной среднегодовой температуры воздуха. Используемые в качестве входных переменных модельные аномалии (относительно периода 1960-1990 гг.) среднемесячных сумм атмосферных осадков и температур воздуха осреднялись за период первой трети (2010–2039 гг.) и середины (2040-2069 гг.) текущего столетия.

**Особенности изменения стока Волги у Волгограда.** Полученная на модели месячного водного баланса оценка аномалий годового стока Волги в оптимум

голоцена, исходящая из среднеансамблевой модельной палеоклиматической реконструкции RМIP-II, составляет 9% от его современного значения. Тогда как расчеты изменений стока, выполненные на основе палеоклиматических реконструкций, основанных на палинологическом методе [5], показывают, что сток этого периода мог быть ниже современного на 3–4%. И этот результат качественно согласуется с оценками палеостока, полученными ранее для Волги на основе зональных зависимостей годового стока [1], и с результатами реконструкции стока по древним излучинам [6]. В первой трети текущего столетия вероятно повышение годового стока Волги соответственно на 12% (сценарий А2) – 2% (сценарий В1), в середине века на 12–9% соответственно. Сток половодья в период оптимума голоцена (исходя из палеоклиматических реконструкций, основанных на палинологических методах), мог быть на 3–4% ниже современного, тогда как зимой и в летне-осенний период он был выше современного, соответственно, на 19–30% и 8–6%. Исходя из модельных реконструкций палеоклимата (RМIP-II), сток половодья мог превышать его современные значения на 23%, а в другие сезоны года сток практически не отличался от современного. В сценарных условиях первой трети текущего века (сценарии А2 и В1) вероятно менее интенсивное повышение стока Волги в основные сезоны года: в половодье – на 17% (сценарий А2) и 4% (сценарий В1), зимой – на 6 и 15%, а летом-осенью – на 19 и 12%. При этом половодье может начинаться на месяц раньше без существенных изменений его формы. К середине века внутригодовая структура стока не изменится существенно по сравнению с предшествующей стадией сценарного потепления климата.

**Выводы.** Наиболее близким к сценарному термическому режиму в бассейне Волги, характерному для первой трети текущего столетия, оказываются условия позднеатлантического оптимума голоцена, восстановленному по палинологическим данным. Годовой речной сток Волги в этих условиях по результатам расчетов на модели месячного водного баланса получился ниже современного. Качественно этот результат согласуется с оценками палеостока, полученными ранее для Волги на основе зональных зависимостей годового стока, и с результатами реконструкции стока по древним излучинам. При сценарных климатических условиях и при палеоклиматических реконструкциях, основанных на ансамбле климатических моделей программы RМIP-II он оказывается выше современного. В условиях климата сценарного будущего (в первую треть и в середине текущего столетия) годовой сток Волги, вероятно, будет увеличиваться по мере потепления климата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Величко А.А., Климанов В.А., Беляев А.В. Реконструкция стока Волги и водного баланса Каспия в оптимумы Микулинского межледниковья и голоцена // Изв. РАН. Сер. геогр. 1988. №1. С. 27-37.
2. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: Издательство «Макс Пресс», 2014. 214 с.

3. Климанов В.А. К методике восстановления количественных характеристик климата прошлого // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1976. № 2. С.92-98.
4. Хотинский Н.А., Савина С.С. Палеоклиматические схемы территории СССР в бореальном, атлантическом и суббореальном периодах голоцена // Изв. РАН. Сер. геогр. 1985. №.4. С. 18-34.
5. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен-голоцен. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
6. Сидорчук А.Ю., Панин А. В., Борисова О. К. Снижение стока рек равнин Северной Евразии в оптимум голоцена // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 1. С. 1–14.
7. Joussaume S. et al. Monsoon changes for 6000 years ago: results of 18 simulations from the Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP) // Geophysical Research Letters. 1999. Vol. 26. P. 859-862.
8. Meehl G.A., Covey C., Delworth T., Latif M., McAvaney B., Mitchell J.F. B., Stouffer R.J., Taylor K.E. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research // Bulletin of the American Meteorological Society. 2007. No. 88. P. 1383-1394.

Перевод с английского

## **Свидетельства так называемого климатического события 4.2, наблюдаемого в кернах, собранных в бассейне Южного Каспия**

<sup>1</sup>Х. Геривани, <sup>2</sup>Х. Лахиджани, <sup>3</sup>В.А. Путанс

<sup>1</sup>Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

*e-mail:* gerivani@inio.ac.ir

<sup>2</sup>Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

*e-mail:* lahijani@inio.ac.ir

<sup>3</sup>Институт океанологии им. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail:* vitapu@mail.ru

### **Введение**

Изучение прошлых климатических событий может помочь нам лучше понять происходящие изменения климата. Одно из интересных глобальных климатических изменений называется «событием 4.2», о котором сообщалось в середине голоцена. Это климатическое событие было связано с культурной трансформацией в человеческих обществах старого света [3]. Конец середины – это событие произошло примерно в 4200 г. до н.э., – используется в качестве формальной границы между средним и поздним голоценом [5] и широко признано в Северном полушарии [1]. Существует идея, что это климатическое событие сыграло важную роль в «крахе» крупных древних цивилизаций, таких как Китай, Индия, Египет и т.д. И эта идея подтверждается увеличивающимся количеством данных [3, 6]. Несмотря на множество свидетельств, сообщаемых об этом событии в низких широтах, редкие сообщения в литературе могут быть найдены для высоких широт, а для Каспийского бассейна вообще нет никаких свидетельств. В этой статье обсуждается исследование кернов донных отложений, отобранных в бассейне Южного Каспия, которые можно рассматривать как свидетельства климатических изменений, произошедших около 6 тыс. лет назад.

### **Область исследования, материалы и методы**

Район исследования настоящей работы расположен на восточной стороне Южного Каспия. Три коротких осадочных керна были извлечены с континентального склона и глубоководной впадины в восточной части Южного Каспия с помощью гравитационного пробоотборника КС. Керны расположены вдоль разреза, который начинается с глубины около 400 м вблизи южного побережья (BS400) и продолжается на северо-запад, вплоть до глубины около 600 м (BS600). Различные тесты, включая магнитную восприимчивость (МС) с шагом 1 см, непрерывные рентгеновские измерения, а также осадочные тесты для измерения размера частиц, содержания карбоната кальция и органического вещества (ОВ) на каждые 2 см длины керна, были проведены в лаборатории INIOAS (Иран) и лаборатории

CEREGE Университета Экс-Марсель (Франция). Кроме того, четыре объемных образца, взятых из разных горизонтов кернов BS400 и BS600, были датированы в Познанской радиоуглеродной лаборатории методом  $^{14}\text{C}$ .

### **Результаты и обсуждение**

На основе изменения различных седиментологических и геохимических параметров, а также с учетом калиброванных возрастов были выявлены и сопоставлены аномальные осадочные фации и слои в кернах. Аномальный слой был выявлен в кернах BS400, BS500 и BS600, которые характеризовались в основном более грубыми отложениями. Несмотря на идентификацию этого слоя во всех кернах, свидетельства того, что этот слой, вероятно, связан с климатическим событием 4.2, наиболее ясно наблюдаются на профиле BS400, поскольку толщина этого слоя в нем намного больше, чем для двух других кернов. Поэтому, здесь мы обсуждаем только данные по керну BS400.

Согласно радиоуглеродному датированию, некалиброванный возраст образцов, взятых на горизонтах 97 и 136 см из керна BS400, был определен как 4950 г.  $\pm$  40 лет до н. э. и 5110 г.  $\pm$  40 лет до н. э. соответственно. Радиоуглеродный возраст был откалиброван по календарным годам с использованием программного обеспечения CALIB Rev 6.1.1 на основе кривой Marine09 с  $1\sigma = 26 \pm 69$   $^{14}\text{C}$  лет [4]. Керна BS400 вряд ли охватывает средний голоцен, в то время как BS600 может восходить к более раннему Триасу и даже старше.

Основываясь на модели возрастной глубины керна BS400, аномальный слой, показанный на рисунке 1, залегает в диапазоне от 4430 г.  $\pm$  350 лет до 4860 г.  $\pm$  350 лет до н. э. и ассоциируется со значительно более высоким содержанием циркония (Zr) и титана (Ti). Обсуждаемое событие 4.2 характеризуется сухими и прохладными климатическими условиями [3]. Высокие значения Zr и Ti также отражают физическое выветривание и холодные климатические условия [2]. Таким образом, представляется, что обсуждаемый слой может быть связан с климатическим событием 4.2.

### **Вывод**

Три коротких керна, отобранных в бассейне Южного Каспия, были протестированы различными седиментологическими и геохимическими методами для обнаружения определенных климатических условий в прошлом. Впервые в Каспийском бассейне осадочные и геохимические аномалии были обнаружены в слое возраста от  $4430 \pm 350$  лет до  $4860 \pm 350$  лет до н. э., которые можно рассматривать как следы климатического события, так называемого «события 4.2». Эти результаты показывают, что в высоких широтах также имеются признаки этого события. Учитывая тот факт, что, во-первых, климатические события, подобные «4.2», были связаны с социальными и политическими трансформациями, которые потрясли практически весь известный тогда мир, и, во-вторых, человечество сейчас сталкивается с глобальным изменением климата, можно утверждать, что за нынешними изменениями климата, вероятно, последуют социальные и политические изменения, затрагивающие северные широты.

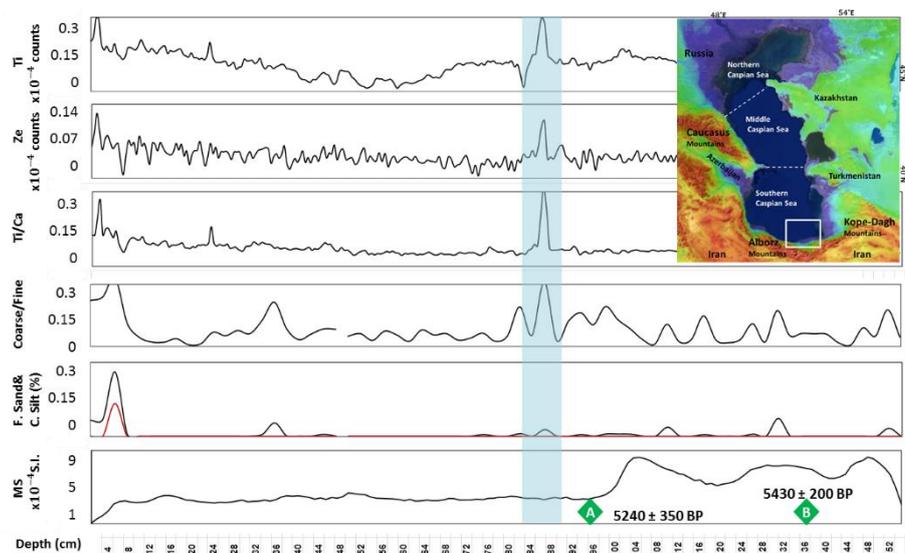


Рис. 1. Основные журналы BS400 и область исследования. Аномальное ложе, показанное тенью, вероятно, может быть связано с климатическим событием 4.2. Зеленые ромбы показывают глубину, на которой были отобраны образцы для хронологии. Калиброванный возраст образцов представлен близко к ромбам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Drysdale R.N., Zanchetta G., Hellstrom J., Maas R., Fallick A.E., Pickett M., Cartwright I., Piccini L. Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone. *Geology*. 2006. V. 34. P. 101-104.
2. Lahijani H.A., Beni A.N., Tudryn A., Hosseindoust M., Habibi P., Pourkerman M. Unraveling extreme events from deep water cores of the south Caspian Sea. *Quat. Int.* 2020. V. 540. P. 111-119.
3. Ran M., Chen L. The 4.2 ka BP climatic event and its cultural responses. *Quaternary international*. 2019. V. 521. P.158-167.
4. Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*. 2009. V. 51. P. 1111–1150.
5. Walker M.J.C., Berkel Hammer M., Bjorck S. et al. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: A discussion paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the subcommission on quaternary stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*. 2012. V. 27. P. 649-659.
6. Zanchetta, G., Regattieri, E., Isola, I., Drysdale, R.N., Bini, M., Baneschi, I. and Hellstrom, J.C. The so-called " 4.2 event" in the central Mediterranean and its climatic teleconnections. *Alpine and Mediterranean Quaternary*. 2016. V. 29 (1). P. 5-17.

Перевод с английского

## **Моделирование выбросов пыли в районе залива Горган в полусухих условиях**

<sup>1</sup> П. Гафарян, <sup>1</sup> Х. Лахиджани, <sup>2</sup> М.Р.М. Пенчак

<sup>1</sup> Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

*e-mail:* p.ghafarain@inio.ac.ir, lahijani@inio.ac.ir

<sup>2</sup> Центр научных атмосферных и метеорологических исследований, Тегеран, Иран

*e-mail:* mmohammadpourpenchah@gmail.com

Залив Горган расположен на юго-востоке Каспийского моря в северном Иране. Он занимает площадь около 400 км<sup>2</sup> [2] с максимальной длиной 70 километров и максимальной глубиной 5 м, хотя большая часть этого залива имеет глубину менее 2 метров. Небольшая глубина этого залива сделала его уязвимым к последствиям изменения климата.

В этом исследовании для моделирования влияния высыхания залива Горган на выбросы пыли в регионе использовалась модель анализа и прогноза погоды в сочетании с моделью химических процессов (WRF-CHEM) версии 3.9.1 [3]. WRF-CHEM – это химическая версия WRF, которая имитирует выброс, перенос, смешивание и движение частиц, находящихся в воздухе [1]. В целом, в модели WRF существует 33 варианта выбора наземной растительности. В этом исследовании входные данные модели были изменены, так что район залива Горган рассматривался как засушливая местность с небольшим количеством растительности. Почвенный материал рассматривался как смесь песка и глины, которая содержит около 80% песка и 20% глины, а растительный покров был выбран как низкая трава. Модель была запущена в течение 4 дней и в разные сезоны года, чтобы учесть погодные условия в регионе в течение года. Даты выбраны таким образом, чтобы за последнюю неделю в исследуемом районе не было осадков, чтобы влажность почвы была низкой и частицы пыли могли подниматься с земли. Первые 12 часов пробега рассматривались как раскрутка. Кроме того, гибридная модель интегрированной траектории Лагранжа с одной частицей (HYSPLIT) использовалась для создания ансамблевой прямой траектории, чтобы проследить траекторию частиц пыли в районе залива Горган.

Результаты моделей WRF-Chem и HYSPLIT показаны на рисунках 1 и 2 за 5 марта 2018 года соответственно. Сильная концентрация пыли наблюдается в начале 5 марта 2018 года в исследуемой зоне. На станции порта Туркаман концентрация пыли достигает около 3500 мкг/кг сухого воздуха, и в это время скорость ветра составляет 8 м/с, т.е. довольно значительна. Выходные результаты модели показывают, что 5 марта 2018 года наблюдается большая сходимости и меньшая неопределенность в результатах, и существует вероятность распространения частиц пыли к северо-востоку от залива Горган.

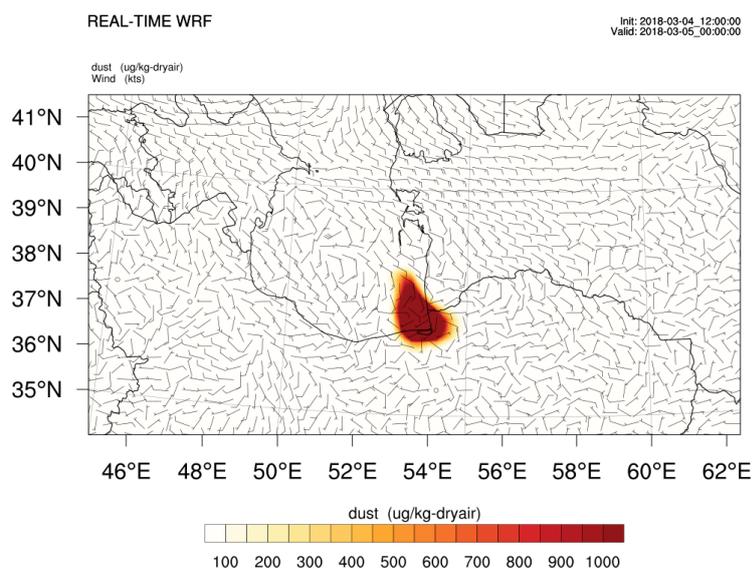


Рис. 1. Вывод модели WRF-CHEM для концентрации пыли (мкг/кг- сухой воздух) 5 марта 2018 года в 0000 UTC

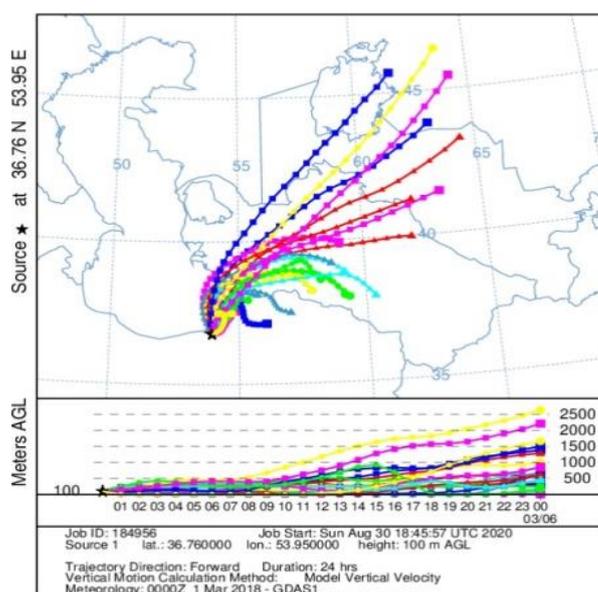


Рис. 2. Модель HYSPLIT, направленная вперед по 24-часовой траектории, метеорологический ансамбль 27 участников на синоптических метеорологических станциях в заливе Горган на высоте 100 м над землей 5 марта 2018 года в 0000 UTC

В целом результаты моделирования показали, что снижение уровня Каспийского моря приведет к высыханию залива и зарастанию его лугами, тогда залив Горган можно рассматривать как источник пыли. Если земля сухая и в предыдущие несколько дней не было осадков, при сильном ветре частицы песка и почвы поднимаются с поверхности залива, и в результате движения атмосферного воздуха в зависимости от направления и скорости ветра значительная площадь будет

затронута пыльной бурей. Кроме того, результаты показали, что концентрация пыли в воздухе сильно зависит от скорости ветра непосредственно в районе залива Горган. Так что, если скорость ветра в исследуемой зоне превышает 7 м/с, то можно возникнуть пылевое облако с концентрацией более 2000 мкг/кг сухого воздуха. Кроме того, наиболее интенсивные пылевые явления в заливе Горган происходят, когда атмосферная картина указывает на контраст низкого и высокого давления в исследуемой области, а средние уровни атмосферы стабильны. Наконец, из-за погодных условий в регионе существует возможность переноса частиц пыли из залива Горган на запад, северо-восток и юг региона.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Grell G.A., Peckham S.E., Schmitz R., McKeen S.A., Frost G., Skamarock W.C., Eder B. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*. 2005. V. 39(37). P. 6957-6975.
2. Karbassi A.R., Amirnezhad R. Geochemistry of heavy metals and sedimentation rate in a bay adjacent to the Caspian Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2004. V. 1(3). P.191-198.
3. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Liu Z., Berner J., Wang W., Powers J.G., Duda M.G., Barker D.M., Huang X.Y. A description of the advanced research WRF model version 4. National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 2019. 145 p.

### **Гидрологический режим дельты Волги в условиях современных климатических изменений**

*О.В. Горелиц, Г.С. Ермакова, И.В. Землянов, А.А. Сапожникова, И.Ю. Милютин*

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия

*e-mail: gorelits@mail.ru*

Дельта Волги – классическая дельта выдвигания, образованная на открытом морском побережье, представляет собой аллювиальную равнину, полого понижающуюся в сторону Каспийского моря, уклон поверхности дельты составляет 3–5 см на 1 км. С 1961 года гидрологический режим обширного региона Нижней Волги, включающего Волго-Ахтубинскую пойму и дельту Волги, формируется под влиянием регулирования, которое осуществляет Волжская ГЭС – замыкающая ступень Волжско-Камского каскада. Нижняя Волга – бесприточный участок, поэтому многолетняя изменчивость среднегодовых расходов воды и годовых объемов стока Волги в створе Волгограда (нижний бьеф Волжской ГЭС) характеризует также многолетние изменения стока в вершине дельты реки.

Выполненный анализ показал, что средние объемы стока за период естественного и зарегулированного режима весьма близки – 256 км<sup>3</sup>/год и 249 км<sup>3</sup>/год соответственно. Средний за 130-летний период инструментальных наблюдений годовой объем стока составляет 253 км<sup>3</sup>/год. На этом фоне выделяются периоды повышенной и пониженной водности, которые до 1950-х гг. были вызваны только климатическими изменениями на Европейской территории России, где расположены водосборные бассейны Волги и Камы. После зарегулирования стока вместе климатическими факторами важнейшее влияние на гидрологический режим дельты Волги начали оказывать антропогенные факторы – непосредственно само регулирование и безвозвратное водопотребление на орошение, промышленное и коммунальное водоснабжение. Рост водопотребления в бассейне продолжался вплоть до начала 1990-х гг., когда, по объективным причинам развитие водоемких отраслей народного хозяйства значительно затормозилось, а в отдельных регионах практически остановилось и до настоящего времени не восстановлено в прежнем объеме. Регулирование оказало наиболее существенное влияние на параметры внутригодового распределения стока и характеристики важнейшей фазы гидрологического режима – весеннего половодья. После зарегулирования сток весеннего половодья уменьшился почти на 30% по сравнению с естественными условиями, меженный сток увеличился, причем в зимнюю межень, более чем в 2 раза по сравнению с естественным периодом.

Гидрологический режим дельты Волги определяется воздействием климатических изменений различных пространственно-временных масштабов. Многолетние изменения годовых объемов стока, поступающих в вершину дельты, определяются климатическими процессами, развивающимися над Европейской территорией

России, региональные климатические изменения обуславливают межгодовую и сезонную изменчивость температурного и ледового режимов, имеющих большое значение для развития и функционирования экосистемы дельты.

При рассмотрении многолетних колебаний значений температуры воды и показателей ледового режима дельты Волги в качестве интегральной характеристики, позволяющей учесть климатический фактор, использовалась температура воздуха по данным метеостанции (МС) г. Астрахань.

Анализ многолетних колебаний температуры воздуха на МС г. Астрахань показал, что в регионе после зарегулирования стока произошло потепление периода ледовых явлений по сравнению с периодом естественного режима стока. Средняя температура воздуха ледового периода в дельте Волги повысилась с  $-3,0^{\circ}\text{C}$  в 1942-1960 гг. до  $-1,1^{\circ}\text{C}$  1961-2018 гг. Общая продолжительность ледовых явлений и продолжительность ледостава в створе гидрологического поста с. Верхнелебяжье уменьшилась на 28 дней и 29 дней соответственно. В период зарегулированного стока отмечается значимое изменение характеристик ледового режима в последние десятилетия. Даты начала ледовых явлений, начала ледохода и начала ледостава сдвинулись вперед на более поздние сроки на 11-15 дней, начало весеннего ледохода стало наступать на 7 раньше, дата очищения ото льда – на 10 дней раньше. В связи с этим продолжительность и ледостава, и всего периода ледовых явлений сократилась – на 12 и 24 дня соответственно. Сократилась продолжительность осеннего (на 10 дней) и весеннего (на 6 дней) ледохода.

Термический режим дельты Волги формируется под влиянием естественных климатических и антропогенных факторов. Общей закономерностью для дельты Волги является повышение температуры воды от вершины дельты до ее морского края. Эта закономерность нарушается в районе западных подступных ильменей, г. Астрахани и некоторых других районах. Для всех водотоков дельты общим является сезонный ход температуры воды, характеризующийся периодами нагревания и охлаждения вод. В целом ход температуры воды в более сглаженном виде повторяет ход температуры воздуха, что подтверждает главенствующую роль температуры воздуха в формировании термического режима водотоков дельты Волги.

В настоящее время, в условиях повышения экстремальности гидрологических событий на фоне климатических изменений особое значение приобретают систематические гидрологические наблюдения на действующей сети наблюдений Астраханского ЦГМС, а также систематические специализированные работы в дельте по учету речного стока, его распределению и перераспределению по крупнейшим системам водотоков.

## **Влияние гидрометеорологических условий Каспийского моря на реку Кура**

*Дж.Г. Гусейнов, Н.Р. Мамедова-Фараджли*

Национальная Гидрометеорологическая служба  
при Министерстве Экологии и Природных Ресурсов, Баку, Азербайджан

*e-mail: cavid-huseyn1977@mail.ru, Nargiz.mamedova.1994@mail.ru*

Для регулирования режима течения потока воды в меженный период будет целесообразным построить гидротехнические сооружения (регулируемые водорегулирующие шлюзы) в устье реки Кура, которые будут создавать барьерный эффект для предотвращения смешивания соленой воды Каспийского моря с речной. С помощью этого устройства, регулируя сток реки Кура в меженный период, можно улучшить снабжение питьевой водой и эффективное использование оросительной воды, предотвращая смешение морской и грунтовых вод, которое является основными причинами засоления рек. В целях уменьшения влияния суточных, месячных, сезонных, годовых и многолетних колебаний Каспийского моря на режим стока в устье реки Кура, восстановленная в дельте Куры до залива Голтуг в юго-западном русле канала (малых притоков) увеличит скорость потока реки и транспортную способность, повысит соленость и предотвратит смешивание воды с рекой.

Катастрофические наводнения маловероятны из-за того, что сток реки через Мингячевирское, Еникендское, Шамкирское и Варварское водохранилища, построенные для гидроэнергетических и ирригационных целей на реке Кура, регулируются на ежедневной, еженедельной и сезонной основе. Наиболее актуальной проблемой для реки Кура является повышение солености речной воды в пределах  $0,6 \div 12,8$  % (табл. 1). Впервые эта проблема была выявлена в ходе мониторинговых наблюдений в меженный период 2020 года (июль, август, сентябрь) и в результате лабораторного анализа проб воды. В настоящее время соленость реки Кура увеличивается по направлению к истоку (примерно на 50-60 км). Одним из основных факторов, вызывающих эту аномалию, является уменьшение разницы уровней между Каспийским морем и рекой Кура, а также движение морской воды в направлении, противоположном течению реки, в результате колебаний уровня моря (нагонов) в ветреные дни.

Исследования и анализ, связанные с изменением физико-химического состава воды в устье реки Кура (повышенная соленость), также показали, что для гидрологической станции в устье реки существует корреляция между уровнем воды, соленостью и северо-восточными ветрами (рис. 1). Результаты лабораторного анализа проб воды, взятых на левом и правом берегу реки Кура в Нефтчалинском районе из скважин, предназначенных для гидрогеологических исследований, и водяных скважин, пробуренных для личного пользования во дворах частных домов, показывают, что влияние грунтовых вод на реку Кура (увеличение солености) незначительно.

Наш анализ, основанный на спутниковых снимках, также показывает, что главный приток реки Кура в Каспийском море – Ана Кура и Бала Кура, которая течет на северо-восток и восток, и доминирующие над ней сильные северо-восточные ветры создают регулярные сильные волны в Каспийском море (во время резкого падения уровня) создает благоприятные условия для продвижения морской воды в обратном течении реки направлении.

Таблица 1. Результаты лабораторного анализа проб воды, взятых с поверхности и у дна реки Кура в выбранных точках (г/л)

№	24 июля		30 июля		4 августа		5 августа		6 августа		7 августа		8 августа		9 августа	
	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно
М-1	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
М-2	-	-	-	-	-	-	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
М-3	-	-	-	-	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
М-4	0,8	0,6	-	-	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8
М-5	1,5	0,7	-	-	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
М-6	2,6	1,7	-	-	1,7	3,5	2,1	2,0	3,5	3,4	2,6	2,4	1,5	2,4	1,7	1,7
М-7	4,8	4,1	6,7	7,3	4,4	4,4	4,8	4,7	7,1	7,8	9,2	9,2	6,6	7,8	7,0	7,0
М-8	9,5	7,0	8,0	9,5	10,2	10,2	11,4	11,5	11,1	11,5	11,2	12,3	11,0	11,9	8,1	8,3
М-9	9,3	9,1	7,8	9,4	11,4	11,9	11,8	11,7	12,3	11,9	12,1	12,8	11,3	12,0	10,1	11,9
М-10	9,4	9,3	8,1	9,7	11,9	11,9	11,5	11,4	12,6	12,2	12,4	12,5	12,2	12,3	11,7	12,3

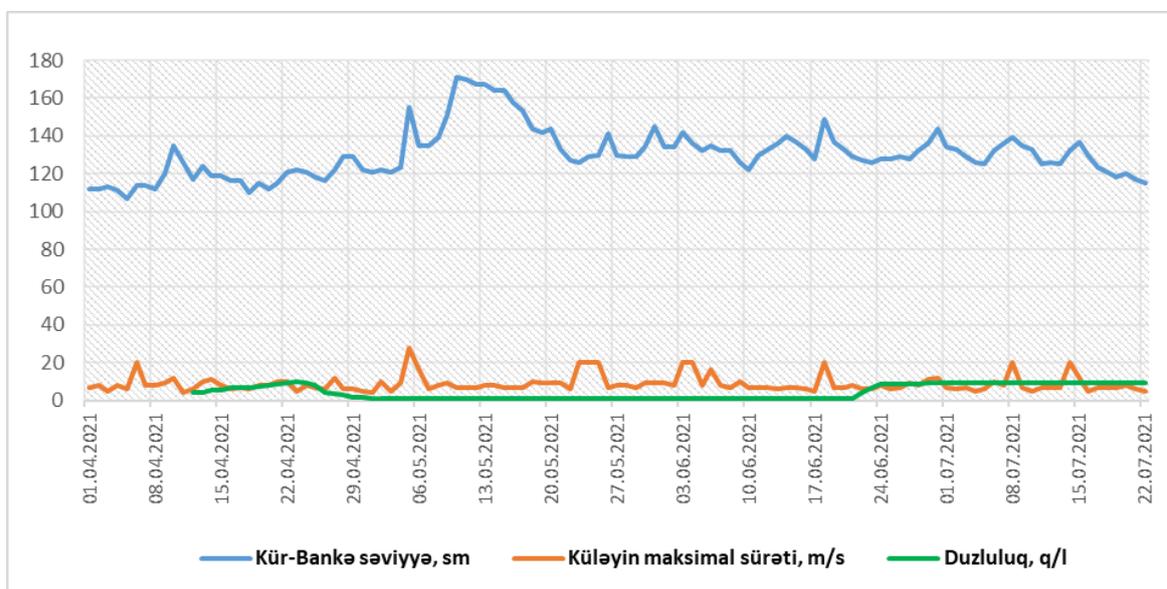


Рис. 1. Динамика изменения уровня воды, максимальной скорости ветра и солёности в реке Кура в апреле 2021 г.

Перевод с английского

## **Исследование влияния изменения климата на регион Южного Каспия (физико-химические характеристики южного шельфа – север Ирана)**

*С. Джамшиди*

Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук (INIOAS), Тегеран,  
Иран

*e-mail: Jamshidi@inio.ac.ir*

Каспийское море протяженностью более 1000 км является уникальным малосолёным водоемом Евразийского материка. Море состоит из трех частей: северной мелководной зоны, средней и южной глубоководных котловин [1, 5]. В зависимости от масштабов и размеров, регион Каспийского моря подвержен влиянию различных климатических полей (арктическая холодная погода, влажные воздушные потоки из Атлантики, теплые и горячие фронты Средиземного моря, а также горячие и сухие фронты из Ирана и Казахстана) [3]. Различные факторы, такие как циркуляция вод, речной сток, изменение климата и испарение, являются наиболее важными параметрами для изменения естественного режима физико-химических и биологических условий морской акватории [4]. Эти характеристики серьезно влияют на жизнь человеческих сообществ и нуждаются в тщательном мониторинге. В последние десятилетия морской среде Каспия угрожают промышленные и городские загрязнители, изменение климата и глобальное потепление. Цель данного исследования – представить результаты полевых оценок изменений различных параметров морской воды и влияния изменения климата на их структуру.

Одним из наиболее эффективных инструментов исследования морской среды являются непрерывные полевые измерения и комплексный мониторинг. В последние годы были проведены обширные морские исследования и исследования с использованием сбора данных на южной границе Каспийского моря. Планируется и осуществляется измерение физических, химических и биологических параметров, а также мониторинг прибрежных районов в различных регионах западной, восточной и средней части южного побережья (рис. 1). «Горячие точки» были выбраны для морских исследований вблизи важных торговых портов, включая порт Анзали на западе, порты Амирабад и Баболсар на востоке и порт Ноушар в центре южного побережья. Различные физические и химические компоненты морской воды измеряются и регистрируются устройством Idronaut CTD, а течения – с помощью акустического доплеровского профилографа. Отбор проб и наблюдения проводились на нескольких стационарных станциях вдоль нескольких разрезов.

Результаты исследований показали, что из-за повышения температуры (и глобального потепления) вертикальная структура температуры в столбе морской воды изменилась по сравнению с предыдущими собранными наборами данных. Эти колебания даже повлияли на количество растворенного кислорода в морской воде и характер изменений хлорофилла-а. В качестве доказательства влияния изменения

климата на морское и прибрежное явление можно упомянуть цветение водорослей в период 2001-2005 гг. в южной части Каспийского моря [2]. Одним из явлений, наблюдаемых в последние годы, является снижение уровня морской воды Каспия, что связано с уменьшением количества осадков и высоким испарением. Изменчивость среднегодовых или (в некоторых случаях сильных сезонных) осадков в южной прибрежной зоне вызвала наводнения, например, наводнения в провинции Голестан в 2020 году.

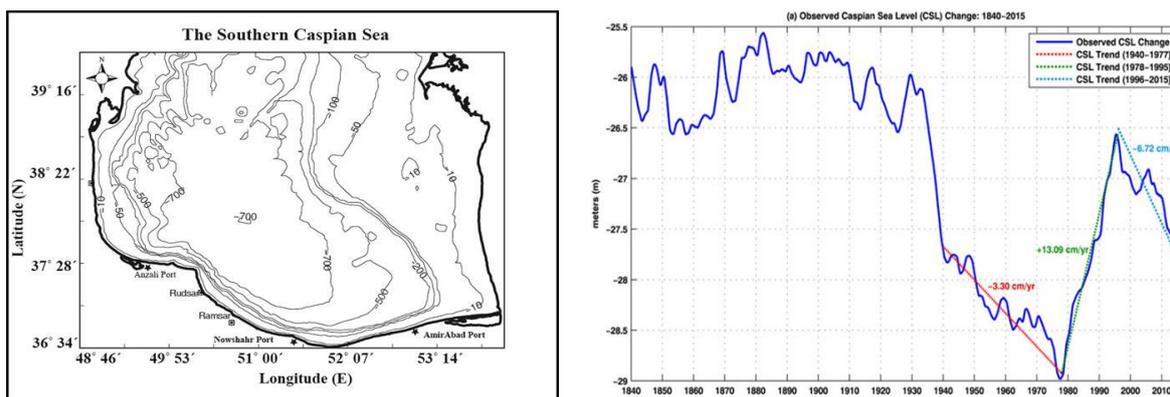


Рис. 1. Южный глубоководный бассейн и континентальный шельф Каспийского моря (слева), вековые колебания уровня моря (справа)

С другой стороны, засухи повлияли на сельское хозяйство в регионе. Сезонные изменения вертикальной структуры температуры и плотности воды в южной части Каспийского моря показаны на рисунке 2.

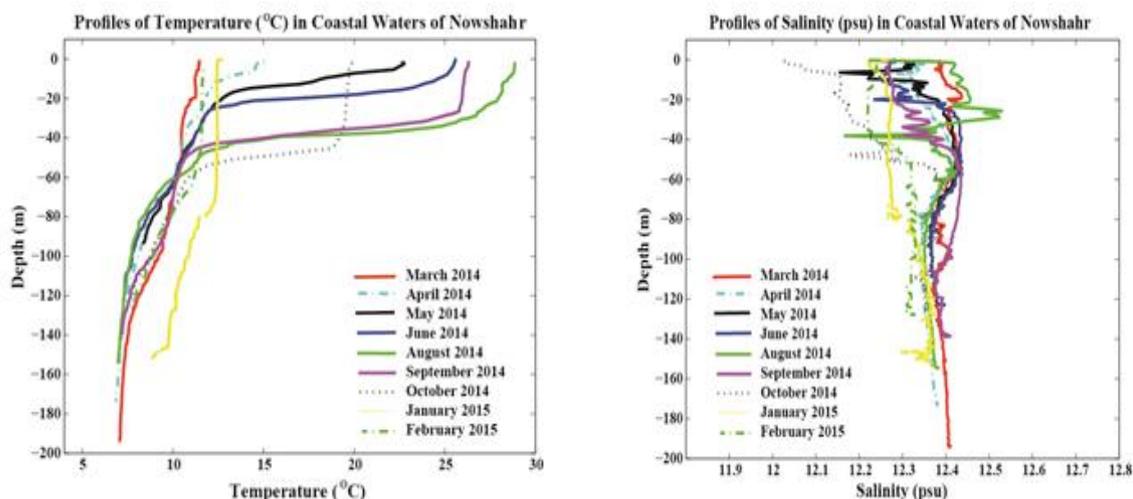


Рис. 2. Вертикальные структуры температуры и солёности на южном шельфе Каспийского моря

Аномалия изменений вертикальной структуры может быть обусловлена влиянием климатического поля и погоды в регионе. Результаты полевых исследований в водах

континентального шельфа в некоторых случаях указывают на значительные концентрации хлорофилла-а в приповерхностном слое на глубинах 10-30 м. Увеличение количества хлорофилла-а (как показателя биоразнообразия) может быть связано с увеличением массы биогенных веществ и достаточным количеством тепла в водной среде.

В эти годы на южном побережье происходят также два других важных явления. Одним из них является сокращение объема воды в водно-болотных угодьях Анзали, которые являются одной из охраняемых территорий Тегеранской и Рамсарской конвенций. Кроме того, значительное уменьшение глубины и площади залива Горган за последнее десятилетие является еще одной угрозой экосистеме Южного Каспия. Результаты наших исследований показали, что морская среда южного бассейна находится под серьезной угрозой с точки зрения попадания загрязняющих веществ (промышленных и муниципальных сточных вод, морского и прибрежного мусора и сельскохозяйственных пестицидов), а также последствий изменения климата и засухи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dumont H.J. The Caspian Lake: History, biota, structure, and function. *Limnology and Oceanography*. 1998. V. 43(1). P. 44–52.
2. Karpinsky et al. Biological Features and Resources. In: Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Ed.), *Caspian Sea Environment*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005. P. 191-210.
3. Kosarev A.N. Phsico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. In: Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Ed.), *Caspian Sea Environment*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005. P. 5-31.
4. Kosarev A.N., Kostianoy A.G. Introduction. In: Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Ed.), *Caspian Sea Environment*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005. P. 1-13.
5. Tuzhilkin V.S., Kosarev A.N. Thermohaline Structure and General Circulation of the Caspian Sea Waters. In: Kostianoy A.G., Kosarev A.N. (Ed.), *Caspian Sea Environment*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005. P. 33-57.

#### Благодарность

Представленный результат является частью исследовательских работ, проводимых при поддержке Иранского национального института океанографии и атмосферных наук (INIOAS) и Иранского национального научного фонда (INSF). Я хотел бы поблагодарить всех коллег в INIOAS за сотрудничество в работе на местах.

## **Спутниковый мониторинг ледяного покрова и опасных ледяных образований Каспийского моря**

*А.А. Максимов, И.С. Тренина*

ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»»,  
Москва, Россия

*e-mail: maksimov\_a@planet.iitp.ru*

Каспийское море – это уникальный по своим размерам замкнутый водоем, обладающий специфическими особенностями гидрометеорологических и ледовых условий. Ледяной покров в северной части моря образуется ежегодно и отличается большим разнообразием ледовых процессов.

В настоящее время активно ведутся работы по разведке, освоению и добыче углеводородов на шельфе Северного Каспия, которые требуют серьезного научного и технического обеспечения этих работ. При этом первостепенное значение приобретают вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации нефтяных платформ и транспортировки углеводородов в сложных ледовых условиях. В связи с этим необходимо проведение постоянного мониторинга ледяного покрова Каспийского моря, изменяющегося под влиянием происходящих изменений климата. Необходимость и актуальность исследования ледовых условий Каспийского моря заключается еще и в том, что характер и интенсивность ледовых процессов существенно меняется в результате колебаний уровня моря.

К наиболее эффективным и основным, на сегодняшний день, средствам наблюдения морского ледяного покрова Каспийского моря относятся спутниковые данные оптического, инфракрасного и микроволнового диапазонов, которые представляют информационную основу космического ледового мониторинга. Современная технология мониторинга ледяного покрова основана на комплексном анализе спутниковой информации, наземных и климатических данных о ледовой обстановке, а также экспертных знаниях.

Для обеспечения мониторинга ледовой обстановки в замерзающих морях России (в число которых входит Каспийское море) в НИЦ «Планета» созданы и развиваются технологии обработки спутниковых данных. В частности, создана специализированная технология построения карт ледовой обстановки [2, 3]. В технологии реализованы автоматизированные и интерактивные методы обработки. В автоматизированном режиме осуществляется предварительная обработка спутниковых изображений (географическая привязка, трансформирование космических изображений в сформированные заранее картографические основы, составление обзорных монтажей). В интерактивном режиме осуществляется дешифрирование на космических снимках ледовых параметров (возраст, сплоченность, формы льда, обобщенные характеристики и др.) и их отображение на карте в соответствии с национальной и международной символикой. В процессе

интерактивного дешифрирования спутниковых изображений проводится оценка возрастного состава льда. При выполнении такой оценки используются данные измерений толщины льда на наземных гидрометеорологических станциях и постах, а также результаты расчета «суммы градусодней мороза» в точках расположения метеорологических станций и гидрологических постов на побережье или островах Северного Каспия.

Для повышения надежности картирования в условиях облачного покрова построение карт ледовой обстановки производится на основе комплексной обработки спутниковых данных разных спектральных диапазонов и различного пространственного разрешения. По данной технологии в НИЦ «Планета» ежегодно за ледовый период выпускается 17–20 карт ледовой обстановки Северного Каспия. Карты ледовой обстановки Северного Каспия выпускаются в графическом и векторном форматах; ледовые карты в векторном формате Sigrid-3 размещаются на сервере Мирового центра данных по морскому льду (ФГБУ «АНИИ») [1].

В дальнейшем карты ледовой обстановки Каспийского моря используются для оценки долговременных изменений основных характеристик морского ледяного покрова. Анализ многолетних рядов ледовых карт Северного Каспия, построенных по спутниковым данным, показал, что за последний 10-летний период (2011-2021 гг.) не наблюдается ежегодных ярко выраженных пиков максимальной ледовитости. Особенно хорошо это прослеживается в пятилетний период 2016-2021 гг., в течение которого, периоды увеличения ледовитости сменялись ее уменьшением и так происходило несколько раз во время ледового периода. Максимальные площади распространения ледяного покрова распределены в интервале между 1-й и 3-й декадой февраля (2011-2012 гг.), а также между 3-ми декадами января и февраля (2013-2014 гг., 2016-2017 гг.). В 2012, 2013, 2014 и 2017 гг. отмечался сдвиг сроков образования льда на первую-вторую декаду декабря. В другие годы, за рассматриваемый период 2011-2021 гг.), ледообразование начиналось во второй декаде ноября. Средние сроки очищения акватории моря ото льда приходятся на 3-ю декаду марта, за исключением ледового сезона 2011-2012 гг., когда очищение произошло в 3-й декаде апреля.

В докладе рассматриваются результаты мониторинга опасных ледовых явлений и ледяных образований по спутниковым данным высокого пространственного разрешения. В частности, по данным среднего и высокого пространственного разрешения спутников серии EOS (Aqua, Terra), «Метеор-М» №2, Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, космических аппаратов серии «Канопус-В» в ледовые периоды 2016-2021 гг. осуществлялся мониторинг стамух в акватории Северного Каспия. Определялись положение (широта, долгота) стамухи, ее геометрические размеры, период существования (для случаев, когда это было возможно). С помощью интерактивного дешифрирования осуществлялось оконтуривание стамух с последующей записью результата дешифрирования в векторном формате (shp-файл). По результатам этой работы сформирована и ежегодно обновляется база данных обнаруженных со спутников стамух в Северном Каспии. Учитывая малые глубины Каспийского моря (в местах сосредоточения стамух), на некоторых спутниковых изображениях имелась возможность увидеть сквозь толщу воды неоднородности морского дна, а именно, следы воздействия (экзарации) стамух на донный грунт.

Следует отметить, что на таких спутниковых изображениях, наблюдались десятки следов воздействия стамух на морское дно, в то время как по используемым, в настоящее время данным, их обнаруживается на порядок меньше.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асмус В.В., Василенко Е.В., Затыгалова В.В., Иванова Н.П., Кровотынцев В.А., Максимов А.А., Тренина И.С. Космический мониторинг ледяного покрова и состояния водной среды Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 81-95.
2. Кровотынцев В.А., Тренина И.С. Информационная продукция спутникового мониторинга арктических акваторий // Применение космических технологий для развития арктических регионов: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием. Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2014. С. 111–119.
3. Кровотынцев В.А., Тренина И.С., Волгутов Р.В., Максимов А.А., Маслова Н.А. Информационная продукция спутникового мониторинга полярных акваторий Земли и замерзающих морей России // Метеоспектр. 2014. №2. С. 89-98.

## **Исследование климата в Туркменской части Каспийского моря**

*М.Г. Мухаммедова*

Гидрометеорологическая служба Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: ytwehab93@gmail.com*

Каспийское море – крупнейший на планете внутренний водоем. Состояние его экосистемы зависит от изменений климата, а метеорологические условия влияют на деятельность человека в открытой части моря и прибрежной зоне. Деятельность человека, в свою очередь, также оказывает воздействие на экосистему моря.

Уровень замкнутых водоемов, таких, как Каспийское море, по словам ученых, определяется тонким балансом между выпадением осадков и стоками с одной стороны, и испарением с поверхности – с другой. В случае с Каспийским морем падение уровня воды они объясняют усиленным испарением и потерей морского льда в зимний период.

Река Этрек - единственная река Туркменистана, воды которой впадают в Каспийское море. Для реки Этрек характерно с марта по сентябрь прохождение кратковременных паводков. Нередко максимальные уровни и расходы воды достигают критических значений и носят разрушительный характер. Внутригодовое распределение стока в пределах Туркменистана не отражает естественного режима реки вследствие разбора воды на территории Ирана. В летний период отмечается прекращение стока. За последние годы воды Этрека редко доходят до Каспийского моря. Эти процессы связаны с общим повышением засушливости в Центрально-Азиатском регионе.

Гидрометеорологическая служба Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана ведет постоянное наблюдение за состоянием климата в прибрежной части Туркменистана на Каспии.

Из-за обширности и разнообразности географического положения и природно-климатических условий Туркменистана, для различных регионов характерны различные экстремальные природные явления. По совокупности гидрометеорологических явлений уязвимой является почти вся территория страны. Недостаточность водных ресурсов, сильные ветры, пыльные бури, частое прохождение селей и дождевых паводков на реках определяют повышенную чувствительность региона к климатическим изменениям.

Что касается восточного побережья Каспийского моря территории Туркменистана, по данным синоптического анализа наблюдается изменение в системе атмосферной циркуляции. Участилась повторяемость таких процессов, как западное и северо-западное вторжение, а также изменилась траектория их перемещения. Если в предыдущие периоды эти процессы преимущественно проходили в зимние,

весенние, осенние месяцы, то теперь они наблюдаются и в летние месяцы. Причиной тому являются перепады атмосферного давления и температуры воздуха, приводящие также к образованию пыльных бурь на юго-восточном побережье Каспия. Чаще наблюдается усиление северо-западных ветров, с образованием высоких волн со штормовыми явлениями на море. Отмечаются проявления новых синоптических процессов при западно-восточном переносе, в ситуации с блокирующим гребнем, вызывающие повышение влажности воздуха и туманы в утренние часы, что не характерно для лета и климата Туркменистана.

Резкие потепления происходят при выходе серии южных циклонов, с юго-западными потоками. Вынос тропического воздуха приводит к резкому повышению температуры, появлению шквалистых ветров, провоцирующих пыльные бури. Они сопровождаются обильным выпадением трудно предсказуемых конвективных осадков, с образованием селевых паводков.

Увеличилась повторяемость выхода Южно-Каспийских, Мургапских циклонов не по классическому типу. Для северо-западной равнинной части Средней Азии, типичной синоптической ситуацией, благоприятной для формирования засух является южная, юго-западная и западная периферия антициклона. Происходит сильнее прогревание и иссушение воздуха.

Согласно многолетним данным, в среднегодовой температуре воздуха, прослеживается тенденция к ее повышению. Анализ изменения максимальных температур показал наличие в большинстве месяцев тенденции к увеличению. Максимальная температура воды за последние 10-20 лет также увеличилась по всему побережью, в отдельные годы на 3-4 градуса.

Наблюдения за соленостью на Туркменском побережье производятся на трех морских станциях: Туркменбаши, Гувлымаяк, Дузлыбогаз. По данным многолетних наблюдений, значения солености колеблются в пределах 12-14‰, но в 2020 году в заливе Туркменбаши отмечено ее увеличение в июле, августе, сентябре до 15.72‰. На станциях Гувлымаяк и Дузлыбогаз в летние месяцы соленость, хоть и незначительно, но также всегда выше, чем в зимние. По данным многолетних наблюдений на станции Дузлыбогаз (Кара-Богаз-Гол) отмечено, что значения ее доходили до 37-39‰. Также результаты исследований прошлых лет показывают, что в связи с тем, что в акватории залива постоянно дуют ветры, в отдельных частях ее поверхностное стоковое течение может быть резко нарушено, что может привести к созданию противотечений, носящих эпизодический характер.

В проливе Дузлыбогаз производятся регулярные измерения расходов воды. Морская вода втекает в залив через пролив со средней скоростью порядка 0.60-0.70 м/с и максимальной скоростью 1.00 м/с. В годовом стоке морской воды наблюдается уменьшение его в зимнее время года до 360-400 м<sup>3</sup>/с и увеличение в июне, июле до 480-540 м<sup>3</sup>/с.

Южный Каспий замерзает редко, только в холодные зимы (Красноводский залив замерзал в 1969 г). За последние 15 лет ледовые явления в виде припая на Туркменском побережье наблюдались в феврале 2012 и 2014 гг. на постах Туркменбаши (Красноводск) и Хазар (Челекен), ширина припая доходила до 500 м,

толщина льда составляла от 1 до 5 см. С 2015 по 2021 гг. ледовые явления на морских постах Туркменистана не наблюдались.

Таким образом, на Туркменском побережье Каспийского моря наблюдается повышение температуры воздуха и воды, изменение в системе атмосферной циркуляции, некоторое повышение солености воды в некоторых местах прибрежной части моря.

**Оценка изменения ледового покрова Каспия до конца XXI века по климатическим сценариям**

*Ж.К. Наурозбаева*

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

*e-mail:* naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Целью данной работы является оценка будущего ледового режима Каспийского моря до конца 21 века на основе климатических моделей и их проекций. Основные данные были получены с 29 станций и постов Прикаспийского региона. В ранее выполненных работах автора [1, 2] отмечены результаты исследовательской деятельности, согласно которой максимальная толщина льда в 1980-х годах уменьшилась на всем Северном Каспии. Максимальная толщина льда наблюдается в феврале. При рассмотрении значений максимальной толщины льда за период 1944 – 2019 гг., наибольшая толщина отмечается в северо-восточной акватории моря (более 40 см), в Среднем Каспии – не превышает 15 см. Толщины льда в прошлом веке были значительными, на севере часто более 50 см, в отдельные годы и более 1 метра.

Разработано около 50 физико-математических моделей, которые включают в себя не только атмосферу и океан, но и все остальные составляющие климатической системы, а также учитывают химический состав атмосферы, взаимодействия между стратосферой и атмосферой и многие другие особенности, что выводит эти модели на уровень моделей системы планета Земля [2, 6]. Благодаря международному проекту CMIP5, результаты экспериментов по моделям климата стали унифицированы и находятся в свободном доступе в интернете [3, 4, 5]. Используются результаты экспериментов по 10 климатическим моделям: модель пекинского климатического центра, Китай (Beijing Climate Centre, China, BCC Model); модель канадского центра моделирования и анализа климата с разрешением T63 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CanESM2, CGCM3,1 Model, T63 resolution); модель национального центра атмосферных исследований CCSM3.0, США (National Center for Atmospheric Research, CCSM3,0); модель центра метеорологических национальных исследований, Франция (Meteo-France, Centre National de Recherche Meteorologiques, CNRM, CM3 Model); модель центра атмосферных исследований Австралии версии Mk3,5 (CSIRO Atmospheric Research, Australia); модель HadCM3 Хэдли центра прогноза климата, Великобритания (Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadCM3 Model); модель института вычислительной математики РАН, Россия (Institute for Numerical Mathematics, Russia, INM CM4,0 Model); модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM); Японская модель MIROC3,2 с высоким разрешением (CCSR/NIES/FRCGC, Japan, MIROC3,2, high resolution), MIROCESM; Французская модель CM4 V1 института Лапласа (IPSL/LMD/LSCE, France, CM4 V1).

Наиболее подходящими моделями оказались – Hadley, INM и CNRM. Были рассчитаны сценарные значения средних многолетних температур трех зимних месяцев для трех 30-летних периодов 21 века: 2011-2040гг., 2041-2070 гг. и 2071-2100 гг. и для трех основных сценариев RCP 2.6, RCP 4.5 и RCP 8.5. Согласно моделям INM и CNRM толщина льда уменьшается на 10-15 см до отсутствия ледостава уже к середине столетия. Для северо-восточных станций уменьшение составляет до 16 см (рис. 1). Повторяемость суровых зим значительно уменьшается, а к концу столетия и вовсе исчезает. Кромка льда сдвигается на 150-200 км. Вероятность безледных условий возрастет в 10 раз по модели INM.

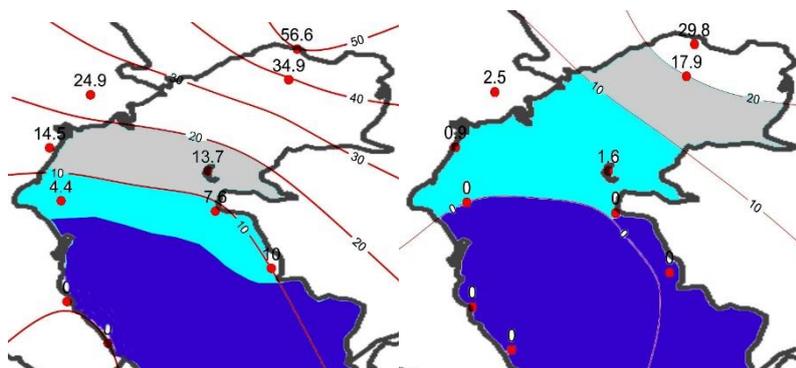


Рис. 1. Пространственные распределения средней максимальной толщины льда (см) за периоды 1981–2010 гг. (слева) и 2071–2100 гг. (справа)

В результате исследовательской работы получены следующие выводы:

1. На основе выбранных наиболее эффективных моделей климата (английская Hadley, российская INM и французская CNRM) откорректированы и получены карты изотерм будущих температур, которые показывают, что для среднего сценария RCP 4.5 площадь области с суммами отрицательных температур менее  $-500^{\circ}\text{C}$  к концу 21 века уменьшится более чем в 2 раза и умеренные зимы будут наблюдаться только на северо-востоке.
2. Уменьшение рассчитанных по эмпирическим зависимостям сценарных максимальных толщин льда составит 10-15 см, что приводит к отсутствию ледостава уже к середине столетия по моделям INM и CNRM.
3. Граница кромки льда сместится на север, будет на линии о. Тюлений – Форт-Шевченко.
4. Повторяемость безледных зимних периодов существенно увеличится.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов В.А., Наурузбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на Северном Каспии // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 172-187.

2. Лобанов В.А., Кандове А.Л., Шукри О.А.А. Методические указания по выполнению лабораторной работы: «Сценарные оценки будущего климата на основе моделей общей циркуляции атмосферы и океана и данных проекта CMIP5». Санкт-Петербург, изд. РГГМУ, 2015. 46 с.
3. About the WCRP CMIP5 Multi-Model Dataset Archive at PCMDI: [http://www.pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php](http://www.pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php)
4. Atmospheric Model Intercomparison Project: <http://www.pcmdi.llnl.gov/projects/amip/index.php>.
5. Gates W.L. AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 1992. V. 73. P. 1962-1970.
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). The physical science basis. In: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge: Cambridge University Press. 2013. 1552 p.

## **Оценка эффективности методики краткосрочного прогноза нарастания толщины льда для Северного Каспия**

*Ж.К. Наурызбаева*

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан

*e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru*

**Цель:** Оценить эффективность и оправдываемость метода краткосрочного прогноза нарастания толщины льда.

### **Задачи:**

1. Выполнить прогноз нарастания льда Северного Каспия на основе синоптического прогноза с заблаговременностью 1 сутки.
2. Выполнить прогноз нарастания льда Северного Каспия на основе синоптического прогноза с заблаговременностью 3 суток.
3. Выполнить прогноз нарастания льда Северного Каспия на основе прогностических данных модели WRF с заблаговременностью 1 сутки.
4. Разработать форму прогноза для предоставления потребителю.
5. Проведение сравнительного анализа результатов прогнозирования с применением синоптического прогноза и прогноза по модели WRF.
6. Оценки эффективности и оправдываемости метода прогноза нарастания толщины льда
7. Внедрение в оперативную работу прогнозирования гидрометеорологических параметров
8. Разработка и утверждение норм времени, утверждение применение методики.

Ледовый период на Северном Каспии, как правило, начинается в ноябре [2]. Зима 2020-2021 гг. для Северного Каспия отнесена, согласно общепринятой классификации суровости зим, к умеренным зимам. Первые ледовые явления на станции Пешной были зафиксированы 15 ноября 2020 г. в виде образования заберегов, становления припая с последующим замерзанием акватории. Со 2 декабря начали измерять толщину льда, с отметки 9 см. На станции Жанбай первые явления зафиксированы 27 ноября, толщина льда была 6 см.

С данного периода велись ежедневные записи данных наблюдений, а также прогностические температуры воздуха синоптического прогноза и прогноза по модели WRF. При чем, синоптических прогноз осуществлялся по станции Атырау, а по модели WRF для точек, соответствующих местоположению станций Пешной и Жанбай.

Рассматривая исторический период с 1980 по 2019 гг. максимальная толщина в декабре была в 2014 г. и составила 14 и 11 см на станциях Пешной и Жанбай соответственно. А в 2020 г. толщина льда в декабре на Пешном достигла 32 см, на станции Жанбай – 38 см, тем самым установлен новый рекорд за последние 40 лет. Также в январе максимальная толщина достигла 41 см на станции Жанбай, превзойдя отметки, установленной в 2008 г. в 40 см.

Разработана форма представления прогноза для потребителей, включающая фактические и прогностические толщины льда в табличном и графическом виде, исторические сведения, космический снимок. Для предоставления исторических данных был проанализирован временной ряд данных с 1980 г. по 2019 г. За зимний период с 02.12.2020 г. по 28.02.2021 г. рассчитано 88 суточных прогноза, выпущено 25 прогнозов на 3 суток.

Оправдываемость прогноза толщины льда на сутки по станции Пешной на основе синоптического прогнозирования температуры воздуха для станции Атырау, составила 98%. Таким образом, из 88 прогнозов оправдалось 86. Оправдываемость прогноза на 3 суток чуть меньше, и составила 92%, оправдалось 81 прогноз из 88.

Для станции Жанбай: на сутки оправдалось 97% (85 прогнозов из 88) и на 3 суток – 83% , что составило 73 прогноза из 88.

Что касается данных по модели WRF, то результаты очень высоки и близки к 100%. Для станции Пешной – 99%, для Жанбая – 98%.

Проводя сравнительный анализ температуры воздуха фактической по станциям и прогностической по модели WRF, а также между фактической и прогностической по синоптическому прогнозу по станции Атырау, выявлено: что оба метода прогнозирования хорошо отражают прогнозируемые величины. Оправдываемость прогноза достаточная, но нее всегда хорошо прогнозируются резкие понижения температуры воздуха, что сказывается на прогнозе нарастания льда.

Основные выводы:

- Разработанная методика краткосрочного прогноза нарастания толщины льда в оперативной работе показала высокую оправдываемость.
- Оправдываемость суточных прогнозов составила 97-98% с использованием синоптического прогноза.
- Оправдываемость прогноза с заблаговременностью 3 суток составила 92 и 83%.
- Использование данных по модели WRF на сутки дало высокий результат и составила 98-99%.
- Разработана форма представления прогноза для потребителей, включающая фактические и прогностические толщины льда в табличном и графическом виде, исторические сведения, космический снимок.
- Проведен сравнительный анализ прогностических температур воздуха синоптическим методом и по модели WRF.

**Заключение.** Согласно наставлению по службе прогнозов, раздел 3, часть III, служба морских гидрологических прогнозов, при прогнозах ледовых явлений методику краткосрочного прогнозирования следует считать эффективной, если с помощью ее оправдываемость составляет 75% [1, 3, 5]. Таким образом, предлагаемая методика полностью оправдывает решение о внедрении в оперативную работу прогнозирования. Более подробная информация дана в работе [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиевский Ю.М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Л.: ЛГМИ, 1982. 99 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей, том VI. Каспийское море. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. Вып. 1. 359 с.
3. Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть III, служба морских гидрологических прогнозов. Зарегистрирован ЦМТР ФГБУ "НПО "Тайфун", за номером РД 52.27.759-2011 от 21.11.2011 г. 193 с.
4. Наурузбаева Ж.К., Лобанов В.А. Методика краткосрочного прогнозирования нарастания толщины льда в северо-восточном секторе Каспийского моря. Научный журнал «Географический вестник» Пермского государственного национального исследовательского университета. 2020. № 3(54). С. 81-97. <http://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/3733>
5. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат. 1994. 525 с.

## **Изменения гидролого-гидрохимического режима Северного Каспия в условиях меняющегося климата**

*Е.В. Островская, Е.В. Гаврилова, С.А. Варначкин*

Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

*e-mail: kaspniz@mail.ru*

Целью данной работы является анализ изменений основных гидролого-гидрохимических характеристик морской среды северной части Каспийского моря под влиянием климатических изменений, наблюдаемых с 1996 г. Рассматриваются современные изменения температуры воздуха, речного стока, уровня Каспийского моря, а также основных характеристик его гидролого-гидрохимического режима (температуры и солености морских вод, содержания растворенного кислорода). Оценка современных изменений приводится в сравнении с предыдущим периодом трансгрессии уровня моря (1978-1995 гг. [1]).

### **Температура воздуха**

Наши исследования показали, что в северо-западной части Каспийского моря отмечается значительное изменение температуры воздуха за последние 27 лет. Это проявляется, прежде всего, в аномальном увеличении температур в холодное время года. Средняя многолетняя температура стала выше, особенно в январе, феврале, марте и октябре, наблюдается и рост среднегодовой температуры на 1-2°C. По материалам Института глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля, температура воздуха в северной части Прикаспийского региона растет в среднем со скоростью около 0,46 °C/10 лет; наиболее быстрый рост наблюдался за период 1991-2000 гг.: более чем на 1 °C. Наибольшая средняя сезонная скорость потепления отмечена летом: 0,57 °C/10 лет. Весной, начиная с середины 1980-х гг., наблюдается еще более быстрый рост температуры – около 0,77 °C/10 лет.

### **Сток Волги**

Снижение увлажненности в последние 30 лет отмечается на всей территории Волжского бассейна, особенно это характерно для его южной части. В целом, повышение водного стока отмечается только в бассейне Камы. Среднемноголетний сток Волги в вершине дельты с 1996 г. снизился до 236 км<sup>3</sup> по сравнению с предыдущим периодом (267 км<sup>3</sup>). Изменились и характеристики половодья, важнейшего гидрологического события для устойчивости экосистем Волго-Каспия. Снизился объем водного стока (в среднем, со 161 до 145 км<sup>3</sup>). Продолжительность половодья уменьшилась до 67 дней, это меньше, чем даже в предшествующий маловодный период (до 1978 г.), когда половодье в среднем длилось 74 дня. Пик половодья сместился с последней декады мая на его середину (15 мая) [2].

### **Уровень моря**

Уровень Каспийского моря чрезвычайно чувствителен к изменению климатических условий в его бассейне и может служить их индикатором. За период инструментальных наблюдений за уровнем размах его колебаний достигал 4 м, от –25,3 м в восьмидесятых годах XIX-го столетия до –29,0 м в 1977 г. В 1978-1995 гг. происходит резкое повышение уровня, достигшее к 1995 г. 2,5 м [1]. С конца 1990-х гг. уровень моря начал снижаться, и к 2020 г. достиг отметки –28,23 м. БС. В текущем году ожидается дальнейшее падение уровня еще на 15-20 см.

### **Температура морских вод**

По данным Росгидромета, в среднем на 1,5-2,0°C выросла и температура воды в море. По сравнению с предыдущим периодом отмечаются более высокие средние температуры поверхностного слоя воды летом и осенью. А в период половодья, наоборот, температура воды снизилась. Это связано с тем, что в условиях маловодья возрастает регулирующая роль Волжского каскада водохранилищ, который, стремясь сэкономить воду, сокращает фазу подъема половодья. Сокращенное время подъема волны половодья при высокой интенсивности роста уровня приводит к тому, что водные массы не успевают прогреться [2]. Необходимо отметить также заметный рост температуры воды в осеннюю межень, в среднем она увеличилась на 36% по сравнению с предшествующим периодом. При этом практически исчезла разница в средних температурах между мелководным и глубоководным районами моря.

### **Соленость морских вод**

В последние годы соленость вод Северного Каспия увеличилась в среднем на 2‰ по сравнению с предыдущим периодом благодаря снижению объемов речного стока. Осолонение произошло, в основном, за счет придонных вод. В придонном слое отмечалось статистически значимое увеличение солености для всех гидрологических сезонов и на всей акватории северо-западной части моря. Повышение солености в поверхностном слое, в основном, характерно для мелководной зоны во время половодья и летней межени, осенью же, напротив, здесь наблюдаются более низкие величины солености. В глубоководных районах статистически значимым было увеличение солености (в пределах 1‰) только в период половодья. Современный период отличается большей пространственной неоднородностью полей температуры и солености по сравнению с предшествующим периодом 1978-1995 гг., что, вероятно, связано с ослаблением влияния стоковых течений из-за уменьшения объемов поступления в море пресных речных вод. Снижение объемов волжского стока в настоящее время и понижение уровня моря привело к тому, что на акватории стали более заметны локальные системы течений, определяемые орографией дна.

### **Кислородный режим вод**

Растворимость кислорода зависит от температуры воды, поэтому его концентрация в воде Северного Каспия возрастает весной и осенью, уменьшается летом. С повышением температуры морской воды связано наблюдаемое в последние годы

снижение содержания в ней растворенного кислорода. Наши исследования показывают, что в среднем в последние годы по сравнению с предыдущим периодом (1978-1995 гг.) среднегодовой показатель насыщения вод кислородом снизился примерно на 3,5% в глубоководной зоне Северного Каспия (с глубинами более 5-7 м). Также наблюдается большая пространственная неоднородность концентрации кислорода по сравнению с многоводным периодом, что, связано с упомянутыми выше изменениями термохалинной структуры вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада ЛТД, 2016. 378 с.
2. Горелиц О.В., Ермакова Г.Е., Терский П.Н. Гидрологический режим Нижней Волги в современных условиях // Метеорология и гидрология. 2018. №10. С.27-39.

## **Современные изменения атмосферных осадков на Абшеронском полуострове Азербайджана**

<sup>1</sup> С.Г. Сафаров, <sup>1</sup> Э.С. Сафаров, <sup>2</sup> Дж.С. Гусейнов, <sup>3</sup> Н.Н. Исмайылова

<sup>1</sup>Институт географии им. Г.Алиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку,  
Азербайджан

<sup>2</sup> ЗАО Азербайджан Хава Йоллары, Азераэронавигация УВД, Баку, Азербайджан

<sup>3</sup>Национальная Служба Гидрометеорологии МЭПР Азербайджана, Баку, Азербайджан

*e-mail: safarov53@mail.ru*

Как известно, в последние годы в большинстве регионов мира наблюдается повышение температуры воздуха. Так как температура воздуха является важнейшей характеристикой климата, изменение ее статистических характеристик может привести к перестройке процессов тепло- и влагообмена в атмосфере, что в свою очередь влияет на процессы формирования атмосферных осадков

На фоне значительного повышения температуры воздуха в большей части Республики Азербайджан, особенно на равнинных территориях, наблюдается значительное сокращение осадков, которое приводит к засухе и создает серьезные проблемы в сельском хозяйстве, экологии, водоснабжении и т.д. Наоборот, некоторое увеличение осадков наблюдается в отдельных местах южного склона Большого Кавказа. Изменения в режиме осадков проявляются не только в увеличении или же уменьшении их количества, но и в повторяемости случаев с интенсивными осадками, которые чаще всего сопровождаются опасными явлениями, такими как град, наводнения, селевые потоки и т.д. [1].

В холодный период года на Абшеронском полуострове, особенно в г. Баку участились случаи выпадения интенсивных осадков, в результате которых наносится значительный ущерб городской инфраструктуре, и активизировались оползневые процессы. По этой причине, большой интерес представляет изучение изменения режима осадков на Абшеронском полуострове и прилегающей к нему морской акватории. Расположение на данной территории г. Баку и третьего по величине в республике г. Сумгайыт повышает актуальность данной проблемы. С другой стороны, так как атмосферные осадки являются одним из важных элементов водного баланса Каспийского моря, их изменения могут повлиять на колебания уровня моря.

В этой работе по данным наблюдений 6 гидрометеорологических станций (Сумгайыт, Баку, Маштага, Чиров, Пираллахы и Нефт Дашлары) за 1961-2017 гг. исследуется характер изменения режима атмосферных осадков на Абшеронском полуострове.

В качестве климатических норм осадков были использованы данные за период 1961-1990 гг. Рассчитаны среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые суммы

осадков, их аномалии и значения стандартных отклонений для периодов 1961-1990 и 1991-2017 гг.

Во временных изменениях годовых осадков наблюдаются различные тенденции. Особый интерес представляет статистически значимый положительный линейный тренд для ст. Баку и отрицательный тренд для морских станций Чиллов и Нефт Дашлары при уровне значимости 5%.

Характерной чертой современных климатических изменений в режиме атмосферных осадков исследуемого региона является то, что для всех наземных станциях в холодное полугодие наблюдается увеличение осадков, а в теплое – уменьшение. Наиболее значительное увеличение осадков наблюдается в осенние месяцы. На морских станциях наблюдается несколько иная картина: уменьшение осадков наблюдается как в теплом, так и в холодном полугодиях, однако величина уменьшения осадков в теплом полугодии значительно больше (табл. 1).

Таблица 1. Распределение аномалий осадков (мм) по сезонам и полугодиям за 1991-2017 гг.

Станции	Сезоны			Полугодия		
	Зима	Весна	Лето	Осень	Холодное	Теплое
Сумгайыт	-0,9(28,0)	-8,7(28,4)	-2,0(21,6)	18,1(47,1)	17,2(57,0)	-10,7(47,3)
Баку	37,5*(51,4)	-8,8(30,0)	0,1(16,7)	48,6*(65,0)	86,1*(79,1)	-8,7(37,6)
Маштага	16,7(61,3)	-18,1*(29,5)	-0,5(12,6)	16,2(73,1)	32,9(74,9)	-18,6*(33,6)
Пираллахы	5,9(36,6)	-13,0(24,9)	-1,2(10,3)	13,9(44,3)	19,8(50,5)	-14,2(31,2)
Чиллов	-9,4(29,0)	-19,7*(22,4)	-3,8(6,2)	-1,4(29,9)	-11,3(38,4)	-23,5*(48,4)

**Примечание:** 1) в скобках стандартные отклонения;

2)\* - статистически значимые аномалии на уровне  $p=0,05$ .

Наряду с общими изменениями в количестве осадков, также большой интерес представляет изучение изменений повторяемости интенсивных осадков.

Установлено, что за период 1991-2017 гг. по сравнению с периодом 1961-1990 гг. число дней с количеством осадков, превышающим 10, 15, 20, 25, 30 мм, увеличивалось в 1,3-1,6 раза [2].

В последние годы в осенние месяцы интенсивные осадки в большинстве случаев представлены сильными ливнями с грозами, что свидетельствует об активизации конвективных процессов на рассматриваемой территории.

Как видно, изменения в режиме осадков в Абшеронском полуострове не вызывает сомнения и может быть связано с различными причинами. К ним можно отнести изменения в гидрометеорологическом режиме Каспийского моря, в том числе повышение температуры поверхности моря (ТПМ), изменения в характере атмосферной циркуляции, изменения характеристик суши и т.д.

Резкое увеличение количества осадков и числа дней с интенсивными осадками в осенне-зимний период на Абшеронском полуострове, особенно в г. Баку, привело к возникновению ряда проблем, в том числе к затоплению улиц и тоннелей, к

подъему уровня грунтовых вод и т.д. Активизация в последние годы оползневых процессов в различных районах г. Баку также может быть объяснено увеличением количества и интенсивности осадков в осенне-зимний период. Также большую тревогу вызывает сокращение осадков на морской поверхности, которое на фоне повышения ТПМ и, соответственно, увеличения испарения может привести к дальнейшему понижению уровня Каспийского моря.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Сафаров С.Г., Сафаров Э.С., Гусейнов Дж. С., Исмайлова Н.Н. Современные изменения атмосферных осадков на Каспийском побережье Азербайджана // Океанологические исследования. 2020. Том 48. № 1. С. 27–44.
2. Mammadov R.M., Safarov S.H., Safarov E.S. Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan // Geography and Natural Resources. Elsevier. 2009. V. 30(4). P. 403-407.

Перевод с английского

## **Оценка моделирования климата в регионе Каспийского моря**

*К.Х. Штадельмайер, П. Людвиг, Х.Г. Пинто*

Институт метеорологии и климатических исследований (ИМК), Технологический институт Карлсруэ (KIT), Карлсруэ, Германия

*e-mail:* kim.stadelmaier@kit.edu

Каспийское море – крупнейший внутренний водоем в мире, расположенный в нескольких климатических зонах [9, 11]. Его уровень воды изменялся на несколько метров в недавнем прошлом [1, 2] и с момента своего развития претерпел несколько фаз регрессий и трансгрессий с амплитудой более 100 м [10, 11]. Такие разные уровни воды приводят к большим колебаниям площади озера и доступности влаги в атмосфере и, таким образом, влияют на региональный климат [6, 10, 13].

Мы анализируем климат в регионе Каспийского моря в рамках моделирования доиндустриальной контрольной (и/или исторической) климатической модели, проведенного в рамках фазы 6 проекта по сопоставлению сопряженных моделей (CMIP6) [8] в сравнении с данными реанализа ERA5 [7]. Будут определены ключевые климатические особенности региона Каспийского моря, и будет изучено, насколько хорошо климат региона Каспийского моря представлен в современных глобальных климатических моделях. Мы предполагаем, что сложный рельеф, представленный грядками Кавказских гор, и резкий орографический переход между Каспийским морем и горами Эльбурс требуют более высокого разрешения пространственной модели для представления региональной циркуляции атмосферы и климата [5, 12, 15]. Этого можно достичь с помощью региональных климатических моделей, которые будут построены в качестве следующего шага.

Наши результаты будут использованы не только для современных условий, мы также проанализируем климат региона Каспийского моря за отдельные периоды времени, такие как Последний ледниковый максимум (ПЛМ, 20 000 лет н. э.) [3] и Последний межледниковый период (ПМЛП, 127 000 лет н. э.) [4]. Глобальный климат и пограничные условия в эти палеопериоды были существенно иными, чем сегодня. Например, во время ПЛМ большие ледяные щиты покрывали северное полушарие, а концентрация парниковых газов в атмосфере была ниже, чем сегодня, что привело к значительно более холодному и сухому глобальному климату [3]. ПМЛП, напротив, может служить частичным аналогом будущего изменения климата, поскольку средние глобальные температуры были на 1-2°C выше, чем сегодня [4, 14].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arpe K., Molavi- Arabshahi M., Leroy S.A.G. Wind variability over the Caspian Sea, its impact on Caspian seawater level and link with ENSO. *International Journal of Climatology*. 2020. V. 40(14). P. 6039-6054, <https://doi.org/10.1002/joc.6564>.
2. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.F., Safarov E.S. Long- term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*. 2017. V. 44(13). P. 6993-7001, <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>.
3. Clark P.U., Dyke A.S., Shakun J.D., Carlson A.E., Clark J., Wohlfarth B., Mitrovica J.X., Hostetler S.W., McCabe A.M. The last glacial maximum. *Science*. 2009. V. 325(5941). P. 710-714, <https://doi.org/10.1126/science.1172873>.
4. Dutton A., Carlson A.E., Long A.J., Milne G.A., Clark P.U., DeConto R., Horton B.P., Rahmstorf S., Raymo M.E. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science*. 2015. V. 349(6244), <https://doi.org/10.1126/science.aaa4019>.
5. Elguindi N., Solmon F., Turuncoglu U. Quantifying some of the impacts of dust and other aerosol on the Caspian Sea region using a regional climate model. *Climate Dynamics*. 2016. V. 46(1-2). P. 41-55, <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2566-5>.
6. Farley Nicholls J., Toumi R. On the lake effects of the Caspian Sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2014. V. 140(681). P. 1399-1408, <https://doi.org/10.1002/qj.2222>.
7. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R.J., Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., de Rosnay P., Rozum, I., Vamborg F., Villaume S., Thépaut J.-N. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc*. 2020. V. 146. P. 1999–2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
8. Kageyama M., Albani S., Braconnot, P., Harrison S.P., Hopcroft P.O., Ivanovic R.F., Lambert F., Marti O., Peltier W.R., Peterschmitt J.-Y., Roche D.M., Tarasov L., Zhang X., Brady E.C., Haywood A.M., LeGrande A.N., Lunt D.J., Mahowald N.M., Mikolajewicz U., Nisancioglu K.H., Otto-Bliesner B.L., Renssen H., Tomas R.A., Zhang Q., Abe-Ouchi A., Bartlein P.J., Cao J., Li Q., Lohmann G., Ohgaito R., Shi X., Volodin E., Yoshida K., Zhang X., Zheng W. The PMIP4 contribution to CMIP6 – Part 4: Scientific objectives and experimental design of the PMIP4-CMIP6 Last Glacial Maximum experiments and PMIP4 sensitivity experiments, *Geosci. Model Dev*. 2017. V. 10. P. 4035–4055, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4035-2017>.
9. Kosarev A.N., Kostianoy A.G., Zonn I.S., Zhiltsov S.S. The Caspian Sea and Karabogaz-gol bay. In: *The Turkmen Lake Altyn Asyr and Water Resources in Turkmenistan*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. P. 69-94. [https://doi.org/10.1007/698\\_2013\\_228](https://doi.org/10.1007/698_2013_228).
10. Krijgsman W., Tesakov A., Yanina T., Lazarev S., Danukalova G., Van Baak C.G., Agustí J., Alçiçek M.C., Aliyeva E., Bista D., Bruch A., Büyükmeriç Y., Bukhsianidze M., Flecker R., Frolov P., Hoyle T.M., Jorissen E.L., Kirscher U., Koriche S.A., Kroonenberg

S.B., Lordkipanidze D., Oms O., Rausch L., Singarayer J., Stoica M., van de Velde S., Titov V.V., Wesselingh F.P. Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: Interbasinal connectivity and faunal evolution. *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 188. P. 1-40, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.013>.

11. Kroonenberg S.B., Rusakov G.V., Svitoch A.A. The wandering of the Volga delta: a response to rapid Caspian Sea level change. *Sedimentary Geology*. 1997. V. 107(3-4). P. 189-209, [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(96\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(96)00028-0).

12. Ludwig P., Gómez- Navarro J.J., Pinto J.G., Raible C.C., Wagner S., Zorita E. Perspectives of regional paleoclimate modeling. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2019. V. 1436(1). P. 54, <https://doi.org/10.1111/nyas.13865>.

13. Rodionov S. Global and regional climate interaction: the Caspian Sea experience (Vol. 11). Springer Science & Business Media, 1994.

14. Scussolini P., Bakker P., Guo C., Stepanek C., Zhang Q., Braconnot P., Cao J. Guarino M.-V., Coumou D., Prange M., Ward P. J., Renssen H., Kageyama M., Otto-Bliesner B., Aerts, J.C.J.H. Agreement between reconstructed and modeled boreal precipitation of the Last Interglacial. *Science advances*. 2019. V. 5(11), <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax7047>.

15. Turuncoglu U.U., Elguindi N., Giorgi F., Fournier N., Giuliani G. Development and validation of a regional coupled atmosphere lake model for the Caspian Sea Basin. *Climate dynamics*. 2013. V. 41(7-8). P. 1731-1748, <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1623-6>.

## **Штормовые нагоны в северной части Каспийского моря и атмосферная циркуляция**

*Г.В. Суркова, В.С. Архипкин, И.А. Охлопков*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: galina\_surkova@mail.ru*

### **Введение**

На фоне происходящих изменений климата происходят изменения режима различных компонентов климатической системы и связанных с ними явлений, включая опасные гидрометеорологические явления, к которым относятся штормовые нагоны. Исследование посвящено современным изменениям режима нагонов в Северном Каспии и связанных с ними синоптических ситуациях.

### **Материалы и методы**

Моделирование максимальных колебаний нагонов в Каспийском море проводилось с использованием модели ADCIRC. Критерием определения нагонных явлений является перепад уровня воды. Для составления календаря нагонов отобраны случаи, где нагон превышал один метр. По результатам моделирования выявлено 49 случаев образования сгонов и нагонов в период 1990-2015 гг. Также оценивалась площадь затопления территории в результате действия нагона, выраженная в процентном соотношении от максимально возможной площади затопления.

Для исследования и описания синоптических факторов формирования нагонных явлений использовалась информация об атмосферном давлении на уровне моря и геопотенциала на высоте 500 гПа на основе данных реанализа ERA5. Для каждого из 49 случаев нагона анализировались аномалии атмосферного давления и геопотенциала, т.е. их отклонение от средних многолетних значений за период 1990-2015 гг.

### **Результаты и выводы**

Годовой ход числа нагонов в месяц в северной части Каспия представлен на рис. 1. Начиная с мая по сентябрь число нагонов минимально или вообще отсутствовало в выбранный период 1990-2015 гг.

Поля аномалий давления и геопотенциала для случаев нагонов были сгруппированы с учетом их конфигурации и взаимного расположения барических образований, в результате получилось две основные группы. В первой, группе (53% случаев) четко выражена картина расположения крупных аномалий высокого давления – антициклонов к северу, северо-востоку от изучаемого региона. Вторая группа определяется вторжением циклонов в регион ЕТР, Кавказа и Северного Каспия, что отображается в картосхемах отрицательными аномалиями давления (синий цвет).

Взаимное расположение циклонов и антициклонов в большинстве случаев этого типа может усиливать уже существующие барические контрасты между центрами циркуляции, тем самым увеличивая показатели полей скорости ветра. На рис. 2 приведены композитные картосхемы полей для этих двух типов.

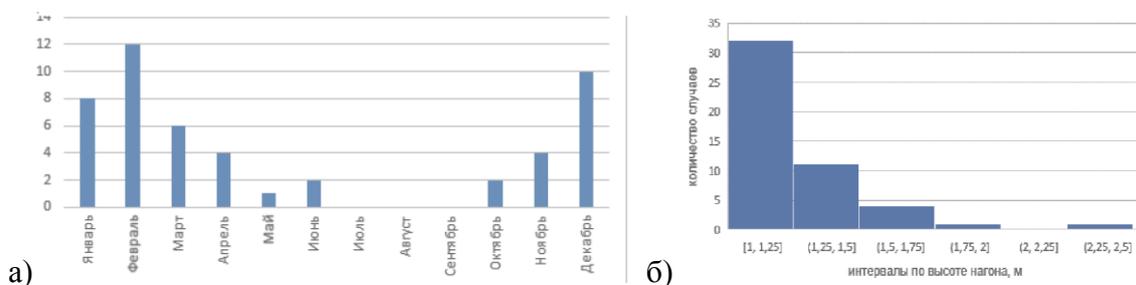


Рис 1. Годовой ход числа нагонов в месяц (а) и повторяемости высоты нагонов по данным за весь период (б)

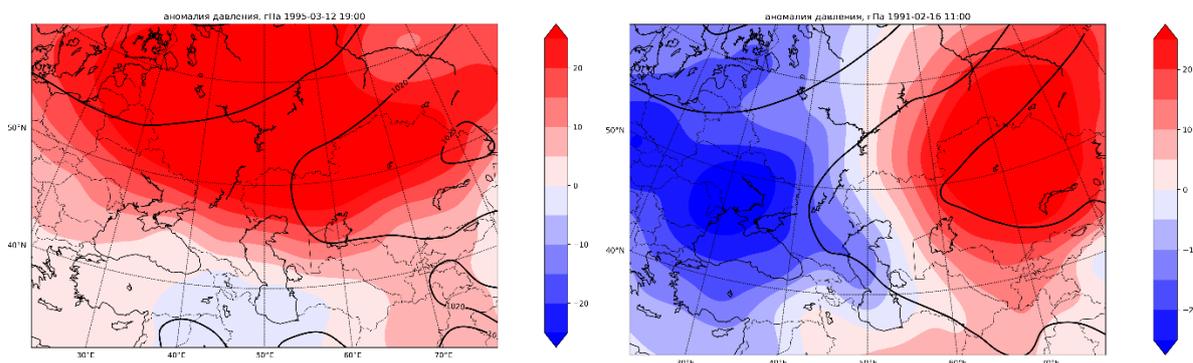


Рис 2. Основные типы приземной циркуляции: слева – первый тип, справа – второй

В итоге на основе полученных результатов получен календарь нагонов на севере Каспия, на основе которого собрана электронная база данных по атмосферному давлению и геопотенциалу для случаев нагонов. Показано, что большая часть нагонов (87% случаев от зафиксированных моделью), имеют высоту до 1,25 метров, при этом для большей части выборки высота не превышает 1,5 м. Выявлено, что площадь затопления территории, в результате действия нагона, выраженная в процентном отношении от максимально возможной площади затопления в среднем составляет 41,5%. В виду того, что параметр максимально возможной площади затопления зависит от среднегодового уровня Каспийского моря, в случае рассмотрения данного явления с точки зрения ведения хозяйственной деятельности в прибрежной зоне, количественные оценки затопления территории будут меняться. Тем не менее, данный показатель интерпретирует качественный показатель затопления территории и характеризует мощность, или потенциальную опасность образования нагонов на данной территории.

Анализ полей приземного давления и H500 позволил выделить два основных типа барических полей, сопровождающих нагоны. Для обоих типов свойственны ветра южных и юго-восточных направлений. Впервые на основе такого длинного ряда данных о факте нагона, полученного на основе моделирования, анализируются особенности временной изменчивости нагонов за 25 лет на фоне современных изменений климата.

## **Прогноз стока рек российской части водосборного бассейна Каспийского моря**

*В.О. Татарников, Д.Р. Светашева, Д.Х. Азмухамбетова, И.В. Гонтовая*

Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

*e-mail: svetashvadr@yandex.ru*

Наблюдающееся в последнее десятилетие повышение температуры приземного слоя воздуха будет способствовать изменениям функционирования природных систем и хозяйственной деятельности человека. Для региона Каспийского моря важным следствием этих изменений является их влияние на объем речного стока. Изменение объемов речного стока, а также уровня воды в реках, обусловленные изменением климата, зависят в первую очередь от изменений количества и сроков выпадения осадков [1]. Изменение режима, интенсивности и экстремальных величин осадков может повлиять на величину поступления речных вод в Каспийское море. Целью исследования является оценка будущих изменений стока рек Прикаспийского региона России (Волга, Терек и Сулак) с помощью глобальных климатических моделей.

Материалами исследования послужили данные по среднегодовому количеству атмосферных осадков находящиеся в свободном доступе (интернет-агрегатор метеорологических данных «Погода и климат»), а также архивные данные КаспМНИЦ по среднегодовому стоку рек. Предполагаемые изменения количества атмосферных осадков на протяжении нынешнего столетия брались из данных сценарных прогнозов на основании глобального моделирования пятой фазы международного проекта сравнения объединенных моделей (CMIP5). Анализ полученных рядов данных проводился с использованием возможностей MS Excel.

Теоретической предпосылкой исследования послужило предположение о зависимости объема речного стока от количества выпадающих на водосборном бассейне рек атмосферных осадков. Сопоставление рядов данных атмосферных осадков и стока рек с 1961 по 2019 гг. позволило получить регрессионные зависимости стока от количества атмосферных осадков. Мы приняли, что полученная зависимость будет сохраняться на протяжении всего периода исследования, рассчитанного до конца XXI века.

Анализ трендов сумм осадков, проведенный для речных бассейнов Волги, Терека, Сулака и Урала, показал наличие статистически достоверных связей их стока с количеством атмосферных осадков. Особенно выраженная связь наблюдалась для Волги и Урала. Уравнение линейной регрессии зависимости стока и осадков было получено в результате статистического анализа многолетних данных. Данные осадков по водосборным бассейнам за базовый климатический период (1981-2000 гг.) были получены на основании данных справочно-информационного портала «Погода и климат», объемы речного стока за аналогичный период получены на государственной наблюдательной сети Росгидромета.

Полученное уравнение было использовано для оценочного прогноза стока на территории Российской части водосборного бассейна Каспийского моря. Изменения климата рассматриваются для начала (2011-2030 гг.), середины (2041-2060 гг.) и конца (2080-2099 гг.) XXI века, по отношению к базовому климатическому периоду [2]. Для этого в уравнение были подставлены ожидаемые значения осадков, вычисленные по сценарным прогнозам Климатического центра Росгидромета на основе глобальных моделей (CMIP5) [2] в условиях сценариев семейства RCP (Representative Concentration Pathways) [3].

Анализ проведенных расчетов свидетельствует об увеличении осадков и показывает рост обеспеченности стока водосборного бассейна Каспийского моря на территории РФ (табл. 1), по сравнению с периодом 1936-2019 гг. (табл. 2), несмотря на потепление климата: по данным тех же климатических моделей, среднегодовая температура воздуха в периоды 2041-2060 гг. и 2080-2099 гг. на исследуемой территории увеличится в среднем на 3°C.

Таблица 1. Прогноз объемов стока основных водных артерий водосборного бассейна Каспийского моря (км<sup>3</sup>)

Период	Сценарий RCP														
	р. Волга			р. Урал			р. Терек			р. Сулак			Суммарное		
	2.6	4.5	8.5	2.6	4.5	8.5	2.6	4.5	8.5	2.6	4.5	8.5	2.6	4.5	8.5
2011-2030 гг.	258,0	257,3	258,0	9,9	9,9	9,9	7,7	7,7	7,7	4,9	4,9	4,9	280,5	279,8	280,5
2041-2060 гг.	258,0	260,2	260,6	9,9	9,9	9,9	7,7	7,7	7,7	4,9	4,9	4,9	280,5	282,7	283,2
2080-2099 гг.	258,0	272,3	278,6	9,9	10,2	10,6	7,7	7,7	7,6	4,9	4,9	4,7	280,5	295,1	301,5

Таблица 2. Среднегодовое количество стока основных водных артерий Северного Каспия

Водный объект	Объем стока, км <sup>3</sup>	Период наблюдений
р. Урал	8,1	1936-2017
р. Терек	6,4	1965-2019
р. Сулак	4,8	1976-2019
р. Волга	242,2	1961-2019
Всего	261,5	

Однако, по прогнозам Государственного океанографического института, уровень Каспийского моря в ближайшие десятилетия будет понижаться. Для Волги, рост обеспеченности речного стока приведет к увеличению скорости течения в основных водотоках русловой сети ее водосборного бассейна, и, как следствие, к интенсификации эрозионных процессов. Это, в свою очередь, может привести к отмиранию боковых водотоков, обеспечивающих водой мелкие сельскохозяйственные предприятия в устьевой области Волги. Конус дельты в таких условиях, выносится в море, что может привести к пересыханию водотоков в селах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Изменение климата и водные ресурсы / Б.К. Бэйтс, З.В. Кундцевич, С.У.Ж.П. Палютикоф (ред.). Изменение климата и водные ресурсы. Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Женева: Секретариат МГЭИК, 2008 г. 228 стр.
2. Климатический центр Росгидромета: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (дата обращения 30.08.2021).
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – Москва. 2014. – 94 с.

## **Временное и пространственное изменение волн тепла в Прикаспийском регионе России**

*В.О. Татарников, И.В. Гонтовая*

Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

*e-mail: Irinagontovaya7\_74@mail.ru*

В условиях изменения климата увеличивается число гидрометеорологических опасных явлений, как в мире, так и на территории России [1], что вызывает необходимость изучения их причин, поскольку они оказывают негативное воздействие на различные отрасли экономики и окружающую среду, с учетом особенностей географического региона. В условиях глобального потепления климата изучение числа, частоты и продолжительности волн тепла становится все более актуальным, особенно для сельского хозяйства, здравоохранения и водных ресурсов.

Исследование характеристик волн тепла проводилось для российского сектора прикаспийского региона (Астраханская область, Республика Калмыкии и Республика Дагестан). Климат прикаспийского региона в основном засушливый с отчетливым пространственным изменением температуры приземного воздуха под влиянием различных климатических особенностей. Горная часть прикаспийского региона России целиком лежит в зоне умеренного климатического пояса южной зоны [2].

Для расчета климатических индексов, основанных на ежедневных данных о максимальной и минимальной температуре воздуха, использовалось программное обеспечение Climpract (ETCCDI) [3]. Материалами исследования послужили ряды наблюдений за максимальной суточной, минимальной суточной температурой воздуха и количеством выпавших за сутки атмосферных осадков на станциях Астрахань, Верхний Баскунчак, Элиста, Лагань, Яшкуль, Махачкала, Дербент, Буйнакск за период с 1961 по 2020 гг., где 1961-1990 гг. считался стабильным базовым периодом. Для последующих 30-ти летних периодов (1971–2000, 1981–2010, 1991-2021 гг.) рассчитывались средние характеристики волн тепла.

Возможности программы Climpract позволяют анализировать около 100 различных индексов. Используя сравнение дисперсий индексов за стабильный базовый период и за последний 30-летний период, мы определили наличие значимых различий между периодами. Из полученных индексов, имеющих существенные различия, были выбраны четыре, которые наблюдались на наибольшем количестве гидрометеорологических станций. В числе выбранных индексов оказались параметры индекса HWF, а также индекс HWD, описывающие различные характеристики волн тепла.

Для расчета волн тепла использовались два температурных индекса на основе процентилей: 90-й процентиль TX (максимальная температура), когда TX > 90-го

процентиля серии TX и 90-й процентиль TN (минимальная температура), где TN>90-го процентиля серии TN [1]. А также коэффициент избытка тепла (EHF), используемый в этом исследовании, комбинация двух индексов избыточного тепла (EHF), представляющих акклиматизацию к жаре (EHF (accl.)) и климатологическое значение (EHF (sig.)) [4].

Для расчета значения TX90p и TN90p брались только волны тепла, которые отмечались в период с мая по сентябрь. Под волной тепла мы понимали период продолжительностью в течение трех и более дней подряд, когда либо EHF является положительным, TX>90-го процентиля TX, либо TN<90-го процентиля TN [3]. Процентиля рассчитаны на основе базового периода, равного 30 годам. С помощью температурных индексов TX90p и TN90p были проанализированы годовые значения следующих индексов:

- продолжительность (в днях) самой длительной тепловой волны (HWD) в течение года, определяемая либо коэффициентом избыточного тепла (EHF), либо 90-м процентилем TX или 90-м процентилем TN, определенная HWN;
- частота тепловых волн (HWF), определяемая коэффициентом избыточного тепла (EHF), 90-м процентилем TX или 90-м процентилем TN, количество дней, которые способствуют возникновению волн тепла, согласно определению HWN;
- число тепловых волн (HWN), определяемое коэффициентом избыточного тепла (EHF), 90-м процентилем TX или 90-м процентилем TN.

Таблица 1. Изменение характеристик волн тепла на территории прикаспийского региона за период с 1961 по 2020 гг.

Регион	Период, гг.	EHF_ heatwave (HWF)	_tn90_ heatwave (HWF)	tx90_ heatwave (HWF)	tx90_ heatwave (HWD)
Астрахан- ская область	1961-1990	5	3	5	5
	1971-2000	5	4	6	5
	1981-2010	10	6	9	6
	1991-2020	16	9	14	7
Республика Дагестан	1961-1990	2	3	2	4
	1971-2000	3	3	3	5
	1981-2010	6	4	6	5
	1991-2020	15	8	11	6
Республика Калмыкия	1961-1990	4	2	4	5
	1971-2000	6	4	5	5
	1981-2010	9	6	8	6
	1991-2020	14	9	12	6

Все изученные индексы показывают увеличение значений в последний период в сравнении с базовым климатическим периодом. Наибольшее абсолютное увеличение значений к современному времени показал HWF. Для Республики Дагестан увеличение индекса произошло более чем в 7 раз. Наиболее стабильным оказался индекс HWD: в целом увеличение значений для него составило 1-2 пункта.

Наименее подверженной изменениям в характеристиках волн тепла оказалась территория Калмыкии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
2. Справочник по климату СССР. Вып. 13: Волгоградская, Ростовская и Астраханская области, Краснодарский и Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская и Северо-Осетинская АССР. Ч. 3. Ветер. М., 1967. 331 с.
3. Climpact Indices. URL: <https://climpact-sci.org/indices/#index> (дата обращения 10.08.2021).
4. Perkins S.E., Alexander L.V. On the Measurement of Heat Waves // Journal of Climate. 2013. V. 26 (13). P. 4500-4517.

Перевод с английского

## **Прогнозируемые изменения интенсивности осадков на южном побережье Каспийского моря с использованием многомодельного ансамбля CMIP6**

*А. Заррин, А. Дадаши-Рудбари*

Кафедра географии, Мешхедский университет им. Фирдоуси, Мешхед, Иран

*e-mail: zarrin@um.ac.ir*

### **Введение**

Осадки являются одной из ключевых климатических параметров, и любые изменения в их характеристиках (интенсивности и частоте) имеют большое значение. Увеличение частоты экстремального выпадения осадков может оказывать серьезное воздействие на людей, вызывая наводнения, эрозию почвы, нанося ущерб городской инфраструктуре и водным ресурсам, а также транспорту и безопасности общества [2]. Таким образом, анализ экстремальных изменений в выпадении осадков в этих районах, с одной стороны, формирует более подробную общую картину изменчивости осадков в регионе, а с другой стороны, помогает оценить риски и подготовиться к решению потенциальных проблем, вызванных такими экстремальными осадками. Целью данного исследования является изучение аномалий осадков с использованием простого суточного индекса интенсивности (SDII) и их прогнозирование до конца XXI века на южном побережье Каспийского моря.

### **Материалы и методы**

#### **1. Район исследования**

Район исследования - южное побережье Каспийского моря в Иране. Этот регион включает в себя три провинции: Голестан, Мазандаран и Гилян. Минимальная высота в данной местности составляет менее 26 метров, а максимальная - более 5600 метров в горном массиве Эльбурс. Каспийское побережье является самым дождливым регионом Ирана, поэтому важно изучить изменения его осадков в контексте изменения климата.

#### **2. Наблюдения и моделирование CMIP6 и данные сценариев**

Мы использовали данные об осадках моделей CMIP6 Проекта взаимного сравнения моделей межсекторального воздействия (ISIMIP), архивированные по первой реализации ('r1i1p1f1') для пяти глобальных климатических моделей (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL) (разрешение 0.5°). Временные ряды осадков (1975-2014 гг.) с наземных станций использовались для оценки исторических симуляций моделей CMIP6. Данные проекта ISIMIP используют систему WATCH Forcing Data применительно к ERA5 (W5E5) [1] для палеоклиматических данных до н. э.

Настоящее исследование дает оценку прогноза индекса SSDI согласно трем сценариям социально-экономических глобальных изменений (SSP) [3], включая SSP1-2.6 (низкий уровень смягчения последствий и адаптации), SSP3-7.0 (высокий уровень смягчения последствий и адаптации), и SSP5-8.5 (высокий уровень смягчения последствий, но низкий уровень адаптации). Для анализа индекса SDII мы разделили исследуемый отрезок времени на три 40-летних периода, а именно исторический период (1975-2014 гг.) и будущие периоды: 2021-2060 гг. (ближайшее будущее) и 2061-2100 гг. (отдаленное будущее).

Для создания многомодельного ансамбля (MME) был применен метод средневзвешенного значения независимости. Мы применили непараметрические экстремальные климатические индексы и конкретно ориентированные на индекс SDII, что отражает данные об интенсивности осадков за 10 дней, когда интенсивность осадков превышала 1 мм (влажные дни), под интенсивностью осадков понимается суточная сумма осадков. Этот показатель дает нам сведения о возможной убыли речного стока.

### **Результаты и обсуждение**

Изучение индекса SDII в исторический период на территории проведения исследования показывает, что в общем, индекс SDII колеблется между 4.6 и 13.8 мм/день на южном побережье Каспийского моря и достигает своего максимума в 13.8 мм/день на западном побережье. В южных частях исследуемых территорий индекс SDII меньше 10 мм/день. В целом, этот показатель является низким на южном побережье Каспия, несмотря на высокое годовое количество осадков. Это указывает на соответствующее распределение осадков в течение года, другими словами, на незначительное влияние экстремальных осадков на общее годовое количество осадков на южном побережье Каспия.

Изучение прогнозируемого индекса SDII на Каспийском побережье показывает, что в большинстве районов, за исключением Рамсара на западе провинции Мазандаран, можно наблюдать положительную аномалию. Максимальное повышение индекса SDII наблюдается в сценарии SSP5-8.5, согласно которому, в большинстве районов, особенно на восточном побережье Каспийского моря, положительная аномалия наблюдается при значении от 0.7 мм/день. Примечательно, что индекс SDII выше в ближайшем будущем (2100-2061 гг.) по сравнению с отдаленным будущим (2060-2021 гг.) (рис. 1).

Соответственно, роль экстремальных осадков по сравнению с годовым количеством осадков увеличивается. Прогнозы показывают, что индекс SDII на восточном побережье Каспийского моря выше, чем в западных районах. Из-за более сухого климата на центральном и западном побережьях Каспийского моря это увеличение представляет серьезную угрозу для управления открытыми водоемами. Кроме того, повышенная интенсивность осадков создает опасность наводнений на южном побережье Каспийского моря, согласно результатам использования многомодельного ансамбля CMIP6.

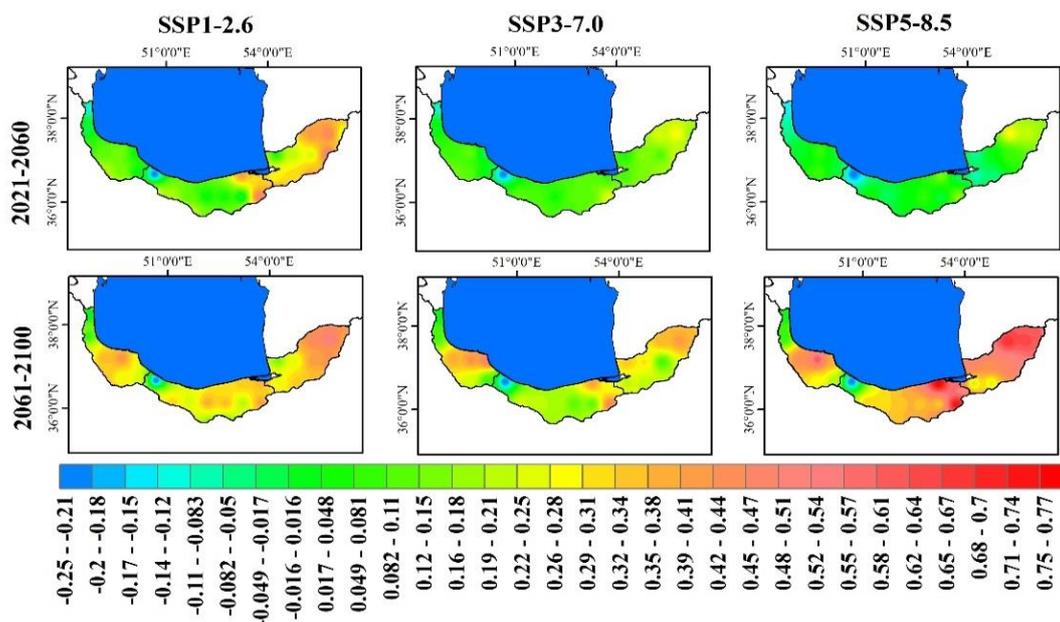


Рис. 1. Прогнозы индекса SDII, основанные на результатах использования многомодельного ансамбля CMIP6

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cucchi M., Weedon G. P., Amici A., Bellouin N., Lange S., Müller Schmied H. et al. WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies. *Earth System Science Data*. 2020. V. 12(3). P. 2097-2120.
2. Hoerling M., Wolter K., Perlwitz J., Quan X., Eischeid J., Wang H. et al. Northeast Colorado extreme rains interpreted in a climate change context. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2014. 95(9). P. S15-S18.
3. O'Neill B.C., Kriegler E., Riahi K., Ebi K.L., Hallegatte S., Carter T.R. et al. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*. 2014. V. 122(3). P. 387-400.

*Глоссарий (прим. пер.):*

CMIP6 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, проект сдвоенной модели взаимного сравнения шестого поколения

GCM – Global Climate Model, глобальная климатическая модель

Independence weighted mean method – Метод средневзвешенного значения независимости

ISIMIP – Inter-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project

MME – Multi Models Ensemble, многомодельный ансамбль

Non-parametric extreme climate indices – непараметрические экстремальные климатические индексы

RR – Rainfall rate, интенсивность осадков

SDII – Simple Daily Intensity Index, простой суточный индекс интенсивности

SSP – Shared Socioeconomic Pathways, социально-экономические глобальные изменения

## Роль использования данных спутниковых систем наблюдений в исследовании температуры поверхности воды Каспийского моря

*И.М. Зейналов, У.Х. Махмудова*

Институт географии им. Г. Алиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку,  
Азербайджан

*e-mail:* ismayil\_zeynalov@outlook.com

В результате аварий на нефтеналивных танкерах, или разрывов в подводных трубопроводах, нефть распределяется на водной поверхности моря тончайшим мономолекулярным слоем, способствуя условиям формирования климата при изменении температуры поверхности воды и дальнейшего ухудшения состояния прибрежных экосистем. Тем самым приводит к необходимости использования дистанционных методов и средств их обнаружения.

Информация о временной изменчивости поверхностной температуры необходима для исследования биологических сообществ, ледового режима, количества испарения, теплового баланса, климата прилегающего района моря и т.д. Изменение температуры в течение месяца, в зависимости от времени года и метеорологических условий, в разных районах моря происходит по-разному. В данной работе рассмотрены временные структуры поверхностной температуры. Это дает возможность построить карты поля температуры как на основе отдельных контактных измерений, так и по данным спутниковых дистанционных наблюдений [4].

В работе [2] был проведен анализ распределения исследуемых величин температуры поверхности воды (ТПВ) и альbedo органики ( $A_{орг}$ ) по всей акватории Каспийского моря (рис. 1).

Альbedo системы океан-атмосфера было представлено в линеаризованном виде [5]:

$$A_{0.6} = A_{пост\ 0.6} + A_{атм\ 0.6} + A_{блик\ волн\ 0.6} + A_{орг\ 0.6}, \quad (1)$$

$$A_{0.8} = A_{пост\ 0.8} + A_{атм\ 0.8} + A_{блик\ волн\ 0.8} + A_{орг\ 0.8}, \quad (2)$$

где  $A_{пост\ 0.6}$ ,  $A_{пост\ 0.8}$ , – альbedo чистой воды в условиях прозрачной атмосферы (горизонтальная дальность видимости свыше 100 км),  $A_{атм\ 0.6}$  и  $A_{атм\ 0.8}$  – альbedo атмосферной пыли,  $A_{блик\ волн\ 0.6}$  и  $A_{блик\ волн\ 0.8}$  – альbedo водной поверхности обусловленное солнечным бликом и волнением,  $A_{орг\ 0.6}$  и  $A_{орг\ 0.8}$  и органической взвеси на длинах волн 0.6 и 0.8 мкм.

Исходя из идентичности спектрального хода величин  $A_{атм}$  и  $A_{блик}$  для обеих длин волн, то есть из того обстоятельства, что:

1. среднее отношение изменений альbedo безоблачной атмосферы на длинах волн 0.8 и 0.6 мкм составляет  $0.92 \pm 0.08$  [6];

2. среднее отношение изменений альbedo водной поверхности за счет солнечного блика и волнения на длинах волн 0.8 и 0.6 мкм составляет  $0.85 \pm 0.15$  (оценка авторов по спутниковым наблюдениям за 5 лет);
3. среднее отношение изменений альbedo водной поверхности за счет органических взвесей на длинах волн 0.8 и 0.6 мкм составляет  $0.1 \pm 0.02$ .

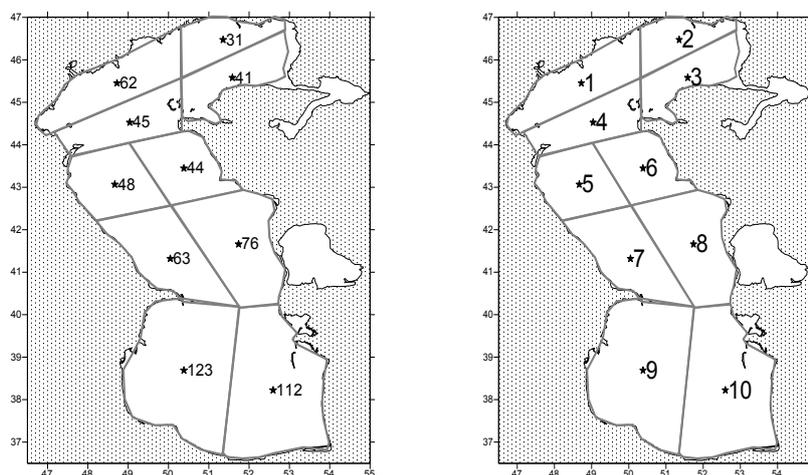


Рис.1 Схема участков с указанием числа попадающих в каждый из них узлов (слева) и номеров участков с положением их географических центров, к которым отнесены средние значения (справа)

Величины  $A_{\text{атм}}$  и  $A_{\text{блик}}$  можно объединить в  $A_{\text{шум}}$ . После этого система уравнений (1) – (2) представляется в виде (3)-(4):

$$A_{0.6} = A_{\text{пост } 0.6} + A_{\text{шум } 0.6} + A_{\text{орг } 0.6}, \quad (3)$$

$$A_{0.8} = A_{\text{пост } 0.8} + A_{\text{шум } 0.8} + A_{\text{орг } 0.8}, \quad (4)$$

Далее, учитывая приведенные выше спектральные контрасты альbedo органических взвесей, альbedo атмосферного аэрозоля и альbedo за счет солнечного блика и волнения, представляем выражения (3) и (4) в виде (5) и (6):

$$A_{0.6} = A_{\text{пост } 0.6} + A_{\text{шум } 0.6} + A_{\text{орг } 0.6}, \quad (5)$$

$$A_{0.8} = A_{\text{пост } 0.8} + 0.85 * A_{\text{шум } 0.6} + 0.1 * A_{\text{орг } 0.6} \quad (6)$$

Решая эту систему уравнений, получаем для альbedo органических взвесей и суммарного альbedo за счет атмосферы и волнения, следующие выражения [3]:

$$A_{\text{орг } 0.6} = (0.85 * (A_{0.6} - A_{\text{пост } 0.6}) - (A_{0.8} - A_{\text{пост } 0.8})) / (0.85 - 0.1), \quad (7)$$

$$A_{\text{шум } 0.6} = A_{0.6} - A_{\text{пост } 0.6} - A_{\text{шум } 0.6} \quad (8)$$

Значения альbedo воды для прозрачной атмосферы  $A_{\text{пост } 0.6}$  и  $A_{\text{пост } 0.8}$  рассчитаны по процедуре LOUTRAN-5 [7].

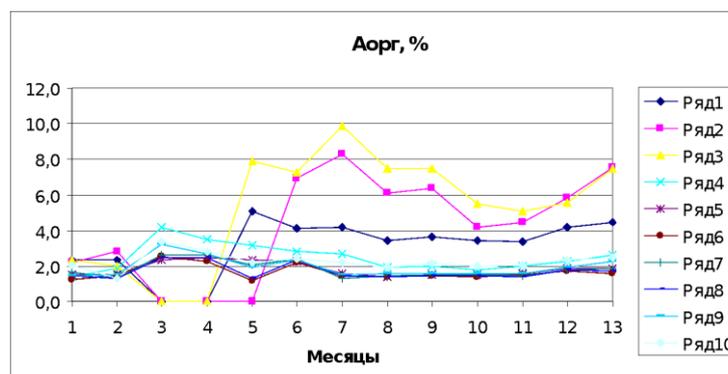


Рис. 2. Графики хода среднемесячных значений Аорг по десяти участкам Каспийского моря

Описанный подход к оценке альbedo органических взвесей втрое снижает погрешности оценки альbedo органических взвесей, однако и в нем нет разделения вкладов в суммарное альbedo системы океан-атмосфера за счет атмосферы и волнения, не устраняются погрешности расчетов на мелкой воде за счет отраженной солнечной радиации от дна и взмученных неорганических взвесей [3].

Вариации радиационной температуры Земли за счет изменения содержания водяного пара в атмосфере достигают 6-8°K. Эти вариации учитывают, пользуясь тем, что ослабление радиации за счет водяного пара на длине волны 12 мкм примерно вдвое выше, чем на волне 11 мкм [1, 5]. Поэтому простейшей оценкой радиационной температуры поверхности воды служит разность между удвоенной радиационной температурой на волне 11 мкм и радиационной температурой на волне 12 мкм. Именно так поступают французские исследователи, в дальнейшем калибруя полученные результаты по судовым данным. Агентство NOAA предлагает несколько иные коэффициенты для радиационных температур на волнах 11 и 12 мкм, а также учет угла зондирования со спутника, вида:

$$\text{ТПВ} = k_1 * T_{11} - k_2 * T_{12} + k_3 * (T_{11} - T_{12}) * (\sec(\tau) - 1), \quad (9)$$

где ТПВ – радиационная температура поверхности воды;  $T_{11}$  и  $T_{12}$  – радиационные температуры на длинах волн 11 и 12 мкм соответственно;  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  – весовые коэффициенты; величины  $k_1$  и  $k_2$  принимаются равными от 1 до 4, причем значение коэффициента  $k_1$  берется примерно на единицу больше, чем значения  $k_2$ ;  $k_3$  - 0.7;  $\tau$  – угол зондирования со спутника.

В литературных источниках приведено более десятка значений коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ . Радиационные температуры поверхности воды различаются при использовании тех или иных коэффициентов на 0.5-1.5°K. Обусловлено это тем, что искажающее влияние за счет водяного пара, зависит от его температуры, атмосферного давления и стратификации, а текущие значения этих параметров известны приблизительно. Поэтому множество вариаций значений коэффициентов обусловлено региональными, географическими особенностями строения атмосферы. При численном анализе полей температур воды, полученных по полям радиационных температур воды, следует предварительно калибровать последние по

тестовым термодинамическим температурам, полученным при контактных измерениях [8].

### **Заключение**

Учитывая ряд проходящих процессов при разливе нефтяных пленок на поверхности моря можно охарактеризовать влияние последнего на температуру поверхности воды и в дальнейшем на изменения климата в выбранной территории исследований.

Это является своеобразной формой при поддержке основных параметров определения альbedo органической взвеси на поверхности воды, а также температуры поверхности воды с использованием современных методов и средств дистанционного зондирования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / Под редакцией Крэкнелла А.П. М.: Мир, 1984. 535 с.
2. Зейналов И.М. Космический мониторинг климатических изменений в прибрежной зоне Азербайджана // Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании. Труды конференции, 20-23 декабря 2004 г. Баку-Азербайджан. С. 85-88.
3. Люшвин П.В. Дешифрирование спектральных измерений с ИСЗ НОАА над Каспийским морем // Метеорология и гидрология. 1997. №1. С.75-80.
4. Мамедов Р.М. Изменчивость гидрофизических полей и распространение загрязнителей в Каспийском море. Баку: Елм, 2000. 184 с.
5. Успенский А.Б., Сутовский В.М. О дистанционном определении температуры подстилающей поверхности с учетом ее не черноты по данным спутниковых измерений ИК-излучения в диапазоне 10,5-12,5 мкм // Труды ГОСНИЦИПР. 1989. Вып.33. С.66-78
6. Шифрин К.С., Коломийцов В.Ю. Методика расчета поля коротковолновой радиации при анизотропном отражении от подстилающей поверхности // Труды ГГО, вып.221. Л., Гидрометеиздат. С.90-99.
7. Kneizys F.X. et. al. Atmospheric Transmittance / Radiance: Computer code LOUTRAN-5. AFGL-TR-80-0067. Air Force Geophysics Laboratory, Bedford, M.A., February 1980.
8. Zeynalov I.M. Abstract for the degree of Candidate of Technical Sciences "Use of satellite data in the study of climatic characteristics of the territory of Azerbaijan" Baku. 2005.

## **Секция 2**

# **Изменение уровня Каспийского моря: анализ, моделирование и долгосрочные прогнозы**

## **Международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря»**

27-28 октября 2021 г.

### **СЕКЦИЯ 2**

#### **Вступительное слово**

**М.В. Болгов**

Каспийское море является крупнейшим внутренним водоемом, не имеющим связей с мировым океаном, режим которого характеризуется большой амплитудой колебаний уровня, и чувствителен к объемам безвозвратного изъятия стока в бассейнах впадающих рек, к происходящим климатическим изменениям.

Плохо предсказуемые колебания уровня Каспийского моря являются основным природным фактором, влияющим на хозяйственное освоение прибрежной полосы, на состояние его экосистемы, на отрасли экономик прибрежных государств, использующих природные ресурсы региона.

Сложность процесса многолетних колебаний уровня Каспийского моря и его слабая предсказуемость являются следствием недостаточной гидрометеорологической изученности природного объекта столь значительных размеров. Ограничены по продолжительности ряды наблюдений, отсутствуют прямые измерения таких составляющих водного баланса как испарение и осадки на водную поверхность моря, плохо изучен водообмен с подземными водами. Отсутствуют надежные сведения о безвозвратном водопотреблении в бассейнах рек. Задачу прогнозирования уровня моря существенно усложняют климатические и антропогенные изменения стока в бассейне и ряд других факторов, плохо поддающихся прогнозированию.

Задача прогноза уровня моря на долгосрочную перспективу является весьма актуальной, поскольку связанные с этой проблемой риски очень значимы. Снижение рисков возможно разными путями, среди которых можно упомянуть идеи управления уровнем воды в Каспийском море. Изучение этого вопроса показало, что управление уровнем моря в современных условиях возможно лишь в крайне ограниченных масштабах, поэтому основным принципом хозяйственного использования прибрежных территорий должен быть принцип адаптации к непредсказуемым изменениям его уровня, включая такие финансовые механизмы как страхование возможных рисков.

Тем не менее, для многочисленных прикладных задач, требуется научно-обоснованная методика прогнозирования уровня моря на период времени, значимый для развития отраслей экономики, использующих водные ресурсы. Решение задачи

прогноза уровня замкнутого водоема осуществляется преимущественно в рамках вероятностного подхода с привлечением балансовых представлений и вероятностных моделей «побуждающих» процессов различной степени сложности.

В докладах, представленных на секции, посвященной колебаниям уровня Каспийского моря, рассмотрены различные аспекты этой проблемы. Во-первых, дана современная оценка основных компонент водного баланса. Показано, что если рассматривать суммарный приток к Каспию за весь период наблюдений как стационарный случайный процесс, то для его описания можно использовать марковскую модель. Однако, анализ данных позволил выделить три периода, соответствующие фазам повышенной и пониженной водности в бассейне моря. Для имитационного моделирования такого кусочно-однородного ряда возможно применение более сложных моделей многолетних колебаний.

Предметом детального обсуждения в ряде докладов были оценки испарения с водной поверхности. Испарение является основной расходной составляющей водного баланса Каспийского моря, прямые измерения испарения не производятся, поэтому используется расчетный подход. Актуальной постановкой задачи оценки испарения с поверхности моря является использование данных метеорологических реанализов, а для долгосрочного прогнозирования – использование результатов расчетов по глобальным климатическим моделям. Надо отметить, что использование климатических моделей (моделей земной системы) в гидрологических задачах сегодня ограничено по причине невысокой точности результатов моделирования осадков, и других факторов формирования стока, что явилось причиной появления прогнозов, например, резкого падения уровня моря, на несколько метров. Появление таких прогнозов связано с недоучетом значимых факторов формирования водного баланса Каспийского моря и значительным «межмодельным» разбросом сценарных оценок.

Еще одной идеей, позволяющей пояснять механизмы формирования уровня Каспия, является использование результатов палеогеографических исследований (реконструкций). Длинные восстановленные ряды, хотя и не обладают особой точностью, тем не менее позволяют обсуждать сценарии возможного развития гидрологической обстановки.

В целом дискуссия, по представленным на секции докладом, показала интерес к проблеме со стороны всех прикаспийских государств и позволила сформулировать ряд предложений, среди которых международное сотрудничество ученых в данной области является неременным условием дальнейшего прогресса в проблеме уровня режима Каспия.

Перевод с английского

## **Спектральный анализ изменений уровня Каспийского моря**

*Дж. Азизпур*

Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук, Тегеран, Иран

*e-mail: Azizpour@inio.ac.ir*

Каспийское море (КМ) является крупнейшим внутренним водным объектом на земле с объемом  $\sim 78000 \text{ км}^3$  и площадью поверхности  $\sim 371000 \text{ км}^2$ , простирающимся на 1200 км с севера на юг и на 320 км с запада на восток. КМ в отношении физико-географических и топографических условий разделен на три бассейна: южный, центральный и северный. Средний уровень КМ в настоящее время примерно на 28,0 м ниже уровня Мирового океана [1, 2, 3, 5], а самая глубокая его впадина расположена в южной части.

Без связи с океаном уровень КМ в основном контролируется притоком рек, осадками, испарением и сбросом в залив Кара-Богаз. В КМ впадает около 130 рек, и основным речным притоком является Волга, которая впадает в северный бассейн, составляя около 80% от общего речного стока [5, 7]. Из-за большой площади водосбора КМ его уровень особенно чувствителен к климатическим условиям на водосборе, а также к колебаниям климата между десятилетиями. Соотношение между площадью поверхности КМ и водосборным бассейном (1:10) таково, что процессы, происходящие во всем бассейне, оказывают существенное влияние на природные условия моря [5, 8].

Средние изменения уровня моря являются одним из наиболее значимых признаков глобального изменения климата. На изменчивость уровня моря в каждом регионе влияют различные региональные и глобальные факторы. Региональные и глобальные изменения климата приводят к повышению температуры воздуха, изменению уровня моря, а также к опустыниванию в некоторых районах [8].

В этой работе спектральный анализ используется для исследования изменений уровня КМ с использованием исторических данных наблюдательной сети. Спектральные методы разлагают и переносят временные ряды из временной области в частотную область, где можно определить как доминирующие режимы изменчивости, так и то, как эти режимы изменяются во времени [4]. Используя вейвлет-технику, можно улавливать локализованные энергии, которые указывают точное время появления сигнала, переводя сигналы во временную область.

Исторические данные о подъемах и спадах уровня КМ показали, что размах колебаний уровня составил около 3 м в период 1900-2017 гг. С 1900-х по 1970-е годы уровень моря снизился в три раза со скоростью 6,53, 19,86 и 5,45 см/год соответственно. Стремительное снижение произошло в 1930-е годы. С 1978 по 1996 годы произошло резкое увеличение со скоростью 16,08 см/год, и снова после этого уровень КМ резко снижался со скоростью 14,02 см/год (рис. 2А). На уровень КМ влияют региональные и глобальные процессы разного временного масштаба. На рис.

2В показаны спектры уровня моря. Основной пик в спектрах соответствует годовому циклу, а пик полугодовых (6 месяцев) колебаний является следующим по значимости. Для долгосрочных колебаний некоторые пики видны в периоды от 4 до 7 лет, 14 и около 30 лет соответственно. Амплитуды высших сезонных гармоник (за исключением 4-месячного периода) малы, и их трудно обнаружить в фоновом шуме на спектрах. Диапазоны приливных составляющих в КМ составляют менее 10 см [6], и их энергия в спектрах не определяется фоновым шумом.

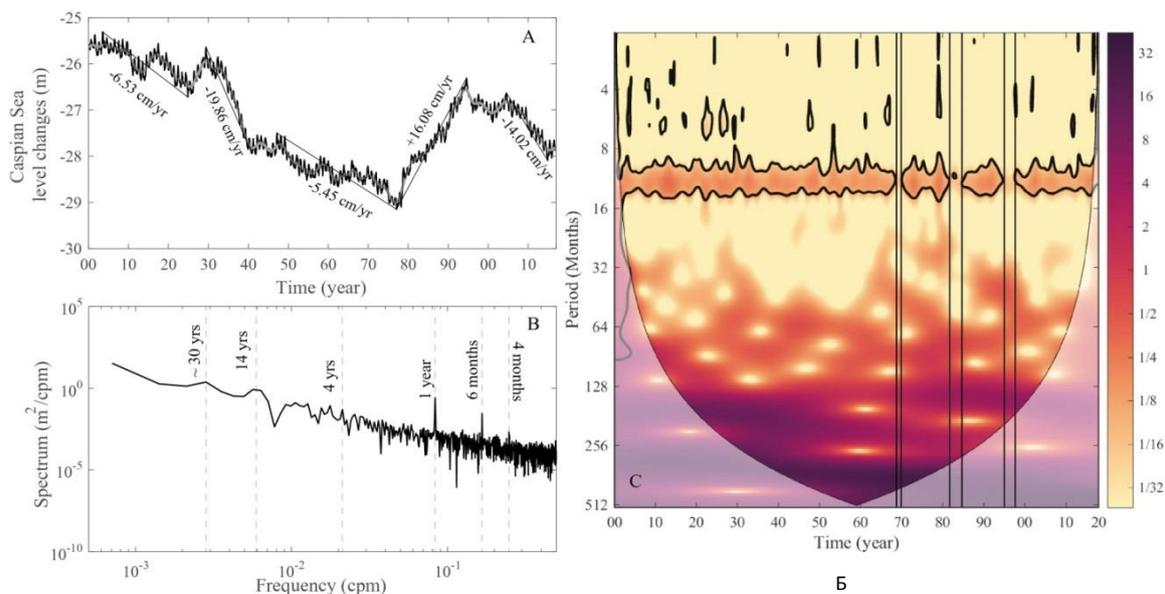


Рис. 1. А) Внутригодовые колебания уровня Каспийского моря, зарегистрированные на станциях наблюдений в 1900-2017 гг., и связанные с ними тренды (от пика к пику) (серая линия); Б) спектр мощности вейвлета Морле данных об уровне моря; В) спектр уровня Каспийского моря, полученный с помощью данных об уровне моря

На рис. 2Б показан спектр мощности вейвлета для ежемесячных изменений уровня КМ с 1900 по 2017 годы, где очевидно сильное нестационарное поведение спектров. Результаты подтверждают сигналы выбора анализа спектра мощности, выявляя события в годовом и полугодовом масштабах. Высокоэнергетические сигналы появляются в течение длительных периодов (более 128 месяцев), что рис. 2Б тоже демонстрирует. В некоторые годы годовой сигнал отсутствует в вейвлет-спектре, например, 1969-1970, 1981-1985 и 1996-1998 годы (вертикальная линия на рис. 2Б). В течение двух первых периодов преобладал полугодовой сигнал испарения, а в течение последнего периода влияние годового периода Северо-Атлантического циклона на уровень КМ увеличилось. Как правило, локальные и глобальные параметры влияют на изменения уровня КМ, и в последнее время Сибирский антициклон играет важную роль в увеличении испарения и, следовательно, снижении уровня КМ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ataei H.S., Jabari Kh.A., Khakpour A.M., Neshaei S.A., Yosefi Kebria D. Long-term Caspian Sea level variations based on the ERA-interim model and rivers discharge. *International Journal of River Basin Management*. 2019. V. 17. P. 507-516.
2. Chen J., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B., Kostianoy A., Cretaux J.F., Safarov E., Long-term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*. 2017. V. 44. P. 6993-7001.
3. Ghaffari P., Lahijani H., Azizpour J. Snapshot observation of the physical structure and stratification in deep-water of the South Caspian Sea (western part). *Ocean Science*. 2010. V. 6. P. 877-885.
4. Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. 2004.
5. Kosarev A.N. Physico-geographical conditions of the Caspian Sea. In: *The Caspian Sea Environment*. Springer, 2005. P. 5-31.
6. Medvedev I.P., Kulikov E.A., Fine I.V. Numerical modelling of the Caspian Sea tides, *Ocean Sci*. 2020. V. 16. P. 209–219, <https://doi.org/10.5194/os-16-209-2020>.
7. Roshan G., Moghbel M., Grab S. Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. *Iranian journal of environmental health science & engineering*. 2012. V. 9. P. 24.
8. Zonn I., Kostianoy A. *The Caspian Sea basin*. Chow's handbook of applied hydrology, 2nd rev edn. McGraw-Hill Education, Columbus, OH. 2016.

## **Колебания уровня Каспийского моря: история исследований и методы прогнозирования**

*М.В. Болгов*

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

*e-mail: bolgovmv@mail.ru*

### **Введение**

Сложность процесса многолетних колебаний уровня Каспийского моря и его слабая предсказуемость являются следствием недостаточной гидрометеорологической изученности объекта столь значительных размеров, выражающейся, в частности, в ограниченности рядов наблюдений, в отсутствии прямых измерений таких составляющих водного баланса как испарение и осадки на водную поверхность, водообмена с подземными водами. Отсутствуют надежные сведения о безвозвратном водопотреблении в бассейнах рек и о ряде других факторов. Кроме того, задачу прогнозирования существенно усложняют климатические и антропогенные изменения стока в бассейне и ряд других факторов, плохо поддающиеся прогнозированию.

Задача прогноза уровня моря на долгосрочную перспективу является весьма актуальной, поскольку слабо предсказуемые колебания уровня наносят значительные ущербы экономике прибрежных территорий, создают риски для инфраструктурных объектов нефтедобычи, существования водных биоресурсов и др. Неоднократно, в современный период, высказывались различные идеи об управлении уровнем воды в Каспийском море. Среди наиболее грандиозных проектов можно отметить проект переброски стока Северных рек в Волгу, проект отсечения мелководных территорий Каспия дамбой и другие. Реализован был только один способ - регулирование оттока каспийских вод в залив Кара-Богаз-Гол путем строительства перекрывающей дамбы, да и тот был прекращен в период последнего подъема уровня моря.

Для всех задач, как инженерного, так и экологического характера, требуется научно-обоснованная методика прогнозирования уровня моря на долгосрочную перспективу. Решение задачи прогноза уровня замкнутого водоема осуществляется в рамках вероятностного подхода к описанию гидрометеорологических процессов. На разных этапах изучения этого процесса рассматривались балансовые представления и вероятностные модели различной степени сложности, приемлемые для долгосрочного прогнозирования уровня моря, обзор которых приводится в [3, 6].

### **Основные компоненты водного баланса моря и подходы к прогнозированию многолетних колебаний его уровня**

*Суммарный речной приток к Каспийскому морю* составляет четыре пятых в приходной части водного баланса Каспийского моря (осадки составляют около 20%,

подземный приток не более 1%). Поступление речных вод из бассейна Волги при этом составляет около 82% от общего объема притока, примерно 15% дают реки Кура, Урал, Терек и Сулак, остальной приток – меньшие по величине стока реки [3, 8, 11].

Режим волжского стока хорошо освещен наблюдениями, а для современных оценок можно использовать достаточно точные данные о сбросах воды через турбины и водосливную плотину Волгоградской ГЭС. Ниже река практически не получает питания, а, наоборот, теряет воду на испарение в Волго-Ахтубинской пойме, в дельте, в зоне Западно-подступных ильменей. Ввиду малой изменчивости для современного периода используется среднее значение оцененных потерь (около  $10 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

Суммарный приток к морю за современный период наблюдений получается как сумма стока рек Волги, Урала, Терека, Куры, Сулака, Сефидруда, Полруда, Хараза, Чалуса за вычетом потерь в пойме и дельте Волги. Если рассматривать суммарный приток к Каспию за весь период наблюдений как стационарный случайный процесс, то для его описания можно использовать марковскую модель [1, 4]. Однако, анализ хронологических графиков и разностно-интегральных кривых уровня Каспия и суммарного притока к нему позволили выделить три периода, соответствующие фазам повышенной и пониженной водности в бассейне моря. Для имитационного моделирования такого кусочно-однородного ряда возможно применение полумарковской вероятностной модели многолетних колебаний [2].

*Испарение с водной поверхности* является основной расходной составляющей водного баланса Каспийского моря. Надежного метода прямого измерения испарения с поверхности морей до сих пор не существует. Для расчета этой величины используются два основных подхода. Первый – балансовый – заключается в том, что испарение рассматривается как остаточный член в уравнении водного баланса, а остальные члены уравнения определяются из наблюдений или путем расчетов различного уровня сложности. При таком подходе ошибки оценок величины испарения включают в себя все ошибки, возникающие при определении значений прочих составляющих водного баланса Каспия.

Второй подход к вычислению величины испарения основан на использовании диффузионного метода, суть которого заключается в применении эмпирических и полуэмпирических формул, описывающих диффузию водяного пара в приземном слое атмосферы. В последние годы получили распространение расчеты испарения с использованием данных реанализа, а также получаемые путем расчетов по глобальным климатическим моделям.

*Морфометрические характеристики Каспийского моря* (связь между уровнем, площадью зеркала и объемом воды в море) получены с помощью цифровой модели рельефа без учета акватории залива Кара-Богаз-Гол. Из характерных черт морфометрии Каспия необходимо отметить наличие особенности в строении рельефа дна моря в диапазоне отметок от -32 до -26 м абс., выявленной в [5] с использованием цифровой модели рельефа. Расчеты выявили зависимость площади мелководий (площадей акватории с глубинами 1, 2 и 3 метра) от уровня моря. Максимальные площади мелководий отмечаются в диапазоне отметок -26...-28 м.

**Отток воды в Кара-Богаз-Гол.** Имеющиеся представления об оттоке морских вод в залив Кара-Богаз-Гол основываются на измерениях, выполнявшихся Гидрометеорологической службой Туркменистана. Отток определяется в основном перепадом уровня воды в море и заливе. В современных условиях сформировался новый профиль поперечного сечения пролива за счет его интенсивного размыва. Для прогноза уровня моря принята зависимость между уровнем моря и оттоком в Кара-Богаз-Гол, ограниченная сверху испаряющей способностью залива.

**Безвозвратное водопотребление в бассейне Каспия.** Данные по водопотреблению в бассейнах основных рек, впадающих в Каспийское море, обобщены в работе А.П. Демина [7]. Объем безвозвратного водопотребления и потерь (с учетом потерь на испарение с поверхности водохранилищ) в бассейне Каспийского моря с 1970 по 1980 гг. вырос с 32 до 47 км<sup>3</sup> и оставался стабильным до 1991 г. В последующие годы экономического кризиса объем безвозвратного водопотребления стал резко снижаться и к 2001 г. достиг 34 км<sup>3</sup>. В последние годы во всех государствах СНГ этот показатель стабилизировался, и, в целом для бассейна Каспийского моря, в 2003 г. составил 43 км<sup>3</sup>, что близко к оценкам, полученным в [11].

**Подземный сток в море** поддается лишь приближенной оценке на основе гидрогеологических исследований и расчетов величин субмаринной разгрузки подземных вод. Море ежегодно получает с прилегающих территорий не более 3 км<sup>3</sup> подземного стока, что составляет около 1% от поступления речных вод.

### Уровни Каспийского моря

Определяющую роль в формировании многолетних колебаний уровня Каспийского моря играют приток и испарение с водной поверхности моря [9]. При стационарном, в целом, характере временной изменчивости этих процессов, в гидрологическом режиме моря и р. Волги, тем не менее, имеется несколько особенностей.

В тридцатые годы прошлого столетия в ряду стока Волги выделяется период экстремального маловодья, вероятность которого, в Марковском стационарном приближении, оценивается как 1 раз в 900–1000 лет. Этот маловодный период непосредственно сказывается на связанных со стоком Волги колебаниях уровня Каспийского моря – отмечается падение уровня моря в этот же период, вероятность которого, по оценкам В.Е. Привальского, составляет примерно 1 раз в 2000 лет. Продолжившееся затем в течение нескольких десятилетий снижение уровня моря закончилось в 1979 г. и сменилось резким подъемом уровня на 2,5 м за последующие 15 лет. Этому же году соответствует и смена на большинстве рек в бассейне Волги маловодного периода на многоводный, продолжившийся до конца 1990-х годов. Начиная с 1995 г. уровень моря в основном падает, причем различными темпами.

В период резкого подъема уровня Каспия выдвигались различные гипотезы относительно механизмов формирования водного баланса, объясняющих столь аномальное поведение уровня воды. Одно из оригинальных предложений базировалось на идее наличия нескольких уровней тяготения моря, т.е. наличия двух устойчивых состояний этой сложной гидрологической системы [10]. Свидетельством в пользу этой гипотезы являлась двух-модальная гистограмма распределения уровня моря. Если бы два уровня тяготения существовали, то

аномальное поведения моря можно было бы объяснить быстрым переходом системы из одного состояния в другое. Однако, оценки гистограмм, полученные по коротким рядам наблюдений, недостоверны и уверенно выделить на основе ограниченного ряда наблюдений два устойчивых состояния, уже нельзя.

### **Прогноз многолетних колебаний уровня Каспийского моря**

При современном уровне развития гидрометеорологии долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря может быть представлен в виде распределения вероятностей уровня, полученного с помощью вероятностного моделирования. В основу моделирования уровня, как результирующей составляющей уравнения водного баланса, положены стохастические модели многолетней изменчивости компонентов этого уравнения – притока и видимого испарения, с учетом амортизационного механизма колебаний уровня моря [9].

Стохастическое дифференциальное уравнение водного баланса решается методом имитационного моделирования на заданный период при известном уровне моря на момент выпуска прогноза. Такой подход позволяет решить вероятностную задачу без ограничений на вид маргинальных распределений, морфометрических зависимостей и пр. нелинейных связей. Имитационное моделирование колебаний уровней Каспийского моря основывается на генерации искусственных временных последовательностей среднегодовых значений притока и видимого испарения (испарение минус осадки) большой продолжительности; такие ряды в марковском случае удовлетворительно описываются двумерными распределениями вероятностей. Продолжительные ряды уровней моря получаются путем многократного решения уравнения водного баланса на год вперед с учетом площади водной поверхности на начало расчетного интервала времени и оттока в залив Кара-Богаз-Гол.

Расчеты с использованием стационарной марковской модели притока и испарения показывают, что, несмотря на наличие продолжительных рядов наблюдений за составляющими водного баланса, дисперсия прогнозируемых колебаний уровня моря отличается от дисперсии наблюдаемого ряда, поэтому представляется целесообразным рассмотреть более сложную, полумарковскую модель. Во временном ряду притока к Каспию выделяются три однородных, с точки зрения статистических параметров, периода с продолжительностью 40 лет. В границах каждого периода процесс рассматривается как стационарный марковский. Математическое ожидание полумарковского процесса меняется скачкообразно при переходе от одного стационарного периода к другому. Смена состояний процесса описывается также в рамках марковской модели, но в нашем случае выбор состояния при имитационном моделировании (переход от одного к другому условно однородному периоду) производится случайным образом. Характеристики уровня Каспийского моря, полученные с использованием полумарковской модели при различных вариантах параметров моделирования притока, лучше соответствуют данным наблюдений. Рассмотренный пример показывает, что уровенный режим моря чувствителен к возможным более сложным механизмам изменения параметров. Очевидно также, что предлагаемая схема моделирования требует дальнейшего развития.

**Вероятностный прогноз уровня Каспия** получается в результате решения дифференциального уравнения водного баланса на интересующий период заблаговременности. Прогноз можно представить, как в виде параметров условного распределения (условные среднее, дисперсия, асимметрия и пр.), так и в виде набора квантилей условных распределений вероятности. На период прогноза с заблаговременностью от 5 до 40 лет, наиболее неблагоприятный прогноз (уровень 0,1% обеспеченности) составляет -25,84 м, а наиболее низкий уровень (99% обеспеченности) составляет -30,67 м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болгов М.В. Марковские процессы в задаче прогнозирования уровня замкнутого водоема // Метеорология и гидрология. 2005. №11. С. 74-85.
2. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филиппова И.А. Речной сток и вероятностный прогноз уровня Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2018. №10. С.17-26.
3. Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море. Экстремальные гидрологические события / Отв. ред. М.Г. Хубларян. М.: Наука, 2007. 380 с.
4. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. М.: ИВП РАН, 2009. 210 с.
5. Болгов М.В., Филимонова М.К. Об источниках неопределенности при прогнозировании уровня Каспийского моря и оценке риска затопления прибрежных территорий // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 664-669.
6. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд, 2016. 378 с.
7. Демин А.П. Современные изменения водопотребления в бассейне Каспийского моря // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3. С.1-7.
8. Крицкий С.Н., Коренистов Д.В., Раткович Д.Я. Колебания уровня Каспийского моря. М., Наука, 1975. 159 с.
9. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Колебания уровня замкнутых водоемов // Труды Гидропроекта. 1964. № 12. С. 29–61.
10. Хубларян М.Г., Найденов В.И. О проблеме колебаний уровня Каспийского моря. Томск: Изд-во НТЛ, 2000. С. 68-70.
11. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние хозяйственной деятельности на водный баланс и изменения уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб: Гидрометеиздат, 2003. С. 267-277.

## **К долгосрочному моделированию среднегодового уровня Каспийского моря**

*Е.В. Борисов, В.Б. Ермаков*

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва, Россия

*e-mail: admin@oceanography.ru*

Решение задачи основано на информации, содержащейся в многочисленных научных публикациях [1-3, 5, 6]. Выяснилось, что среднегодовой уровень Каспийского моря (за вычетом тренда) формируется в основном четырьмя периодичностями, изменение параметров которых на современном отрезке временного ряда находится в диапазонах периодов 35-37 лет, 65-67 лет и 95–100 лет. Параметры этих периодичностей определялись методом сравнения результатов моделирования и расчетов среднегодового уровня по данным наблюдений в период с 1737 по 2016 гг. Более ранние данные, в основном нерегулярные, вносят большие искажения в спектр колебаний уровня. Отмечалась вариация периодов колебаний в некоторых диапазонах, влияние которой учитывалось путем поиска оптимальных значений параметров периодичностей и цифровых множителей в формуле геометрической кривой, аппроксимирующей временной ряд, с учетом минимизации дисперсии отклонений моделируемого ряда от наблюдаемого по методу Прони [4]. Вариация параметров аппроксимации явно зависела от длины используемого ряда, а основные формирующие периоды колебаний уровня в среднем составляют около 65-67 и 97-104 лет при амплитудах соответственно около 60 и 95 см. Периоды в среднем «почти» кратны 11-летнему периоду, что, вероятно, указывает на солнечно-тепловое происхождение колебаний.

Заблаговременность прогноза определяется продолжительностью тренда, которая соответствует приблизительно 2060 г. Далее формируется подъем среднегодового уровня, который современным трендом не описывается. Первый прогностический расчет был выполнен в 2016 г.; проверка расчетов выполнялась в течение 2017-2020 гг. При этом результаты расчетов совпадали с наблюдаемым среднегодовым уровнем моря в пределах 10 см. Основное преимущество используемого метода состоит в том, что его применение не связано с необходимостью прогноза стока рек, дождевых осадков, ветра и испарения.

Для выполнения указанных расчетов была составлена специальная программа на базе DESMOS (<https://www.desmos.com>), которая позволила существенно ускорить процесс. Расчеты выполнялись с учетом линейного и гармонического трендов, последний – с периодом 735 лет (табл. 1). Оказалось, что обнаруженные в спектре ряда колебания уровня с периодами 35 и 37 лет, имеющие суммарную амплитуду около 30 см, не оказывают существенного влияния на результат, но образуют биения. Эта периодичность была отмечена Брикнером в связи колебаниями тепловых атмосферных воздействий и упомянута в работах Берга [3]. В принципе

желательна ежегодная корректировка результатов расчета с учетом данных наблюдений.

Таблица 1. Прогнозируемые значения среднегодового УКМ при разных формах тренда

Год	Тип тренда			Год	Тип тренда	
	гарм.	лин.			гарм.	лин.
2020	-27.98	-28.01		2041	-29.77	-29.99
2021	-28.08	-28.11		2042	-29.8	-30.04
2022	-28.19	-28.22		2043	-29.83	-30.08
2023	-28.29	-28.33		2044	-29.85	-30.11
2024	-28.4	-28.45		2045	-29.87	-30.14
2025	-28.5	-28.56		2046	-29.88	-30.17
2026	-28.61	-28.67		2047	-29.88	-30.18
2027	-28.71	-28.78		2048	-29.88	-30.19
2028	-28.81	-28.89		2049	-29.87	-30.2
2029	-28.91	-29.0		2050	-29.86	-30.2
2030	-29.01	-29.11		2051	-29.84	-30.19
2031	-29.1	-29.21		2052	-29.82	-30.18
2032	-29.19	-29.31		2053	-29.79	-30.17
2033	-29.27	-29.4		2054	-29.76	-30.15
2034	-29.36	-29.5		2055	-29.73	-30.12
2035	-29.43	-29.58		2056	-29.69	-30.1
2036	-29.5	-29.66		2057	-29.65	-30.07
2037	-29.57	-29.74		2058	-29.6	-30.03
2038	-29.63	-29.81		2059	-29.55	-30.0
2039	-29.68	-29.88		2060	-29.51	-29.96
2040	-29.73	-29.94				

### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Е.В., Ермаков В.Б. Периодическая структура колебаний уровня Каспийского моря в различных диапазонах временных масштабов // Труды ГОИН. 2021. Вып. 221. С. 12-26.
2. Борисов Е.В., Ермаков В.Б., Мельников В.А. Анализ периодической структуры климатических колебаний уровня Каспийского моря // Процессы в геосредах. 2019. № 2. С.146-152.
3. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / Под ред. Е.С. Нестерова. М: Триада Лтд, 2016. 374 с.

4. Коломейцева А.В., Мишугова Г.В., Мул А.П., Рябых Г.Ю. Применения вейвлет-преобразования и метода Прони для идентификации биогенных сигналов // Вестник ДГТУ. 2010. Т. 10. №4 (47). С. 455-465.
5. Родионов С.Н. Современные изменения климата Каспийского моря. М: Гидрометеиздат, 1989. 123 с.
6. Соловьева Н.Н. Исследование зависимости колебаний уровня Каспийского моря от солнечной активности. СПб: Изд. РГГМУ, 2004. 70 с.
7. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters. 2017. V. 44. P. 6993-7001.

**Влияние на эволюцию уровня Каспийского моря многолетних изменений режима ветра над его регионом в 1948–2017 гг.**

<sup>1,3</sup> Н.А. Дианский, <sup>2</sup> Т.Ю. Выручалкина, <sup>3</sup> В.В. Фомин

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия

*e-mail: nikolay.diansky@gmail.com*

По данным атмосферных реанализов NCEP/NCAR за 1948–2017 гг. (R-1) и NCEP/DOE за 1979–2017 гг. (R-2) установлено, что изменения уровня Каспийского моря тесно связаны с многолетними изменениями в поле приповерхностного ветра в регионе моря в результате перестройки атмосферной циркуляции над Евразией. Показано, что основное значение в изменениях испарения над Каспийским морем имеют ветры восточного и северного румбов.

В периоды падения уровня Каспийского моря (1948–1976 и 1996–2017 гг.) преобладают восточные ветры, которые приносят в акваторию Каспийского моря сухой и теплый воздух из Средней Азии и способствуют тем самым повышению интенсивности испарения вод Каспийского моря.

В период роста уровня Каспийского моря (1977–1995 гг.) доминируют северные ветры, что приводит к уменьшению интенсивности испарения. При этом повторяемость ветра северного румба наибольшая в теплый период года – особенно в летние месяцы, а восточного, наоборот, – в осенние, зимние и весенние месяцы. Средняя скорость ветра над акваторией Каспийского моря в годовом цикле демонстрирует ослабление ветра в теплый период года и, наоборот, усиление в холодный период года.

Выполненные расчеты испарения над акваторией Каспийского моря по данным реанализов R-1 и R-2 полностью подтверждают эти выводы. Показана тесная связь испарения и хода уровня Каспийского моря. Корреляции между ненормированными инкрементами испарения и уровнем Каспийского моря составляют  $-0.86$  и  $-0.75$  по R-1 и R-2 соответственно.

Более того, по данным уточненного реанализа R-2, вклад испарения в современное понижение уровня Каспийского моря больше, чем по данным R-1, поскольку заток в акваторию Каспийского моря воздушных масс из соседнего засушливого региона Средней Азии, по данным R-2, в последнее десятилетие более интенсивен.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-17-01295).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А., Фомин В.В. Влияние на эволюцию уровня Каспийского моря многолетних изменений режима ветра над его регионом в 1948–2017 гг. // Водные ресурсы. 2020. №2(47). С. 230–240.

## Нелинейная модель колебаний уровня Каспия в палеовремени

А.В. Фролов

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

*e-mail*: anatolyfrolov@yandex.ru

Причиной значительных колебаний уровней озер в палеовремени обычно считается нестационарность климата [1]. Развивая подход теоретико-вероятностный подход [2-4], нами выполнена оценка возможной роли нелинейной зависимости испарения с Каспия от уровня (глубины) моря в значительных изменениях уровня моря, происходивших в интервале 14–4 тыс. лет до н. э.

Для реализации поставленной цели была разработана усовершенствованная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний уровня Каспия. В этой модели испарение рассматривалось отдельно для двух частей моря – мелководной (в основном, Северный Каспий) и глубоководной (Средний и Южный Каспий).

Предполагалось, что испарение с глубоководной части Каспия состоит из двух компонент – основной постоянной величины и некоторой стохастической компоненты, действующей на всей акватории и отражающей случайный характер изменения условий испарения – изменения температуры воздуха и воды, скорости ветра и т.п.

В рамках принятых предположений, многолетние колебания уровня бессточного Каспия описываются уравнением водного баланса моря:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{\bar{v}^+(t)}{F(h)} - \frac{e_{\text{det}}(h) F_s(h) + F_d \bar{e}}{F(h)} + \frac{\tilde{v}^+(t)}{F(h)} - e_{\text{stoch}}, \quad (1)$$

где  $h$  – уровень воды в Каспии,

$v^+(t) = \bar{v}^+ + \tilde{v}^+(t)$  – приток воды в Каспий, представляющий сумму речного притока и осадков на акваторию моря;

$\bar{v}^+$  – среднее притока,  $\tilde{v}^+(t)$  – флуктуации притока относительно среднего  $\bar{v}^+$ ;

$e_{\text{det}}(h)$  и  $e_{\text{stoch}}$  – испарение, зависящее от уровня, и стохастическая компонента в испарении со всей акватории, соответственно;

$\bar{e}$  – средняя величина испарения с глубоководной части моря;

$F_d = \text{const}$ ,  $F_s(h)$  – площади глубоководной и мелководной частей моря, соответственно;

$F(h) = F_d + F_s(h)$ ;

$t$  – время.

В качестве моделей  $\tilde{v}^+(t)$  и  $e_{\text{stoch}}$  использовались авторегрессионные процессы 1-го порядка.

Стационарная плотность распределения вероятности (ПРВ) уровня моря, полученная на основе уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК) и гистограмма, полученная на основе метода имитационного моделирования, показывают удовлетворительное совпадение (рис. 1).

Графики на рис.2 представляют собой похожие друг на друга фрагменты реализаций нестационарных процессов.

Представленные результаты указывают на возможность совместного влияния на уровенный режим Каспия нелинейной зависимости испарения от уровня и климатических изменений водного баланса моря.

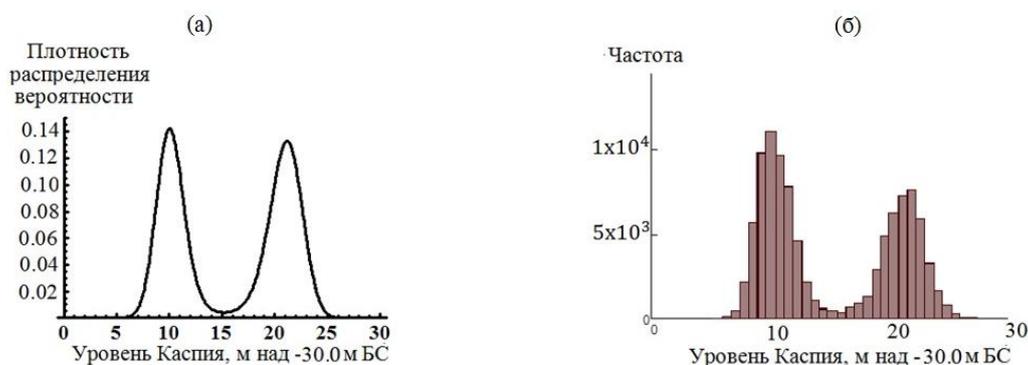


Рис. 1. (а) – ПРВ уровня Каспия, полученная в соответствии с уравнением ФПК; (б) – гистограмма уровня Каспия, полученная методом имитационного моделирования при использовании дискретного аналога дифференциального уравнения (1)

На рис. 2 приведены фрагмент реализации уровня Каспия, полученной имитационным методом, и график хода уровня моря в палеовремени по [1].

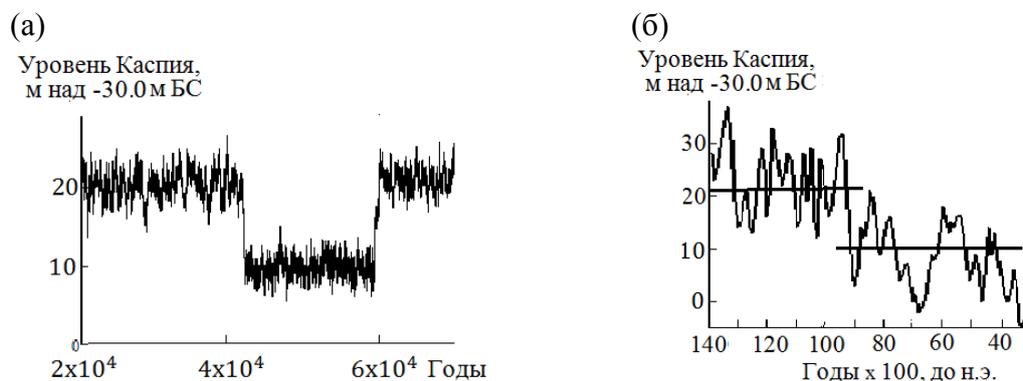


Рис. 2. а) фрагмент реализации смоделированного ряда уровней Каспия; б) изменения уровня Каспия в палеовремени по данным из [1]

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН в части имитационного моделирования уровня режима Каспия (тема 0147-2019-0001, государственная регистрация АААА-А18-118022090056-0) и при финансовой поддержке РФФ в части построения усовершенствованной нелинейной динамико-стохастической модели колебаний уровня Каспия в палеовремени (проект 19-17-00215).*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 240 с.
2. Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 184 с.
3. Фролов А.В. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М.: ГЕОС, 2003. 174 с.
4. Хублярян М.Г., Найденов В.И. О тепловом механизме колебаний уровня водоемов // ДАН СССР. 1991. Т. 319. № 6. С. 1438–1444.

## **Возможное колебание уровня Каспийского моря на перспективу до 2050 года с учетом климатических изменений**

*Н.И. Ивкина, А.В. Галаева*

РГП «Казгидромет», Научно-исследовательский центр, Алматы, Казахстан

*e-mail: n\_ivkina@mail.ru, nastlin@list.ru*

Каспийское море – это уникальный водоем со многими, только ему присущими, особенностями. Наиболее известной является колебание его уровня под воздействием изменения природных и антропогенных процессов.

### **Основные составляющие водного баланса Каспийского моря**

Наибольшее значение для водного баланса Каспийского моря имеют речной сток и испарение, соотношение между которыми в основном и определяет межгодовые изменения объема вод и уровня водоема. Приходная часть среднемноголетнего водного баланса Каспийского моря складывается на 20% из атмосферных осадков, выпадающих на его зеркало, на 1% – из притока подземных вод по водоносным слоям и на 79% – из речного стока [1, 2, 3].

### **Методы оценки изменения уровня моря на перспективу до 2050 года**

При исследовании влияний будущих изменений климата на уровень Каспийского моря необходимо учитывать разнообразные факторы: – метеорологические, гидрологические, антропогенные. Исследования факторов, определяющих естественные колебания уровня Каспийского моря, указывают, что основными являются речной сток (основной вклад вносит р. Волга) и видимое испарение. Оценка возможных изменений стока р. Волга проводилась на основе использования результатов моделирования с применением Community Land Model. Данная модель разработана совместно учеными Национального центра атмосферных исследований (National Center for Atmospheric Research (NCAR)) и рабочей группой по моделированию Земли (CCSM Land Model Working Group) [4, 5, 6]. Модель поверхности суши CLM включает модуль речного стока (RTM), разработанный для маршрутизации полного стока воды в океаны или моря, позволяющий замкнуть гидрологический цикл.

Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков в бассейне использовались сценарии концентраций парниковых газов семейства RCP (Representative Concentration Pathways). Данные проекции речного стока для р. Волга по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 до 2100 года доступны на сайте <https://www.earthsystemgrid.org/>. Обработка данных для створа Волгоградского водохранилища и их визуализация проводилась с помощью программного продукта IDV (Integrated Data Viewer).

Для определения притока воды в Каспийское море на перспективу была построена зависимость стока реки Волга в створе Волгоградское водохранилище от притока речных вод в Каспийское море за период 1978...2019 гг. (рис. 1а). Данная зависимость имеет коэффициент корреляции, равный 0,96, что говорит о хорошей тесноте связи и возможности восстанавливать приток речных вод в море на перспективу, используя сток реки Волга в створе Волгоградского водохранилища. На рис. 1б приведены проекции изменения притока речных вод в море на перспективу по сценариям RCP 4.5 и RCP 8.5. Как показали результаты расчета, приток воды в Каспийское море не имеет выраженного тренда. Расчеты осадков и испарения в Прикаспийском регионе проводились также для двух выбранных сценариев климата RCP4.5 и RCP8.5 на основе ансамбля климатических моделей. Результаты расчетов показали, что имеется устойчивый тренд, из чего следует, что испарение с акватории Каспийского моря будет возрастать. Это объясняется прогнозируемым увеличением температуры воздуха.

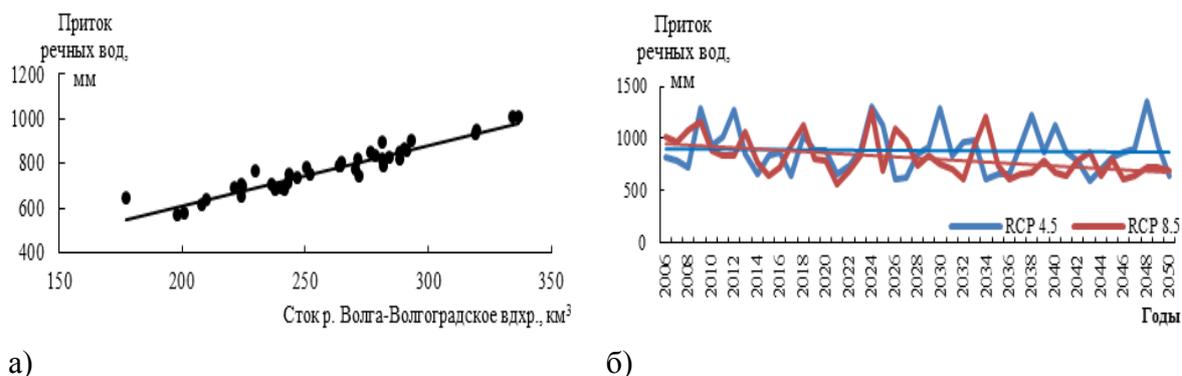


Рис. 1. а) Зависимость притока речных вод в море от стока реки Волга – Волгоградское водохранилище от суммарного притока речных вод в каспийское море за 1978-2019 гг., б) ход изменения притока речных вод в Каспийское море до 2050 г. по сценариям RCP4.5 и RCP8.5

Исходя из спрогнозированных на перспективу данных притока речных вод в Каспийское море, а также видимого испарения, было спрогнозировано изменение уровня Каспийского моря до 2050 г. На рис. 2 представлен наглядный график хода спрогнозированного уровня Каспийского моря, учитывая два сценария изменения климата (RCP4.5 и RCP8.5), а также фактическое изменение уровня (до 2020 г.)

Как показали расчеты, уровень Каспийского моря имеет устойчивую тенденцию к снижению. Особенно четко это проявится во второй трети 21 века. По нашим расчетам, в соответствии со сценарием RCP4.5 к 2050 г. уровень может приблизиться к отметке -32 м, а по более пессимистичному сценарию RCP8.5 уровень может упасть ниже отметки -33 м.

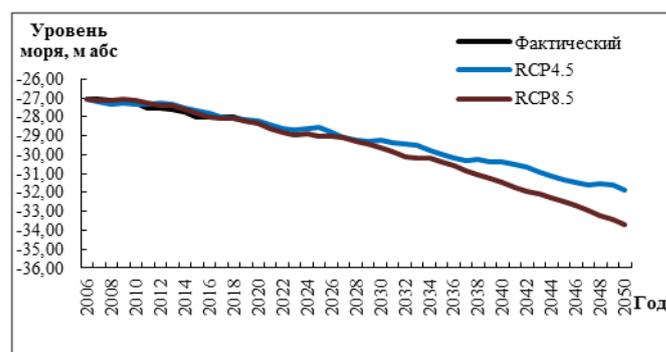


Рис. 2. Прогнозные значения уровня Каспийского моря по двум сценариям изменения климата (RCP4.5 и RCP8.5) на перспективу до 2050 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абузьяров З.К. Роль составляющих водного баланса Каспийского моря в месячных и годовых приращениях его уровня // Труды Гидрометцентра России. 2006. Вып.341. С. 3-27.
2. Болгов М.В. Вероятностный прогноз многолетних колебаний уровня Каспийского моря // Труды Географического общества Дагестана. 2013. Т.41. С. 16-20.
3. Ивкина Н.И., Галаева А.В. Изменения основных составляющих водного баланса Каспийского моря под влиянием климата // Гидрометеорология и экология. 2020. №4. С. 16-28.
4. Branstetter M.L. Development of a parallel river transport algorithm and applications to climate studies. Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin. 2001.
5. Dai A., Trenberth K.E. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. J. Hydrometeor. 2002. P. 660-687.
6. Vertenstein M., Hoffman F., Oleson K., Levis S. Community Land Model Version 3.0 (CLM3.0) User's Guide. 2004. [Available online at <http://www.cgd.ucar.edu/tss>].

## **Сток Волги при глобальном потеплении на 1.5 и 2 градуса**

*А.С. Калугин*

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

*e-mail: andrey.kalugin@iwp.ru*

Модель формирования речного стока в бассейне Волги, построенная на основе глобальных баз данных о подстилающей поверхности и данных мониторинга за температурой и влажностью воздуха, количеством осадков на 306 метеостанциях, с суточным шагом по времени и с пространственным разрешением, равным размеру элементарных водосборов (около 1800 км<sup>2</sup>), описывает основные процессы гидрологического цикла суши [1, 2]. Вследствие зарегулированности стока Волжско-Камским каскадом водохранилищ верификация модели выполнялась по сравнению фактических и рассчитанных среднесуточных расходов воды в замыкающих створах основных притоков Волги и Камы. Калибровка и верификация параметров модели формирования стока проводилась для периодов 2000–2014 и 1986–1999 гг. соответственно с использованием статистических критериев Нэша-Сатклифа и систематической ошибки расчета. Получены удовлетворительные ( $NSE > 0.7$  и  $|BIAS| < 10\%$ ) результаты моделирования для различных створов за многолетний период. Коэффициент корреляции между фактическим и смоделированным годовым притоком воды в Куйбышевское водохранилище за период 1986–2014 гг. составил 0.89 при систематической погрешности около 2%.

С помощью разработанной физико-математической модели формирования стока в бассейне Волги проведена оценка воспроизведения стока при задании в качестве граничных условий в гидрологической модели данных моделей общей циркуляции атмосферы и океана за базовый исторический период 1970–1999 гг. Гидрологическая модель по данным моделей общей циркуляции атмосферы и океана воспроизводит годовой сток Волги с погрешностью 4% относительно расчета по данным метеостанций. При этом наибольшие относительные ошибки расчета характерны для зимнего стока (9.5%), а наименьшие для стока за период весеннего половодья (менее 1%).

Для проведения численных экспериментов исследования гидрологических последствий глобального потепления в XXI веке на 1.5°C и 2°C относительно доиндустриальных значений с моделью формирования стока в бассейне Волги привлечены среднесуточные данные о приземных полях метеорологических характеристик моделей общей циркуляции атмосферы и океана GFDL-ESM2M и MIROC5 CMIP5 по результатам проекта ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) с учетом каждого из 4-х RCP-сценариев. Затем 12 возможных реализаций глобального потепления задавались в качестве граничных условий в модель формирования стока в бассейне Волги, после чего результаты расчетов усреднялись для пороговых значений 1.5°C и 2°C по соответствующим

наборам. Согласно используемым данным глобальное потепление на 1.5°C будет достигнуто к 2045 г. и на 2°C к 2064 г. Аномалии стока вычислены как отношение рассчитанной величины для условий увеличения глобальной температуры воздуха на 1.5°C и 2°C относительно базового периода.

При глобальном потеплении на 1.5°C и 2°C уменьшение годового стока Волги составило 10–11% при реализации обоих сценариев потепления относительно периода 1970–1999 гг. (рис. 1). Рост зимнего стока Волги составил 17% и 28% при глобальном потеплении на 1.5°C и 2°C соответственно, а отрицательные аномалии стока за период весеннего половодья и лета-осени оказались в диапазоне 21–23%.

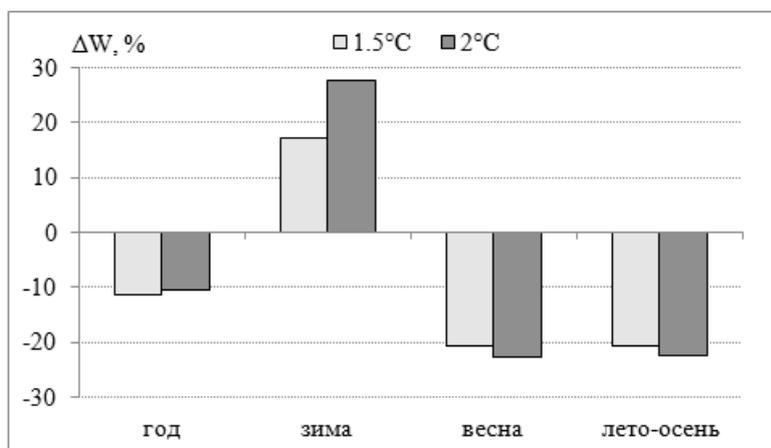


Рис 1. Аномалии годового и сезонного стока Волги при глобальном потеплении на 1.5°C и 2°C

*Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом Российского научного фонда 20-77-00077.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калугин А.С. Единая гидрологическая модель Волжского бассейна // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения». Москва: Студия Ф1. 2019. С. 155–160.
2. Kalugin A.S. The impact of climate change on surface, subsurface and groundwater flow: a case study of the Oka River (European Russia) // Water Resources. 2019. V. 46. No. S2. P. S31–S39.

Перевод с английского

## **Влияние быстрых колебаний уровня Каспийского моря на окружающую среду Горганского залива**

*Х. Хошраван*

Институт водных исследований Национального исследовательского центра Каспийского  
моря, Тегеран, Иран

*e-mail:* h\_khoshravan@yahoo.com

Глобальное потепление и повышение уровня воды в океане в антропоцене создали благоприятные условия для повышения физической уязвимости прибрежных районов, и большие площади побережья Земли были затоплены и размывы [1]. Перемещение береговых линий оказывает непосредственное влияние на различные экономические инфраструктуры, в том числе, торговые порты, рыболовецкие доки, тепловые электростанции и объекты прибрежного туризма. Побережье Каспийского моря не является исключением из этого правила, оно претерпело существенные изменения и испытывает серьезные экологические проблемы из-за колебаний уровня моря, которые происходят иногда более чем в сто раз быстрее, а иногда в противофазе по отношению к Мировому океану [2]. Колебания уровня воды Каспийского моря в XX-м веке вызвали деформацию прибрежных процессов и усилили негативное воздействие антропогенных факторов, приведя к изменению режима осадконакопления, смещению береговой линии и развитию эрозионных явлений на побережье [5]. Экономические последствия повышения уровня воды Каспийского моря на 250 см в период 1978-1995 годов оцениваются более чем в 17 миллиардов долларов США [4]. Быстрое снижение уровня воды в Каспийском море в периоды 1930-1978 и 1995-2019 годов привело к серьезной деформации естественной среды обитания, исчезновению прибрежных водно-болотных угодий и сосредоточению экономического потенциала в прибрежных районах [3].

Основная цель этой работы состоит в том, чтобы оценить степень изменений берегов залива Горган и побережья Мианкале как охраняемых экологических зон заповедников дикой природы и биосферных заповедников в период, совпадающий со снижением уровня Каспийского моря в 1995-2019 годах. Морфологические условия береговых линий залива Горган и побережья Мианкале были исследованы с помощью полевых наблюдений и анализа спутниковых снимков. В общей сложности было выбрано 10 разрезов исследования вокруг залива Горган и Мианкале, и была рассчитана интенсивность движения береговой линии путем обработки разновременных спутниковых снимков, относящихся к 1995-2019 годам, в среде ГИС и с помощью цифрового программного обеспечения для анализа береговой линии (DSAS). На основе перемещения береговой линии, исследуемый район был разделен на три группы в соответствии с интенсивностью ее изменений (высокая, средняя и низкая).

Результаты показывают, что северо-восточная часть побережья Мианкале и западная оконечность залива Горган имеют наибольшее смещение береговой линии, а

центральные районы к югу от залива Горган и северная и центральная часть к западу от побережья Мианкале имеют очень небольшое смещение. Сравнение средней скорости изменения береговой линии за 24-летний период с 1995-2019 гг. показывает, что наибольшие сдвиги береговой линии произошли в самом западном районе залива Горган, на северо-восточном побережье Мианкале и к юго-западу от залива Горган на 1846, 1626 и 1507 метрах соответственно (рис. 1). Определена береговая линия Туркменского порта (1058 м) и порта Газа (654 м) (рис. 1). Самые низкие скорости перемещения береговой линии находятся к западу от Мианкале (127 м), к северо-востоку от залива Горган (242 м), к северо-западу от залива Горган (381 м), к северу от центральной части Мианкале (476 м) и к югу от центральной части залива Горган (526 м) соответственно (рис. 1). Снижение уровня воды в Каспийском море на 150 см с 1995 года привело к высыханию значительной части западной оконечности залива Горган и северо-восточной части водно-болотных угодий Мианкале, что привело в дальнейшем к высыханию побережья Мианкале и прибрежных водно-болотных угодий Гомишан, уменьшению более чем на 30 процентов площади залива Горган [3].

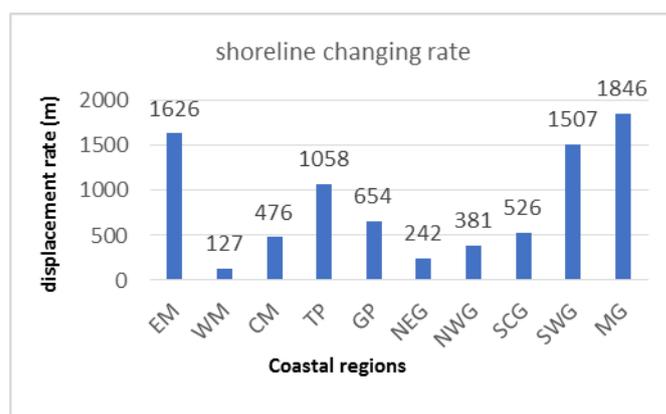


Рис. 1. Сравнение средней величины изменений береговой линии залива Горган и Мианкале за период 1995-2019 гг.

Результаты исследований также показали, что скорость преобразования прибрежных местообитаний залива Горган зависит от изменчивости уровня Каспийского моря и песчаных берегов юго-восточного Каспия вдоль северо-восточной части водно-болотных угодий Мианкале и мелководных лагун. Западная оконечность залива Горган претерпела наибольшие изменения в 1995-2019 годах [3]. Замещение водной экосистемы сушей и преобразование прибрежных водно-болотных угодий на засоленные и солоноватые болота являются наиболее важными экологическими событиями в заливе Горган и водно-болотных угодьях Мианкале во время отступления вод Каспийского моря в 1995-2019 годах [3]. Количественно изменчивость береговых линий в разных прибрежных районах залива Горган и водно-болотных угодий Мианкале очень различна, и степень физической уязвимости берегов в исследуемой зоне зависит от геометрической структуры побережья [3]. Уровень осушения и смещения береговой линии в северо-восточных районах Мианкале и западной оконечности залива Горган очень высок (рис. 1). Для

комплексного управления прибрежной зоной в исследуемом районе необходимо сосредоточить внимание на районах с высокой физической уязвимостью. Постоянный контроль количественных и качественных изменений прибрежных местообитаний, подверженных колебаниям уровня Каспийского моря, может существенно уменьшить существующие проблемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gharibreza M., Nasrollahi A., Afshar A., Amini A. Evolutionary trend of the Gorgan Bay (southeastern Caspian Sea) during and post the last Caspian Sea level rise. CATENA. 2018. V. 166. P. 339-348.
2. Hapke C.J., Kratzmann M.G., Himmelstoss E.A. Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. Geomorphology. 2013. V. 199. P. 160–170.
3. Khoshravan H., Naqinezhad A., Alinejad-Tabrizi T., Yanina T. Gorgan Bay environmental consequences due to the Caspian Sea rapid water level change. Caspian J. Environ. Sci. 2019. V. 17(3). P. 213-226. Doi: 10.22124/CJES.2019.3664.
4. Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., Ignatov E.I., Kasimov. N.S. A full sea level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores. Sedimentary Geology. 2000. V. 134. P. 257-274.
5. Luijendijk A., Hagenaars G., Ranasinghe R., Baart F., Donchyts G., Aarninkhof S. The State of the World's Beaches. Scientific reports. 2018. V. 8. P. 6641. Doi:10.1038/s41598-018-24630-6.

Перевод с английского

**Оценка влияния падения уровня Каспийского моря на геоморфологические характеристики прибрежной зоны Каспийского моря от мыса Бяндован до реки Астарачай водного бассейна Азербайджана на основе обработки спутниковых изображений**

<sup>1</sup> Т. Мамишова, <sup>2</sup> А.С. Алиев, <sup>2</sup> Р.Г. Гардашов

<sup>1</sup> Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, Баку, Азербайджан

*e-mail:* turkan.memishova@gmail.com

<sup>2</sup> Институт географии им. Г. Алиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

*e-mail:* rauf\_gardashov@yahoo.co.uk

Прибрежные зоны являются важным регионом, как с экологической, так и с экономической точки зрения. Мониторинг прибрежной зоны и, в частности, точная демаркация береговой линии, является важным объектом фундаментальных исследований при решении таких проблем, как охрана окружающей среды в контексте глобального изменения климата. Береговые линии имеют первостепенное значение для управления земельными и водными ресурсами, географического картографирования, безопасного судоходства и мониторинга прибрежных районов. Среди наиболее распространенных методов определения береговой линии – визуальная интерпретация результатов обычных наземных съемок или аэрофотоснимков [1, 4]. Эти методы, по определению, субъективны и зависят от индивидуальных возможностей исследователя, к тому же зачастую требуется, чтобы оператор был знаком с местной средой [1]. Использование индикаторов приливных данных является более совершенным методом для определения береговой линии, однако его возможности ограничены для определения исторической береговой линии [4]. В последние годы наблюдается рост использования данных дистанционного зондирования с применением радиолокационных спутников с оптической и синтезированной апертурой (SAR) для автоматического или полуавтоматического извлечения и картографирования береговой линии [2]. Кроме того, было предложено несколько методик для точного определения местоположения береговой линии, основанных на использовании контролируемой и неконтролируемой классификации, а также пороговых методов [3, 4, 6]. Вне зависимости от выбранного метода, классификация пикселей в воде или на суше будет определяться, среди прочих факторов, разрешением используемых входных данных.

В настоящем исследовании для идентификации и определения динамики прибрежной зоны и береговой линии использовались различные полуавтоматические методы, такие как Tasseled Cap и DSAS (Цифровая система анализа береговой линии). Определены зоны воздействия и количественные

показатели геоморфологических процессов. В настоящем исследовании использованы спутниковые снимки Sentinel 2 высокого разрешения за 2016-2021 гг.

Для извлечения береговой линии мы использовали метод преобразования Tasseled Cap и NDVI (Нормализованный разностный вегетационный индекс). В данной методике NDVI использует составные диапазоны красного и ближнего инфракрасного (NIR) для определения уровня зеленого и классификации растительных зон. В процессе преобразования Tasseled Cap используются составные диапазоны красного, зеленого, синего, ближнего инфракрасного, коротковолнового инфракрасного-1 (SWIR-1) и коротковолнового инфракрасного-2 (SWIR-2) для определения яркости, уровня зеленого и влажности объекта. Путем проведения данного анализа было произведено извлечение береговой линии (рис. 1).

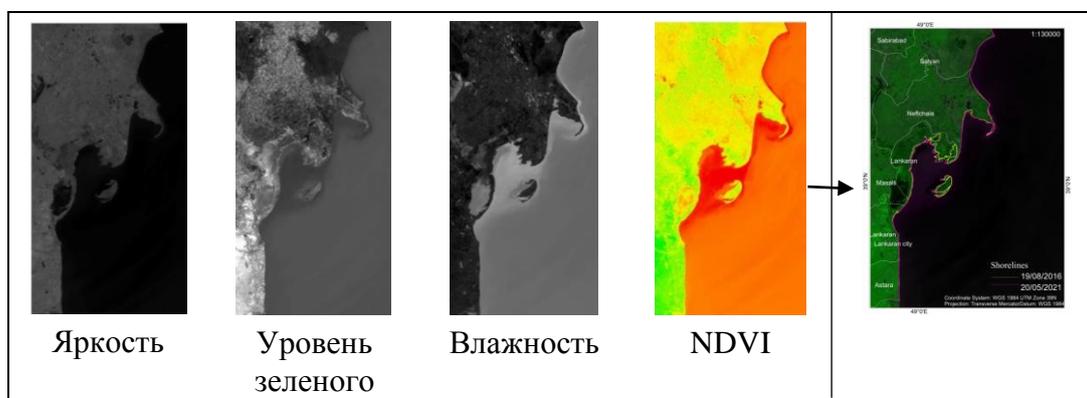


Рис. 1. Результаты извлечения береговой линии с 2016 по 2019 гг.

Минимальный уровень Каспийского моря за последние годы был зарегистрирован в 1977 году наземной станцией на отметке -29 м абс. С 1978 года уровень моря повышался, и в 1995 году был зарегистрирован на отметке -26,66 м, после чего уровень Каспийского моря оставался практически стабильным с небольшим снижением. В 2016-2020 гг. наблюдалось понижение на 0,2 метра. Цифровая система анализа береговой линии (DSAS) – это система на основе ГИС, созданная Геологической службой США. Версия DSAS 5.0 содержит шесть статистических методов для фиксации изменений. В настоящем исследовании использовались методики чистого перемещения береговой линии (NSM) и показателей конечных точек (EPR). NSM апеллирует ко временным критериям и требует только двух береговых линий, т.е. общего расстояния между самой ранней и самой поздней береговой линией в каждом разрезе. EPR в свою очередь измеряет изменение береговой линии, вычисляя расстояние между исходным и самым последним положением границы между водой и сушей [5]. Положительное и отрицательное значение EPR и NSM показывают движение береговой линии в сторону моря или суши соответственно. В исследуемом регионе были выявлены районы с самым высоким уровнем абразии и эрозии, а также установлены изменения береговой линии острова Кюр-Дили (рис. 2).

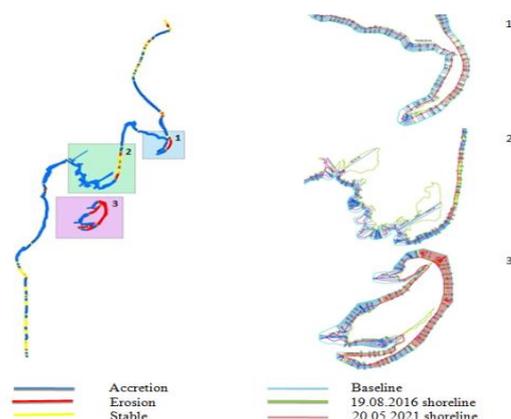


Рис. 2. Районы, где береговая линия подвержена максимальной эрозии (1) и аккумуляции (2) и результаты по острову Кюр-Дили (3)

Таким образом, было установлено, что береговая линия побережья Азербайджана от мыса Бяндован до реки Асатарачай изменилась между 1559,6 и -41,7 м/год в период с 2016 по 2021 год, в то время как в некоторых районах она осталась неизменной. Данные статистических расчетов NSM показывают, что береговая линия сократилась с (-0,01) м до (-197,85) м в результате процесса эрозии (абразии) и с 0,05 м до 7405 м продвинулась в сторону моря вследствие процессов аккумуляции (рис. 2). В 2016-2021 гг. прибрежные изменения носят в основном накопительный характер, и в меньшей степени являются результатом эрозии. Береговая линия постоянно меняется по причине эрозии и аккумуляции. В период с 2016 по 2021 год в результате процессов аккумуляции было образовано 8052 га суши, при этом 71,47 га земли было потеряно в результате эрозии. На острове Кюр-Дили площадь суши увеличилась на 623,66 га, с одной стороны, и уменьшилась на 220 га, с другой. Результаты показывают, что в 2016-2021 гг. наблюдается изменение береговой линии, и в среднем береговая линия сдвинулась на 230 м в сторону моря и 23,14 м – в сторону суши.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Boak E.H., Turner I. L. Shoreline definition and detection: A review. *J. Coast. Res.* 2005. V. 21(4). P. 688–703.
2. Di K. et al. Automatic shoreline extraction from highresolution IKONOS satellite imagery. In: *Proceedings of ASPRS 2003 Annual Conference.*, 2003. P. 5–9.
3. García-Rubio G., Huntley D., Russell P. Evaluating shoreline identification using optical satellite images. *Marine Geology.* 2015. V. 359. P. 96–105.
4. Gens R. Remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring. *International Journal of Remote Sensing.* 2010. V. 31(7). P. 1819–1836.
5. Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. The digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 an ArcGIS extension for calculating shoreline change. *Tech. Rep. U.S. Geol. Surv., Reston, VA, USA,* 2009.

6. Wang X. et al. Fine spatial resolution coastline extraction from Landsat-8 OLI imagery by integrating downscaling and pansharpening approaches. Remote Sensing Letters. 2018. V. 9(4). P. 314–323.

*Глоссарий (прим. пер.):*

DSAS – Digital Shoreline Analysis System, цифровая система анализа береговой линии

EPR – End Point Rate, показатели конечных точек

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный разностный вегетационный индекс/ нормализованный относительный индекс растительности

NIR – Near Infrared, ближний инфракрасный диапазон

NSM – Net Shoreline Movement, чистое перемещение береговой линии

SAR – Synthetic Aperture Radar, радиолокационное синтезирование апертуры

SWIR – Short Wave Infrared, коротковолновый инфракрасный диапазон

Перевод с английского

## **Численное моделирование физических свойств океанографии в Южном Каспии**

<sup>1</sup> Д.Б. Матиколаи, <sup>2</sup> Б. Лайеги

<sup>1</sup>Тегеранский университет, Тегеран, Иран

*e-mail:* javadbabagoli@gmail.com

<sup>2</sup> Центр океанических и атмосферных исследований (OASC), Тегеран, Иран

*e-mail:* layeghi2001@yahoo.com

Каспийское море – самое большое озеро в мире. Этот бассейн является уникальным водоемом благодаря своей батиметрии, объему, а также другим особенностям. Ученые разделили этот бассейн на три бассейна, включая северную, среднюю и южную части [1]. Этот регион очень важен для всех стран, расположенных в непосредственной близости от Каспийского моря, поскольку оно играет ключевую роль в изменении климата [7]. Теперь исследователи сосредоточились здесь на таких проблемах, как глобальное потепление и загрязнение нефтью. Эти проблемы могут иметь существенные последствия, такие как гибель морских обитателей и уменьшение ледового покрова в северной части моря [8]. Хотя многие пытаются изучать этот регион с помощью различных подходов, физические океанографы изучают его физические особенности, которые включают показатели водной среды и термохалинную циркуляцию этого водного бассейна. В последнее десятилетие количество исследований циркуляции поверхностных и глубоководных вод в Каспийском море растет. В то время как Гундуз и Озсой [5] изучали сезонные изменения поверхностных вод, Бабаголи и др. [2] и Бабаголи и Бидохти [3] исследовали глубоководные течения, применяя модель и лабораторное моделирование.

В данной работе используется модель ROMS (региональная система моделирования океана) для моделирования поверхностного течения и свойств воды в южной части Каспийского моря. Модель ROMS представляет собой гидростатическую и трехмерную океаническую модель со свободной поверхностью, которая обладает множеством возможностей для моделирования океанических и прибрежных процессов. Эта модель решает уравнения Навье-Стокса с учетом приближений гидростатики и Буссинеска [9]. Модель применяет сетку Аракава-С в горизонтальном направлении, в то время как эта модель использует неоднородные шаги во временных шагах. В этом исследовании мы запустили эту модель для южной части моря с горизонтальным разрешением 2,5 км, в то время как мы рассматриваем 16 слоев в вертикальных сетках. Модель эксплуатировалась в течение 4 лет с 2013 по 2016 год. Данные GEBCO используются для создания файла сетки с разрешением 30 секунд. Данные ECMWF используются для создания специальных форсинг-файлов для модели. Использовались 6-часовые данные с разрешением  $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ . Для задания начальных условий и климата использовались данные COADS и Атласа Мирового океана 2013 года

соответственно. Рассматривались две реки: Кура и Сефидруд. Данные о речном стоке получены из Глобального центра данных о стоке.

Результаты моделирования по модели верифицировались на основе данных наблюдений и других моделей. Мы применили техники радиации и нуджинга для открытой границы в Апшеронском проливе. На рис. 1 показаны некоторые результаты работы модели. Результаты показывают, что модель ROMS может быть вполне подходящей для моделирования физических явлений в Каспийском море.

Результаты моделирования показывают, что влияние температуры на структуру водного объекта в южной части может быть гораздо более важным, чем солёности. Кроме того, профиль плотности морской воды аналогичен профилю температуры в отличие от профиля солёности. Как правило, поверхностная циркуляция происходит против часовой стрелки, так как ветры, в основном, направлены в сторону иранского побережья. Модель показала, что некоторые вихри образуются в южной части, в то время как другие являются диполями. Большинство водоворотов образуется в глубоководной части Южного Каспия, где глубина моря превышает 200 м. Вихри особенно сильны осенью по сравнению с другими сезонами.

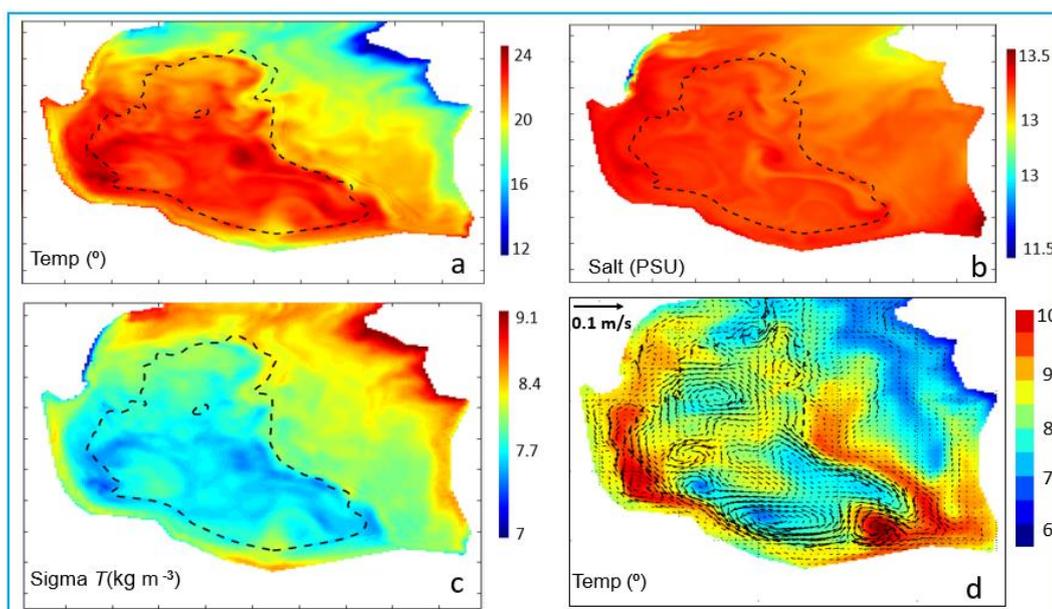


Рис. 1. а) Месячная температура поверхности моря в марте, б) Месячная солёность поверхности моря в марте, в) Месячная сигма поверхности моря Т, д) Среднемесячные течения (м/с) за январь на глубине 10 м. Цвет показывает температуру (см. векторную шкалу).

Местоположение на карте составляет  $36-40,5^{\circ}$  с.ш. и  $49,5-53,5^{\circ}$  в.д.

Модель демонстрирует изменения поверхностных вод в месте образования вихрей. Эти вихри могут изменять термохалинную структуру поверхностных вод примерно на 20 см, хотя изменения (положительные или отрицательные) связаны с направлением движения вод в вихре. Эти круговороты воды играют ключевую роль в распространении нефтяного загрязнения вблизи южных берегов, поскольку

загрязнение нефтью может быть одной из проблем этой акватории в результате деятельности человека.

Моделирование расположения вихрей подтверждает предыдущее исследование, которое показало, что окрестности мыса Сефидруд могут быть наиболее загрязненной областью [4]. В океанографии изучение вихрей очень важно, поскольку они переносят импульс, теплоту, массу, а также загрязнение нефтью [6]. По этой причине мы провели исследование для южной части моря с повышением горизонтального разрешения модели. Этот метод дает нам возможность глубоко исследовать поведение вихрей в этой части моря.

На основании проведенных исследований, предлагается регулярно контролировать, в частности, Апшеронский пролив, чтобы предотвратить распространение разливов нефти. В противном случае эти нефтяные загрязнения могут достичь области круговоротов. Вихри смешивают загрязняющие вещества с окружающей водой, что приводит к более загрязненной области. В этой работе использовались численные модели, для углубленного же изучения физических явлений, происходящих в Каспийском море, необходимы данные наблюдений. В частности, нам нужны некоторые данные наблюдений с высоким разрешением в Апшеронском проливе для изучения глубинных морских вод, когда происходит их формирование в северной части моря. Мы полагаем, что для оценки последствий изменения климата для Каспийского моря следует изучать образование льда в северной части моря, что может стать целью наших будущих исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aubrey D.G. Conservation of biological diversity of the Caspian Sea and its coastal zone, A proposal to the Global Environment Facility. Report to GEF. 1994.
2. Babagoli Matikolaei J., Aliakbari Bidokhti A., Shiea M. Some aspects of the deep abyssal overflow between the middle and southern basins of the Caspian Sea. *Ocean Science*. 2019. V. 15(2). P. 459-476.
3. Babagoli Matikolaei J., Bidokhti A.A. An experimental study of flow regimes of a gravity current over a Cape in a stratified environment. *Ocean Dynamics*. 2019. V. 69(7). P. 769-786.
4. Babagoli Matikolaei J. Impact of physical process on propagating oil spills in the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2021. V. 165. P. 112-147.
5. Gunduz M., Özsoy E. Modelling seasonal circulation and thermohaline structure of the Caspian Sea. *Ocean Science*. 2014. V. 10(3). P. 459-471.
6. Gill A.E. Eddies in relation to climate. In: Robinson A.R. (ed.) *Eddies in marine science*. Springer Verlag, 1983.
7. Mammadov T.S., Balapour S. Climate Change Impacts on Azerbaijan Biodiversity in the Caspian Sea. *Procedia Environmental Sciences*. 2015. V. 29(4).

8. Rahnemania A., Aliakbari Bidokhti A., Babagoli Matikolaei J. Study of ice formation in the Caspian Sea using numerical simulations. Journal of the Persian Gulf. 2018. V. 9(33). P. 40-0.
9. Shchepetkin A.F., McWilliams J.C. The Regional Ocean Modeling following coordinates ocean model. Ocean Modell. 2005. V. 9. P. 347-404.

Перевод с английского

## **Явление телеконнекции между уровнем и температурой поверхности воды Каспийского моря**

<sup>1</sup> М. Молави-Арабшахи, <sup>2</sup> К. Арпе

<sup>1</sup>Институт математики, Научно-технологический университет Ирана, Тегеран, Иран

*e-mail:* molavi@iust.ac.ir

<sup>2</sup>Институт метеорологии Макса Планка, Гамбург, Германия

*e-mail:* klaus.arpe@mpimet.mpg.de

### **Введение**

Прогнозы климатических изменений, вызванных увеличением концентрации парниковых газов и аэрозолей, обусловленным деятельностью человека, являются постоянной темой научных дискуссий и споров. В последние годы интеграция данных наблюдений и модельных данных с помощью методов ассимиляции позволила получить новое поколение баз данных для более глубоких возможностей исследования, для обзора и сравнения этих подходов и для обсуждения некоторых связанных с ними статистических вопросов. Изменение климата создает дополнительные препятствия на пути искоренения бедности и достижения социальной справедливости. Повышение температуры, все более неустойчивые показатели осадков, а также более частые и сильные наводнения, циклоны и засухи – все это оказывает значительное негативное воздействие на обеспечение средствами к существованию людей, проживающих за чертой бедности; и специалисты по развитию лично наблюдают последствия изменения климата в своей работе по всему миру. Некоторые из этих последствий, такие как нехватка продовольствия, могут являться результатом сочетания негативных факторов, таких как климатические потрясения и катастрофы, снижение плодородности почв и отсутствие надежного доступа к продовольственным рынкам.

Информация о временной и пространственной изменчивости температуры и осадков в конкретные периоды времени крайне важна как с научной, так и с практической точки зрения. Метеорологические и океанографические исследования и прогнозы совершенствуются благодаря все более точным временным и пространственным данным о температуре и количестве осадков. Более неопределенные, но тем не менее возможные последствия повышения мировых температур включают увеличение риска засухи и усиление интенсивности штормов, включая тропические циклоны с более высокой скоростью ветра, более влажные азиатские муссоны и, вероятно, более интенсивные штормы в средних широтах. Изменения климата влияют не только на средние показатели температур, но и на экстремальные значения, увеличивая вероятность стихийных бедствий, связанных с погодой.

Данные долгосрочных наблюдений имеют важное значение для выявления и понимания местных, региональных и глобальных климатических изменений. Целью

настоящей работы является рассмотрение климатических данных по Каспийскому морю в отношении любой наблюдаемой тенденции при исследовании годовых средних температур поверхности воды и уровня Каспийского моря за 1979–2020 годы. На основе моделирования идеализированной модели была обнаружена связь между уровнем Каспийского моря (УКМ) и температурой поверхности воды (ТПВ). Были обнаружены и некоторые несоответствия в данных. С использованием таких методов как корреляция Манна-Кендалла и Z-оценка, был сделан ряд статистических выводов, обсуждаемых ниже.

### Интерпретация и обсуждение результатов

На рис. 1 показано распределение средней температуры поверхностного слоя воды в Каспийском море в разные сезоны года в период 1979-2020 гг. Корреляция между ежегодным изменением уровня Каспийского моря (ДУКМ) и индексами Эль-Ниньо (Южная осцилляция) показывает наличие статистически значимой связи. Кроме того, наблюдается связь между стоком реки Волги (СРВ) и показателями Эль-Ниньо. Корреляции с Североатлантической осцилляцией низкие.

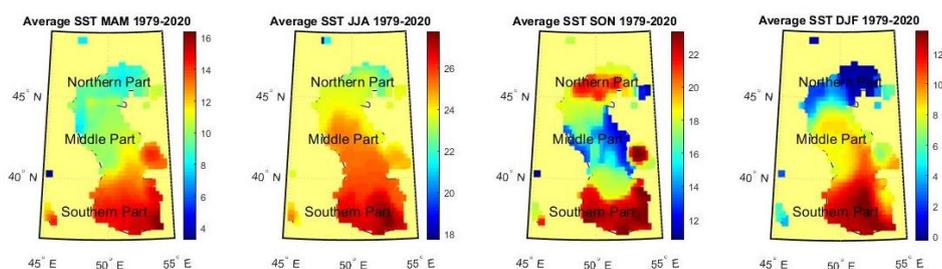


Рис. 1. Расположение области исследования

Таблица 1 показывает, что после фильтрации связь между ДУКМ и Южной или Североатлантической осцилляцией демонстрирует еще более сильную связь с Южной осцилляцией, нежели с Североатлантической, хотя связь с ней, по крайней мере, становится значимой после фильтрации.

Таблица 1. Корреляции с применением и без применения фильтра нижних частот (среднее значение по трем точкам) для всех временных рядов для выборки переменных

	Без фильтрации		С фильтрацией	
	ДУКМ	СРВ	ДУКМ	
Индекс Южной осцилляции	<b>-.468**</b>	<b>-.399**</b>	<b>-.608**</b>	
Североатлантическая осцилляция	<b>.228</b>	.137	<b>.380**</b>	
Океанический индекс Ниньо	<b>.359**</b>	.255	<b>.460**</b>	

\*Значимо при уровне  $p=0.05$

\*\* Значимо при уровне  $p=0.01$

Большие корреляции между  $\Delta$ УКМ и УКМ вызывают удивление. Это может быть объяснено физической причиной, т. е. с увеличением УКМ размеры Каспийского моря также будут увеличиваться [1].

Кроме того, можно использовать фильтр высоких частот (мы используем производные по времени обоих рядов), чтобы устранить любое влияние тенденций на корреляцию, что улучшает корреляции по всем индексам и делает значимыми даже показатели Североатлантической осцилляции, которые, тем не менее, остаются намного ниже, чем в случае Южной осцилляции (табл. 2).

Таблица 2. Корреляции по всем временным рядам для выборки переменных

Параметр	Индекс южной осцилл.	Северо.-атлант. осцилл.	Океан. индекс Ниньо	Атлант. мультидек-адная осцилл.	Антарктич. осцилл.	Индекс Транс-ниньо	Тихоок.-североам. телеконн.	Много-мерн. индекс южн. осцилл.
УКМ зима	0.079	-0.141	-0.096	0.272*	0.073	-0.085	0.005	-0.123
УКМ лето	0.112	-0.136	-0.079	0.286**	0.045	-0.120	0.023	-0.109
ТПВ1	0.053	-0.065	-0.151	0.402**	0.224*	-0.023	-0.001	-0.225*
ТПВ2	0.121	-0.150	-0.168	0.556**	0.220*	-0.078	0.021	-0.263*
ТПВ3	0.104	-0.172	-0.141	0.572**	0.188	-0.023	0.055	-0.243*
ТПВ зима 1	-0.055	0.049	-0.090	0.017	-0.056	-0.123	-0.090	-0.164
ТПВ зима 2	-0.022	-0.089	-0.099	-0.013	-0.107	-0.077	0.043	-0.146
ТПВ зима 3	-0.069	-0.028	0.046	-0.428**	-0.233*	0.042	-0.017	0.097
ТПВ лето 1	0.003	-0.128	-0.092	0.392**	0.235*	0.095	0.169	-0.131
ТПВ лето 2	0.064	-0.144	-0.181	0.501**	0.351**	0.114	0.131	-0.257*
ТПВ лето 3	0.079	-0.115	-0.175	0.545**	0.308**	0.124	0.158	-0.254*

\*Значимо при уровне  $p=0.05$

\*\* Значимо при уровне  $p=0.01$

Различия в ТПВ не так велики, но, очевидно, достаточно значимы, чтобы их можно было наблюдать у показателей испарения, тем более что большие различия в ТПВ наблюдаются именно летом, когда испарение наиболее активно.

В настоящем исследовании мы поставили себе целью **проанализировать результаты моделирования, сравнив их с данными наблюдений**. Прежде всего, отмечается снижение летнего ТПВ в южном бассейне Каспийского моря с большими размерами Каспийского моря в летнее время, для чего мы изучаем условия энергетического баланса Каспийского моря в годы с высоким УКМ и с низким УКМ (рис. 2).

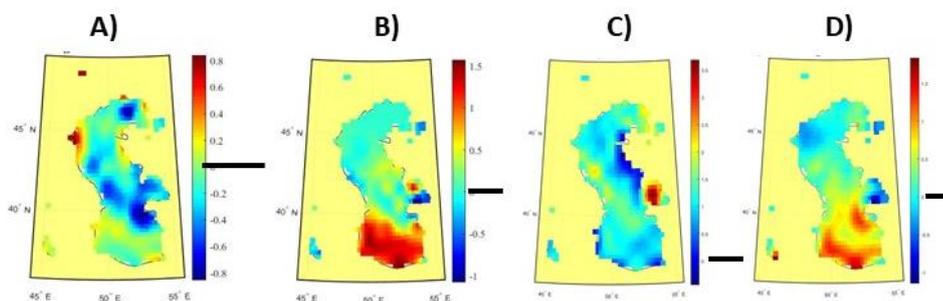


Рис. 2. Различия в ТПВ Каспийского моря во временной период 1993-1995 гг. (высокий УКМ) и 1979-1981 гг. (низкий УКМ) для лета (А) и зимы (В); (С) – различия между 1995 и 1993 гг. для лета, время максимального высокого УКМ; (D) – различия между 1995 и 1993 гг. для зимы

### ЛИТЕРАТУРА

1. Arpe K., Molavi-Arabshahi M., Leroy S.A.G. Wind variability over the Caspian Sea, its impact on Caspian seawater level and link with ENSO. *International Journal of Climatology*. 2020. V. 40(14). P. 6039-6054. <https://doi.org/10.1002/joc.6564>
2. Molavi-Arabshahi M., Arpe K., Leroy S.A.G. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *Int. J. Climatol*. 2016. V. 36. P. 2156–2172. Doi: 10.1002/joc.4483

**Моделирование уровня Каспийского моря в различных климатических условиях с использованием океанической модели ИВМИО-CICE и климатической модели INMCM**

<sup>1</sup> П.А. Морозова, <sup>2</sup> К.В. Ушаков, <sup>3</sup> Е.М. Володин, <sup>1,4</sup> В.А. Семенов

<sup>1</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

*e-mail:* morozova\_polina@mail.ru

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

В данной работе были проведены оценки изменения испарения с поверхности Каспия и объемов речного стока, необходимого для поддержания равновесного состояния озера в различных климатических условиях и при различных уровнях озера. Была использована региональная конфигурация океанической вихререзрешающей модели ИВМИО, объединенная с моделью морского льда CICE. В качестве атмосферных граничных условий в океанической модели были использованы результаты экспериментов климатической модели INMCM [5] по воспроизведению климата последнего ледникового максимума (ПЛМ, эксперимент LGM, 21 тыс.л.н.) и климата преиндустриального периода (piControl, около 1850 г.), выполненных в рамках проекта SMIP6 и RMP4 [1].

Модель ИВМИО аппроксимирует систему трехмерных уравнений динамики и термодинамики океана в приближениях Буссинеска, гидростатики и несжимаемости воды методом конечных объемов на сетке типа B в вертикальных z-координатах. Численная реализация модели описана в [4]. В данной работе использована регулярная горизонтальная модельная сетка с разрешением 0.27° по долготе и 0.2° по широте, 28 вертикальных уровней с шагом от 6 м в верхнем слое до 125 м в глубине. Граничные условия включают интенсивность осадков, нисходящие потоки длинноволновой и коротковолновой радиации, температуру и влажность воздуха, скорость ветра. Модель динамики и термодинамики льда CICE [3] используется на сетке того же разрешения и с тем же шагом по времени, что и модель океана. Построение совместной модели ИВМИО-CICE описано в [2].

Расчеты проводились для различных уровней Каспия: -60, -45, -30, -15 м.н.у.м. Эксперимент был организован следующим образом: при каждом уровне озера задавалось начальное приближение для величины речного стока. После этого в течение 20 лет проводился счет с использованием данных климатического моделирования INMCM (эксперименты piControl, LGM), и вычислялась величина водного дисбаланса, средняя за 6-20 годы. Затем объем речного стока корректировался на эту величину дисбаланса, и счет продолжался еще 30 лет в условиях «сбалансированного» состояния Каспия. В итоге анализировались

полученные поля испарения, средние за последние 20 лет. Полученные значения объема речного стока, необходимого для сбалансированного состояния Каспийского моря при различных уровнях для доиндустриального и климата LGM, представлены на рис.1.

Проведенные эксперименты позволяют более корректно, чем при использовании данных глобальных климатических моделей, оценить объемы испарения с поверхности Каспия при различных климатических условиях, а также получить зависимость объемов испарения от уровня Каспия, которая в силу морфологических особенностей озера носит нелинейный характер. Данная информация может быть полезна как при палеореконструкциях уровня озера, так и для прогнозов будущего состояния водоема.

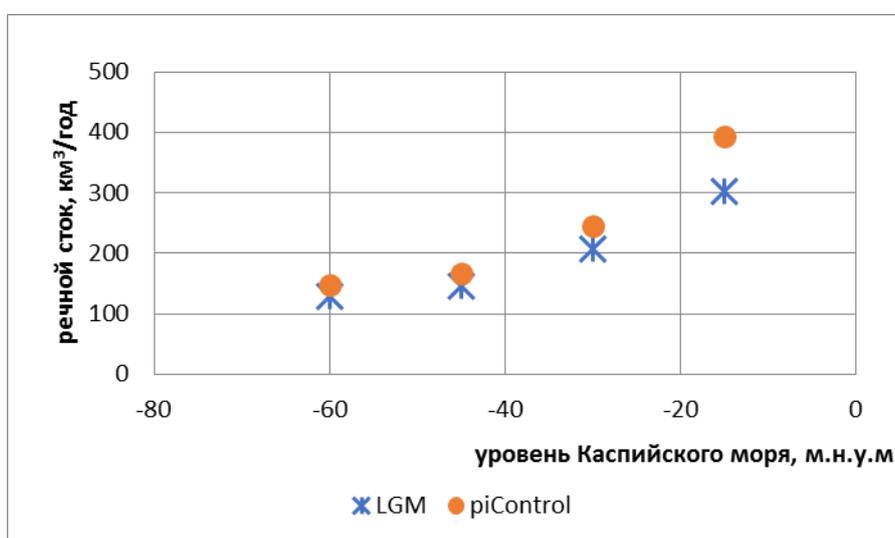


Рис.1. Объем речного стока, необходимого для равновесного состояния Каспийского моря при различных уровнях для доиндустриального и климата ПЛМ по данным ИВМИО-SICE и INMCM

Анализ данных климатических моделей, воспроизводящих доиндустриальный климат и климат ПЛМ в рамках проектов RMP4 и CMIP6, доступных на сайте [1], показал большой межмодельный разброс в воспроизведении речного стока в бассейне Каспия в эпоху ПЛМ. Половина моделей воспроизвела сток Волги в ПЛМ близким к доиндустриальному, другая – его понижение на 40-50%. Полученный диапазон стока Волги в эпоху ПЛМ в абсолютных величинах составил 100-175 км<sup>3</sup>/год. Если рассматривать изменение стока в ПЛМ как отклонение в процентах от современного наблюдаемого стока, то сток Волги в ПЛМ составит 125 – 240 км<sup>3</sup>/год. Если также, помимо Волги, рассмотреть сток рек Кавказа (Терек, Сулак, Кура), то относительные изменения в регионе для всех моделей в эпоху ПЛМ не превышают 20%, т.е. суммарный сток рек Кавказа колеблется в диапазоне 25-35 км<sup>3</sup>/год. Таким образом, минимальные оценки речного стока в Каспий составляют около 145 км<sup>3</sup>/год, максимальные – около 280 км<sup>3</sup>/год. Согласно расчетам с использованием модели ИВМИО эти объемы речного стока в ПЛМ соответствуют уровням Каспия около -45 м.н.у.м. и -20 м.н.у.м., что исключает глубокую регрессию Каспия.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-17-00215, оценка результатов проекта РМIP4), госзадания ИГРАН 0148-2019-0009 (моделирование климата ПЛМ с использованием модели INMCM) и госзадания ИО РАН 0128-2021-0003 (разработка версии модели ИВМИО-CICE для Каспийского моря и атмосферных данных INMCM).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Earth System Documentation. Available at URL: <https://view.es-doc.org/index.html?renderMethod=id&project=cmip6&id=8c42ab00-1ef2-4d5b-ade1-8bf8803cb6d4>
2. Fadeev, R., Ushakov, K., Tolstykh, M. & Ibrayev, R. Design and development of the SLAV-INMIO-CICE coupled model for seasonal prediction and climate research // Rus. Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. 33(6). P.333-340.
3. Hunke E.C., Lipscomb W.H., Turner A.K., Jeffery N., Elliott S. CICE: the Los Alamos Sea Ice Model. Documentation and Software User's Manual Version 5.1. Los Alamos National Laboratory. 2015.
4. Ushakov K.V., Ibrayev R.A. Assessment of mean world ocean meridional heat transport characteristics by a high-resolution model // Russ. J. Earth. Sci. 2018. 18. ES1004
5. Volodin, E.M., et al. Simulation of the modern climate using the INMCM48 climate model // Rus. Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. V. 33(6). P. 367-374

Перевод с английского

## **Будущее снижение уровня Каспийского моря: имеет ли значение Североатлантическое колебание?**

<sup>1</sup> Ш.Д. Нандини-Вайсс, <sup>3</sup> К. Арне, <sup>2</sup> У. Меркель, <sup>2</sup> М. Пранге

<sup>1</sup> Институт океанографии, Центр исследований систем Земли и устойчивого развития (СЕН), Гамбургский университет, Гамбург, Германия

<sup>2</sup> MARUM – Центр наук о морской среде и Факультет наук о земле, Бременский университет, Бремен, Германия

<sup>3</sup> Институт метеорологии им. Макса Планка, Гамбург, Германия

*e-mail: sri.durgesh.nandini-weiss@uni-hamburg.de*

Уровень Каспийского моря (УКМ) за прошедшее столетие изменился более чем на 3 м, что резко повлияло на жизнь прибрежных жителей, сельское хозяйство, рыболовство, экономику и экосистему стран, расположенных на берегах Каспийского моря (Азербайджан, Иран, Казахстан, Туркменистан и Россия). На будущее УКМ напрямую влияют изменения в его водном балансе (равном сумме осадков за вычетом испарения над водосбором; Р-Е), что связано с прогнозируемым воздействием антропогенного глобального потепления.

В нашем исследовании рассматриваются ежегодные и сезонные (лето-зима) изменения регионального климата и водного баланса Каспийского моря, а также потенциальные связи с зимним Североатлантическим колебанием (NAO). Мы используем климатическую модель типа МГЭИК CESM1.2.2 и ее климатические прогнозы до 2100 года в соответствии с Репрезентативным распространением концентрации RCP4.5 (сценарий промежуточных выбросов) и RCP8.5 (сценарий высоких выбросов). Модель предполагает, что NAO остается ключевым фактором зимней изменчивости в Каспийском регионе, оказывая сильное влияние на характер осадков на территории его водосбора.

В рамках сценария RCP4.5 среднего диапазона обнаружена значимая корреляция ( $r = 0,5$ ,  $p < 0,05$ ) между NAO и разницей Р-Е на водосборе в течение 21 века, главным образом, за счет сильного влияния NAO на осадки в бассейне Волги. Однако для сценария с высоким уровнем выбросов RCP8.5 эта корреляция исчезает, поскольку аномальное чистое испарение в среднем и южном бассейнах водосбора отменяет аномальные осадки в северном регионе водосбора в положительной фазе NAO и наоборот. Это говорит о том, что влияние Североатлантического колебания на УКМ возрастет в течение 21 века, если глобальное потепление будет умеренным (RCP4.5), но исчезнет, если глобальное потепление станет слишком интенсивным (RCP8.5). В обоих сценариях потепления увеличение испарения над поверхностью озера приведет к постепенному снижению УКМ. Несмотря на увеличение количества осадков в северной части бассейна Волги, увеличение испарения приводит к отрицательному водному балансу и дополнительному снижению УКМ примерно с 9

м (RCP4, 5) до 18 м (RCP8, 5) (или 16 м, если мы откорректируем смещение испарения модели).

Эти значения больше, чем предыдущие прогнозы снижения УКМ, показанные другими исследованиями. Увеличение испарения будет происходить в период между весенним и осенним сезонами. Такое снижение УКМ окажет значительное влияние на окружающую среду Каспия, особенно в северной части моря, глубина которой в настоящее время составляет около 5 м. Необходимо обеспечить средства к существованию прибрежных общин, которые полагаются на здоровую окружающую среду Каспия, а также на уникальное биоразнообразие с исключительным уровнем эндемизма. Следовательно, наше исследование вызывает серьезные опасения и новые последствия для будущей оценки рисков и разработки адаптивных стратегий для этого региона.

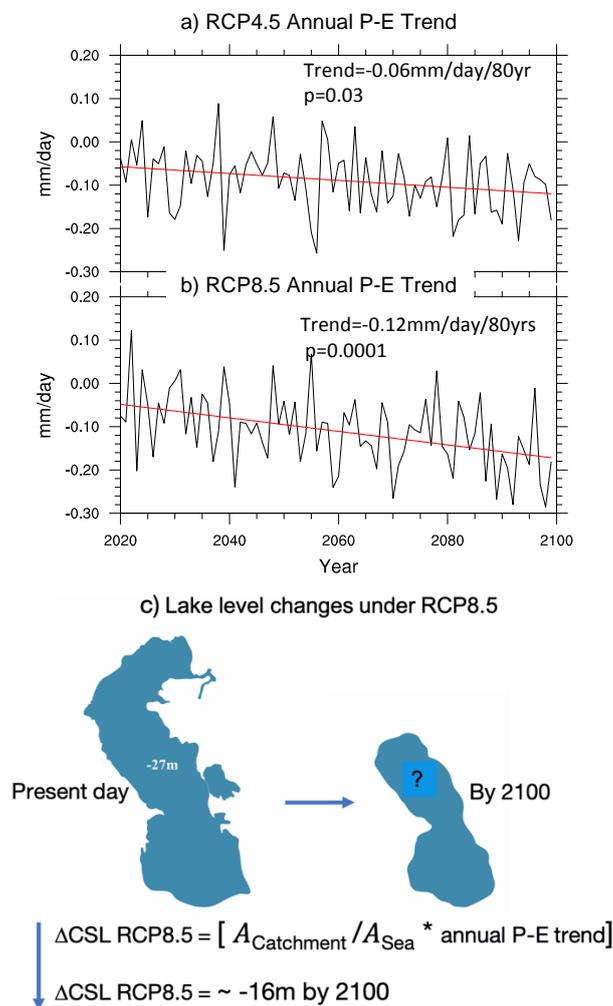


Рис. 1. Анализ тенденций временных рядов P-E на основе годовых средних, интегрированных по площади водосбора КМ ( $A_{\text{Catchment}}$ ) за 80 лет (2020-2100) для (a) RCP4.5 и (b) RCP8.5, смоделированных CESM (разрешение CAM5, 1° по горизонтали).

Принимая сценарий с высоким уровнем выбросов RCP8.5 и корректируя смещение модели испарения (с), к концу 21-го века прогнозируется снижение уровня моря на 16 метров.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Prange, M., Wilke, T., Wesselingh, F.P. The other side of sea level change // Communications Earth & Environment. 2020. 1(69).
2. Nandini-Weiss S.D., Prange M., Arpe K., Merkel U., Schulz M. Past and future impact of the winter North Atlantic Oscillation in the Caspian Sea catchment area // International Journal of Climatology. 2020. 40. P. 2717– 2731.

## **Основные черты гидрометеорологического режима и уровня Каспийского моря в условиях современного глобального потепления климата**

*Р.Е. Никонова*

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия

*e-mail: RENikonova@gmail.com*

Анализ климатообразующих факторов и оценка их влияния на гидрометеорологические условия Каспийского бассейна в XX-XXI столетиях позволил наиболее объективно и всесторонне отразить динамику сложных гидрометеорологических процессов и колебаний уровня моря в условиях глобальной климатической изменчивости и антропогенного влияния на режим моря. Были получены статистически значимые причинно-следственные зависимости изменчивости циркуляционных процессов и колебаний уровня моря. Формирование гидрометеорологических процессов в бассейне Каспия связано с крупномасштабными процессами взаимодействия океана и атмосферы, развивающимися над Северной Атлантикой. Было установлено, что длительные однонаправленные изменения уровня – регрессии или трансгрессии – происходят в условиях глобальной климатической изменчивости, проявляющейся в пределах всего Атлантико-Евразийского сектора. Так, в условиях аномального развития антициклонических процессов, обусловленных восточной формой циркуляции, в 1930-1941 гг., 1970-1977 гг., а также и с 1996 г., происходило понижение уровня моря (соответственно на 1,8, 0,7 м и 1,6 м). При западной форме циркуляции наблюдалось аномальное развитие циклонических процессов в 1978-1995 гг., что привело к резкому и интенсивному подъему уровня (на 2,4 м).

Значительная изменчивость уровня Каспия приводит к экологическим катастрофам и весьма ощутимым экономическим потерям. С начала проведения инструментальных наблюдений (1830 г.) и до конца XIX в. уровень моря занимал высокое положение и его колебания происходили около отметки -25,8 м абс. В XX-XXI столетиях в многолетнем ходе уровня Каспийского моря, на фоне прослеживаемой тенденции векового спада, условно можно выделить несколько характерных периодов положения уровня моря, соответствующих различному состоянию водного баланса: относительно равновесного баланса вод – период стабильного и высокого положения уровня моря (около -26,2 м. абс) в начале столетия (1900-1929 гг.); крайне дефицитного водного баланса – период катастрофического падения уровня с 1930 по 1941 гг. (на 1,8 м); незначительного дефицита – замедленного снижения с 1942 по 1977 гг. (на 1,2 м); период роста (на 2,4 м), соответствующий преобладанию приходных составляющих над расходными – с 1978 по 1995 гг.; и с 1996 г. по настоящее время – период снижения (на 1,6 м), обусловленный дефицитом водного баланса. Эти периоды в значительной степени коррелируют с изменчивостью климатических процессов и тесно связаны с эпохами атмосферной циркуляции и соответствуют их временным границам.

Колебания уровня Каспийского моря обусловлены сочетанием климатических и антропогенных факторов. Тектоническое влияние на колебания уровня ничтожно мало и не может быть соизмеримо с климатическим и антропогенным воздействием. Современные тектонические процессы приводят к разнонаправленному вертикальному смещению дна и берегов, в большинстве случаев, не превышающих  $\pm 2,5 \dots 11$  мм/год, в то время как современная межгодовая изменчивость уровня моря более значительна ( $+36 \dots -40$  см за период с 1978 по 2018 гг.). Ежегодное снижение уровня моря под влиянием антропогенного воздействия, главным образом, в результате безвозвратных изъятий речного стока, в настоящее время не превышает в среднем 4-7 см слоя. Оценка влияния климатообразующих факторов на характер увлажненности морского бассейна показала, что основная причина современного падения уровня Каспийского моря – развитие комбинированной эпохи атмосферной циркуляции западной (W) и восточной (E) форм в Атлантико-Евразийском секторе северного полушария. Активизации восточной формы циркуляции привела к дефициту осадков в водосборной части волжского бассейна и, как следствие, маловодности. Все это, а также активизация процессов испарения, привело к падению уровня моря. С 1996 по 2018 гг. в море поступало в среднем  $280,5 \text{ км}^3$  речной воды, в т.ч. сток Волги составил  $250 \text{ км}^3$  (в 2018 г. он сократился до  $178 \text{ км}^3$ ). В предшествующие годы подъема уровня объем суммарного стока достигал в среднем около  $315 \text{ км}^3/\text{год}$ . Средняя величина суммарного поверхностного речного притока в Каспий в XX-XXI вв. составила около  $300 \text{ км}^3/\text{год}$ , изменяясь в отдельные годы от  $200,0$  в 1996 г. до  $459,8 \text{ км}^3/\text{год}$  в 1926 г. (год с экстремально высоким стоком Волги). Суммарный объем стока, в пересчете на водную поверхность, приводил к ежегодному повышению уровня моря в среднем на  $55 \dots 115$  см.

В разные периоды XX-XXI столетий средние величины слоя испарения изменялись от  $72,2$  до  $116,8$  см/год, составляя в среднем  $97,0$  см/год. В начале XX в. среднегодовая величина испарения составляла около  $97,0$  см слоя ( $390 \text{ км}^3/\text{год}$ ), в 1930-е гг. –  $100,4$  см ( $395 \text{ км}^3/\text{год}$ ), в 1940-1960-е гг. величина испарения с уменьшившейся площади моря составляла  $96,4$  см ( $360 \text{ км}^3/\text{год}$ ). В 1970-1977 гг. интенсивность испарения возросла до  $103,9$  см/год, а в 1978-1995 гг. снизилась до  $92,0$  см ( $344 \text{ км}^3/\text{год}$ ), затем интенсивность процессов испарения вновь увеличилась и составила за период 1996-2018 гг.  $97,6$  см ( $378,7 \text{ км}^3/\text{год}$ ). С середины 1980-х годов на постах наблюдательной сети Каспийского моря отмечаются положительные отклонения годовых значений температуры воздуха от среднесуточной нормы. Сохранение этих тенденций в будущем может привести к росту интенсивности процессов испарения, что приведет к дальнейшему снижению уровня моря.

Таким образом, период современного падения уровня обусловлен дефицитом водного баланса, что привело к снижению уровня моря в 2019 г. до отметки  $-28,2$  м БС, ежегодно уровень опускался в среднем на  $6$  см (в отдельные годы уровень опускался на  $30$  см и повышался на  $14$  см слоя). Выполненные исследования позволяют оценить современное влияние экзо- и эндогенных процессов на гидрометеорологические условия бассейна Каспийского моря и дать объективную характеристику их многолетней изменчивости в условиях глобальной и региональной климатической изменчивости и антропогенного воздействия на гидрологический режим моря.

Перевод с английского

## **Обнаружение изменений береговой линии Каспийского моря с применением процедур анализа нечетких изображений**

<sup>1</sup> А.А. Расули, <sup>2</sup> С.Г. Сафаров

<sup>1</sup> Кафедра наук об окружающей среде, Университет Маккуори, Сидней, Австралия

*e-mail:* aarasuly@yahoo.com

<sup>2</sup> Институт географии Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

*e-mail:* safarov53@mail.ru

Выделение прибрежных зон – важная задача в национальном развитии и защите окружающей среды, в которой извлечение береговой линии должно рассматриваться как необходимое фундаментальное исследование изменения климата. Очень динамичные береговые линии, такие как побережье Каспийского моря и острова, могут представлять значительный риск для будущего социально-экономического развития прибрежных стран. В связи с быстрым развитием технологий дистанционного зондирования необходимы современные и надежные методы для обнаружения и обновления базы геоданных береговой линии в этих областях с целью изучения темпов физических и экологических негативных последствий.

Соответственно, основной целью настоящего исследования является мониторинг колебаний береговой линии Каспийского моря в течение возможного максимального периода с 1980 по 2021 год. Для этой цели изображения спутников Landsat TM, ETM+ и OLI, а также Sentinel 2 (A и B) были последовательно обработаны для создания пакета тематических моделей в пространственно-временном контексте. Все наборы данных были получены на территории от порта Хазарских островов (к югу от города Баку) до полуострова Нефтчала и предварительно обработаны с использованием программного обеспечения ERDAS Imagine со ссылкой на точные данные спутников DEM и TOPEX / Jason.

Введя процедуры анализа нечетких объектов на основе изображений (F-OBIA), во-первых, была применена классификация динамических пороговых значений (DTC) путем разработки нескольких спектральных индексов. Затем, чтобы распознать точные изменения землепользования (LU) внутри исследуемой области, была рассмотрена основанная на правилах классификация ближайшего соседа (NNC), сопровождаемая усовершенствованной техникой контролируемой классификации в настройках Trimble eCognition 10.1. Для повышения точности обработки все изображения были сегментированы для получения объектов водных поверхностей и береговых линий путем применения F-OBIA внутри программного обеспечения eCognition.

Выявленные модели демонстрируют несколько долгосрочных значимых убедительных колебаний и значительные периодические изменения в западной части побережья Каспийского моря, даже появление новых или расширение

существующих островов и изменения в расположении нефтяных вышек, которые в основном наблюдались в последние годы. Внедрение таких значительных изменений означает, что в настоящее время большинство прибрежных природных компонентов Азербайджана и нефтедобывающая промышленность, несомненно, находятся в критической опасности.

## **Некоторые особенности колебания уровня моря в Северном Каспии в 21 веке**

*Е.А. Скольская, В.Н. Уваров*

Казахстанское агентство прикладной экологии, Алматы, Казахстан

*e-mail: scol@kape.kz, v.uvarov@kape.kz*

Уникальной особенностью Каспийского моря являются трудно прогнозируемые многолетние изменения его уровня. Быстрые и значительные колебания уровня Каспия – это нормальное проявление неустойчивого состояния замкнутого бассейна с переменными условиями на его внешних границах.

Проблемы колебаний уровня Каспийского моря и прогноза уровня на будущее привлекают научный и практический интерес в прикаспийских странах с начала 30-х годов XX-го столетия и отражены в многочисленных публикациях. Особо повышенное внимание к колебаниям уровня в настоящее время связано с развивающейся разработкой нефтяных и газовых месторождений в мелководном Северном Каспии и на прибрежных территориях.

С 2006 г. ход уровня моря характеризуется неизменно отрицательными годовыми приращениями, а темпы снижения уровня моря заметно возросли [1, 2]. Максимальные годовые величины падения уровня моря в этот период достигали 19-25 см в год (максимально: 25 см в 2011 г.). Интенсивность фиксируемого падения уровня показывают также следующие цифры: средний уровень за первые 10 лет XXI-го века (2000-2010 гг.) составил -27,10 м, а в следующее десятилетие (2011-2020 гг.) был -27,88 м (на 78 см ниже). В 2020 г. отмечалось замедление падения уровня моря по сравнению с 2019 г., когда он понизился за год почти на 20 см.

Хотя ход среднегодового уровня моря на постах в Северном Каспии может отличаться от хода среднего уровня всего Каспия, однако переход значения -28,00 м и на гидрометеорологической станции (ГМС) Пешной и фонового уровня произошел в 2018 году. Максимальные годовые величины падения уровня моря на ГМС Пешной отмечались в 2018-2019 гг. и составляли 22 и 29 см/год соответственно.

Каждый район моря (Северный, Средний и Южный Каспий) имеет свои особенности гидрометеорологического режима и внутригодового хода уровня. В северной части, куда поступает большая часть речного стока, изменения сезонного хода уровня выражены более ярко.

Более значительные величины ежемесячных изменений уровня моря отмечаются на ГМС Пешной, находящемся под более сильным влиянием речного стока, чем величины месячных изменений фонового (среднего) уровня моря. На ГМС Пешной разница между среднемесячными уровнями достигала величин 35-49 см (рис. 1).

В 2010 г. зарегистрирован аномальный сезонный спад уровня Каспийского моря, величина которого в 1,5 раза превышала среднее значение за последние 50 лет. С июня по октябрь 2010 г. в западной части Северного Каспия (о. Тюлений) сезонный

спад уровня моря составил 32 см (данные Росгидромета) [5]. Анализ данных гидрологических постов РГП «Казгидромет» на Северном Каспии также показал, что в 2010 г. было зафиксировано наибольшее сезонное падение уровня моря в районе острова Кулалы. В районе Пешного сезонное снижение было также значительным, но оно не было наибольшим. Величина падения уровня моря с июня по октябрь 2010 года на ГМС Пешной составила 34 см. Максимальное сезонное падение уровня (июнь-октябрь) на ГМС Пешной отмечено в 2017 году и составило 59 см [3, 4, 5].

В целом по морю максимальные сезонные снижения уровня в период 2000-2020 гг. зафиксированы в 2010 году – 32 см и в 2020 году – 34 см.



Рис. 1. Величины месячных приростов и снижений уровня моря (фоновый, ГМС Пешной)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря. № 9, март 2015 г.
2. Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря. 2016-2021 гг.
3. Справка РГП Казгидромет, декабрь 2014
4. Справка РГП Казгидромет, апрель 2021
5. <http://www.caspc.com>

## Долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря в связи с глобальным потеплением

*В.О. Татарников, М.А. Очеретный*

Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

*e-mail: tatarnikov@caspianmonitoring.ru*

Планы по развитию прикаспийского региона России должны опираться на долгосрочные прогнозы. Создание инфраструктуры, обеспечивающей нормальное функционирование топливно-энергетического комплекса, транспортной сети должно также вестись с учетом гидрологических особенностей моря. В силу отсутствия связи с Мировым океаном ключевой проблемой Каспийского моря для долгосрочного планирования является долгосрочное прогнозирование хода уровня моря.

Материалами для исследования послужили результаты расчетов будущих изменений климата на территории России с помощью ансамбля глобальных климатических моделей, используемых в 5-й фазе международного проекта сравнения объединенных моделей (CMIP5) [7]. Данные по атмосферным осадкам на площади водосборного бассейна Волги были взяты из базы АИСОРИ и сайта «Погода и Климат». А также использованы архивные данные ФГБУ «КаспМНИЦ». Расчет прогнозируемого уровня Каспийского моря осуществлялся на основе воднобалансового подхода. Элементами водного баланса в наших расчетах были приняты речной сток, атмосферные осадки, испарение и сток в залив Кара-Богаз-Гол (КБГ).

Учитывая существенную связь колебания уровня моря с речным стоком [3] и в первую очередь Волги, можно предположить, что изменения в количестве выпадающих осадков на водосборной площади Волги будут определять динамику уровня моря, поскольку существует достаточно устойчивая связь между количеством выпадающих осадков на водосборной площади Волги и ее стоком. При корреляционном анализе временных рядов этих показателей с 1966 года по 2019 год значение коэффициента корреляции было равно 0,40, что говорит о достоверности связи при уровне значимости  $\alpha=0,01$ . Если же учитывать инерцию почвы водосборного бассейна, составляющую 2-3 года [5], и сдвинуть ряд стока на один год, то коэффициент корреляции возрастает до 0,60. Таким образом, можно говорить о линейной зависимости стока от общего количества осадков на площади водосбора вида:

$$R = 0,3146 * P - 4,1755$$

В среднем за 1961-2018 гг. сток Волги составил 88% от общего стока впадающих в море рек.

Количество выпадающих атмосферных осадков над морем рассчитывалось по методике, используемой в Гидрометцентре России [1]. Для расчета используются осредненные значения по количеству выпавших осадков на 12 станциях, а также разница между температурой воздуха и воды на этих станциях. Так как в прикаспийских регионах России количество осадков по результатам моделирования в рамках CMIP5 остается практически неизменным, мы также приняли количество выпадающих осадков над морем неизменной величиной.

Испарение рассчитывалось по методике К.И. Смирновой [6], для которой необходима средняя температура воздуха за предшествующих 4 месяца на станциях Махачкала, Шевченко, Баку и Краснодарск. Судя по данным моделирования, величина испарения в прикаспийском районе России на протяжении XXI-го века изменяется в диапазоне от 0 до 5% [2]. Исходя из этого, величину изменения испарения в целом для Каспийского моря в зависимости от климатического сценария и времени мы приняли такой же.

Расчет стока воды в залив Кара-Богаз-Гол осуществлялся с использованием данных моделирования ГГИ [1]. По ним отметка дна пролива составляет -30,6 м БС, при таком уровне моря сток в залив прекращается, а при повышении уровня моря до отметки -26,8 м БС сток в залив плавно возрастает до величины 20 км<sup>3</sup>/год. Для упрощения расчетов мы приняли предположение о линейной форме зависимости стока в КБГ от среднего уровня моря, построенной по двум точкам (см. выше) и имеющую вид:

$$D_{\text{КБГ}} = 5,2632 * L + 161,05$$

Для получения прогнозных значений уровня моря мы использовали представление об уровне тяготения. Данный уровень характеризуется уравниванием сил, способствующих снижению и повышению уровня моря. Таким образом, знак баланса будет указывать, в каком направлении вероятнее всего будут происходить изменения уровня Каспийского моря. Наиболее удобным для наших расчетов было взять зависимость испарения от площади моря. Уменьшение величины испарения будет обеспечиваться уменьшением площади моря. Площадь моря, в свою очередь, связана линейной зависимостью с его уровнем [4]. Линейная зависимость уровня моря от площади в тыс. км<sup>2</sup>, полученная по данным за 1961-2018 гг., имеет вид:

$$L = 0,0716 * S - 55,049$$

Чтобы определить изменения площади моря, от количества испарившейся влаги с поверхности моря отнимали количество поступившей в море влаги. Положительная разница указывала на тенденцию к уменьшению площади моря. Количество тыс. км<sup>2</sup>, на которое должна была уменьшиться площадь моря, чтобы скомпенсировать испарение, высчитывалась как произведение средней величины испарения на 1 тыс. км<sup>2</sup> на разницу. Полученная площадь, на которую должна была уменьшиться (увеличиться) площадь моря отнимали (прибавляли) к исходному значению площади. В качестве исходного значения площади была принята площадь моря, наблюдаемая в 2018 году.

Как видно из полученных результатов (табл. 1), в течение нашего столетия уровень Каспийского моря будет показывать отрицательную динамику. В зависимости от

климатического сценария уровень моря может снизиться до -30 м БС и ниже. Интересно отметить, что стабилизация уровня моря, наблюдающаяся в конце века, скорее всего, будет обусловлена снижением стока в залив Кара-Богаз-Гол.

Таблица 1. Элементы водного баланса Каспийского моря в XXI веке

Сценарий	Период, гг.	Сток Волги, км <sup>3</sup>	Атмосферные осадки, мм	Испарение, мм	Сток в КБГ, км <sup>3</sup>	Уровень моря, м
-	1981-2000	260	227	995	13	-27,4
RCP 2.6	2011-2031	258	227	995	14	-29,1
	2041-2060	258	227	1005	14	-29,3
	2080-2099	258	227	1015	14	-29,6
RCP 4.5	2011-2031	258	227	995	8	-29,7
	2041-2060	260	227	1015	7	-30,0
	2080-2099	261	227	1035	5	-30,3
RCP 8.5	2011-2031	258	227	995	5	-30,1
	2041-2060	272	227	1025	3	-29,8
	2080-2099	279	227	1045	1	-29,7

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд, 2016. 378 с.
2. Изменения климата России в 21-м веке: сайт. - 2021. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru> (дата обращения: 10.08.2021)
3. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 248 с.
4. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 261 с.
5. Малинин В.Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. Спб.: Изд. РГГМИ, 1994. 160 с.
6. Смирнова К.И. Изменчивость элементов водного баланса Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР. 1968. Вып. 34. С. 26-33.
7. Сценарные прогнозы на основе глобальных моделей: сайт. 2021. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru> (дата обращения: 8.04.2021).

## **Изменения климата и колебания уровня Каспийского моря: ретроспективный анализ для последних 10000 лет**

<sup>1</sup> Т.А. Янина, <sup>2</sup> Б.Ф. Романюк, <sup>3</sup> В.М. Сорокин

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия

*e-mail:* paleo@inbox.ru

<sup>2</sup> Моринжгеология, Рига, Латвия

*e-mail:* officeRiga@morinzhgeologia.lv

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия

*e-mail:* sorokin@geol.msu.ru

Колебания уровня Каспия на разных этапах его геологической истории зависели от многих (как геологических, так и климатических) факторов. В последние 10 тысяч лет определяющая роль принадлежала разномасштабным и разнонаправленным изменениям климата. Задача данной работы – на основе анализа строения осадочной толщи Северного Каспия реконструировать колебания уровня под влиянием изменений климата. Материалом послужили результаты обработки сейсмоакустических профилей, литологического, фаунистического и геохронологического (радиоуглеродный анализ) изучения керна скважин и донных колонок. Бурение выполнено ООО «Моринжгеология», литологический и фаунистический анализы проведены в Московском государственном университете, а радиоуглеродные датировки получены в лабораториях государственного университета и педагогического университета Санкт-Петербурга и в Институте географии РАН. Калиброванный возраст рассчитан по программе CalPal Кельнского университета [www.calpal.de]. Материалы о климатических событиях голоцена взяты из литературных источников.

В строении осадочной толщи Северного Каспия нашли отражение палеогеографические события голоцена: мангышлакская регрессия и новокаспийская трансгрессия, развивавшаяся стадийно. Мангышлакская регрессия датируется временным интервалом ~11500–8000 лет. В климатическом отношении эта эпоха раннего голоцена (бореал, согласно схеме Блитта–Сернандера) характеризовалась сравнительно высокой теплообеспеченностью и сухостью [2, 5]. Такое соотношение климатических показателей привело к повышению отрицательной составляющей водного баланса Каспия и его регрессии. Результаты палинологического анализа свидетельствуют о ксерофитизации растительного покрова в Каспийском регионе в эпоху мангышлакской регрессии [1]. Среднегодовое количество осадков меньше современных значений реконструировано для бассейна Волги в период до 9500 л.н. [4].

В развитии новокаспийской трансгрессии установлены три трансгрессивных стадии. Первая датируется интервалом 8200–5600 л.н. В климатическом отношении (атлантический оптимум голоцена) ее большая часть относится к эпохе теплого и влажного климата [4, 5]. Вывод о существовании продолжительного этапа потепления и увлажнения климата в Нижнем Поволжье в интервале ~8500–7600 и с 6100 до 5000 л.н. сделан Н.С. Болиховской [1]. Сменившая ее регрессивная стадия имеет возрастные рамки 5600–3700 л.н. Уровень Каспия снизился на 8 м, придельтовая равнина вышла из-под каспийских вод и подверглась эрозионному расчленению и воздействию субаэральных процессов. В климатическом отношении это период суббореального термического максимума голоцена (4700–3600 л.н.), установленный для Восточно-Европейской части России [5], и период иссушения климата в Поволжье [1].

Вторая трансгрессивная стадия охватывала временной интервал 3600–3400 л.н. Это была эпоха поздне-суббореального похолодания на Восточно-Европейской равнине [5]. Фаза увлажнения климата, начавшаяся около 3500 л.н., реконструирована для Нижней Волги [1]. Вторая регрессивная стадия датируется 3080–2300 л.н. Уровень бассейна упал на 6–8 м, в придельтовой равнине образовались врезы, заполненные пресной водой. Очевидно, это был отклик Каспия на этап потепления и сокращения количества осадков в бассейне Волги [4]. Последовавшее вслед за регрессивным событием поднятие уровня Каспия произошло около 2300 лет назад. Этому периоду позднего голоцена отвечают две ярко выраженные климатические фазы: «средневековый климатический оптимум» (950–1250 гг.), с количеством осадков на Восточно-Европейской равнине на 25–50 мм ниже современного [3], и «малый ледниковый период» (1400–1700 гг.) [2]. Трансгрессивные осадки в Северном Каспии имеют даты 1700–1100 и 900–360 л.н. Хиатус между ними дает основание к предположению о снижении уровня Каспия в теплый сухой период средневековья, а вторая группа дат отвечает трансгрессивному подъему Каспия в прохладный и влажный климатический эпизод (малый ледниковый период).

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 20-39-70020).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болиховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 13–27.
2. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 2. С. 5–20.
3. Климанов В.А., Хотинский Н.А., Благовещенская Н.В. Колебания климата за исторический период в центре Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 89–96.
4. Новенко Е.Ю. Изменения растительности и климата центральной и восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. Автореф. дис. ... докт. геогр. н., 2016. 44 с.
5. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.

## **Моделирование ветрового волнения у порта Актау**

<sup>1,2</sup> А.Г. Елтай, <sup>2</sup> Н.И. Ивкина

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

<sup>2</sup> РГП «Казгидромет», Нур-Султан, Казахстан

*e-mail:* eltai\_a@meteo.kz, yeltay\_aizat@mail.ru

Ветровое волнение имеет большое значение для судоходства, строительства и функционирования сооружений в прибрежной зоне, проведения морских работ. Численные модели, в данном случае спектрально-волновая модель SWAN, являются важными инструментами для моделирования волновых условий как в открытой акватории моря, так и в прибрежных районах, предоставляя информацию о параметрах волнения (высота, период, длина).

Район исследования охватывает акваторию портов Актау, функционирование которого важно для экономической стабильности региона. Международный морской торговый порт Актау, основанный в 1963 году, представляет собой современный многоцелевой терминал, обеспечивающий транспортировку грузов с востока на запад, с севера на юг и обратно 12 месяцев в году и 24 часа в сутки. В порту 11 причалов, из них 6 нефтеналивных, 3 сухогрузных. Из порта Актау существуют судоходные маршруты: Махачкала, Баку, Астара, Анзали, Амрахабат [3].

Наблюдения за волнением на побережье у порта Актау ведутся визуально, преобладают волнение высотой 1 м, наибольшие высоты волн могут достигать 4,5 м. В Актау наблюдалось около 70 случаев максимальной волны, превышающей 2 м, из них 59 процентов были направлены на северо-запад [1].

Проведено моделирование параметров волнения в 2017-2018 годах для района у порта Актау, на восточном побережье Каспийского моря с применением спектрально-волновой модели SWAN (Simulation Waves Nearshore) [2, 4].

Входные параметры, использованные для моделирования: триангуляционная и регулярная сетка, батиметрия, ветер, предоставлены Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды по сетке 0,25\*0,25 градусов.

Результаты моделирования показали, что акватория Каспийского моря у побережья порта Актау находится под влиянием волн различных высот. Например, за 2017-2018 годы в 46,1 процентах случаев высота волны достигала 0,25-0,75 м; в 27,2 процентах от 0,75-1,25 м; в 13,3 процентах от 1,25-2,0 м; в 3,4 процентах 2,0-3,5 м; и редко при 0,1 процентах может достигать 3,5 метров.

Направление волнения наблюдаемых и смоделированных значений имеют одинаковый ход, в основном преобладают северо-восточные, северо западные.

Так как наблюдения на прибрежной акватории ведутся только визуально, использование моделей для открытой акватории моря дает возможность анализа волнения на более качественном и информативном уровне.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ежегодные данные о режиме Каспийского моря, Казахстанское побережье. 2018 г. 2020 г. 60 стр.
2. Ивкина Н.И., Галаева А.В. Прогнозирование ветрового волнения на Каспийском море с помощью модели SWAN/Гидрометеорология и экология, 2017 №2. С. 36-45.
3. Порт Актау. <http://www.portaktau.kz/ru>
4. SWAN Technical Documentation, SWAN Cycle III version 41.31. Netherlands: University of Technology, Delft, 2007. 98 p.

## **Секция 3**

# **Влияние изменений климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря**

## **Международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря»**

27-28 октября 2021 г.

### **СЕКЦИЯ 3**

#### **Вступительное слово**

**Н.П. Огарь**

В последние годы наблюдается устойчивое потепление климата. Особенно наглядно это фиксируется в аридных и семиаридных регионах, на границе суша – море.

Почти 20 лет назад Казахстан фактически потерял Аральское море, которое в настоящее время представляет собой небольшое озеро среди пустыни. Такая же участь ожидает и Каспийское море, так как, несмотря на все усилия, оно мелеет достаточно быстрыми темпами. Впадающие в Каспийское море реки практически безводны. Единственной водной артерией является река Волга. Река Жайык, которая не так давно называлась Урал, в настоящее время на территории Казахстана безводна и не имеет стока в Каспийское море.

В 2018 г. в Казахстане (г. Алматы) была проведена Центрально-Азиатская конференция по адаптации к изменению климата, которая вызвала активные дискуссии по укреплению взаимодействия разных стран, направленного на устойчивое развитие, а также инновационные подходы к смягчению последствий изменения климата.

За прошедший период в странах Прикаспийского региона на конференциях в основном рассматривались разные проблемы Каспийского моря, которое стало мелеть достаточно быстрыми темпами. Страны Прикаспийского региона стали консолидироваться и принимать необходимые меры по спасению Каспия.

В октябре 2021 г., в рамках Тегеранской конвенции с участием КАСПКОМ, ЮНЕП, МГЭИК и др., страны Прикаспия инициировали международную конференцию «Научная конференция по изменению климата в регионе Каспийского моря».

Во время работы конференции в секции 3 рассматривался вопрос *«Влияние изменений климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря»*. Эта тема чрезвычайно актуальна, так как темпы усыхания Каспия уже очевидны и, возможно, необратимы, учитывая климатические прогнозы за последние 10 лет.

На конференции в секции 3 приняли участие специалисты из разных стран: Ирана – 6 докладов, Великобритании – 2 доклада, Казахстан – 2 доклада. В целом было

представлено 23 доклада с соавторами, в которых приняли участие 76 участников, в основном это ученые, имеющие степени докторов и кандидатов биологических наук, являющиеся сотрудниками НИИ.

Это способствовало укреплению международного сотрудничества между странами Прикаспийского региона для решения неотложных задач, связанных с потеплением климата и, соответственно, с катастрофическим понижением уровня Каспийского моря.

Докладчиками были предоставлены доказательные данные, в частности карты местообитаний морского дна, при поддержке Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet), которые могут быть использованы для устранения значительных пробелов в исследованиях и знаниях о текущих и будущих последствиях изменения климата для экосистемы и биоразнообразия Каспийского моря.

По словам ученых и экологов, крупнейший замкнутый водоем в мире находится на грани катастрофы. Если ситуация не изменится, то древний Каспий уже перестанет быть большим. Специалисты подсчитали: ежегодно уровень моря снижается на 6-7 сантиметров, такими темпами к концу столетия Каспий сократится примерно на треть.

#### ***Прогноз уровня казахстанской части Каспийского моря на 02-07 сентября 2021 г.***

Северный Каспий: средний уровня моря ожидается около отметки минус 28,20 м, с колебаниями от минус 27,79 м до 28,55 м.

Средний Каспий: средний уровень моря ожидается около отметки минус 28,38 м, с колебаниями от минус 28,14 м до 28,82 м. [<https://khabar.kz/ru/news/obshchestvo/item/134061-kaspij-na-grani-ekologicheskoy-katastrofy>].

В настоящее время из-за потепления климата уже прослеживаются риски утраты некоторых редких видов животных и растений. В Казахстанской части индикатором является каспийский тюлень, численность которого катастрофически уменьшается. Необходимо вмешательство человека в сохранение этого редкого вида путем изучения адаптивных реакций вида на быстро меняющиеся условия окружающей среды.

В долгосрочной перспективе необходимо изучение мест естественного обитания тюленей, а также создание искусственных островов на морских субстратах для их размножения и охраняемых участков на суше. В морской части акватории угрозу из-за потепления климата и обмеления моря будут испытывать такие аборигенные виды, как русский осетр, каспийская килька и другие нигде более не встречающиеся.

Население Прикаспийских стран многие годы и века в значительной мере жило за счет моря, как в социальном, так и в экономическом плане. Море обеспечивало им необходимые ресурсы, особенно важными для пропитания и торговли морепродуктами.

В XXI веке возникла необходимость управления биоресурсами Каспия, так как некоторые ценные морские виды стали быстрыми темпами уменьшаться. Перед

населением встали вопросы морского планирования для решения социальных и экономических последствий изменения климата, совокупного воздействия человека, усилий по сохранению и восстановлению морской среды на границе между сушей и морем.

Возникла необходимость поддержки Цели устойчивого развития ЦУР-14: сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития, включая сокращение загрязнения морской среды, защиту морских и прибрежных экосистем, прекращение незаконного рыболовства, а также обмена опытом и извлеченными уроками по их реализации в Каспийском регионе.

В последние годы наука пошла навстречу Каспийскому морю, усилились научные работы, особенно в части точности карт местообитаний морского дна и т.п. При поддержке Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet), а также карт разного типа: экосистем, прибрежно-водной и донной растительности, биоразнообразия в целом, которые необходимы для принятия решений по проблеме изменения климата и особенно темпов обмеления Каспийского моря.

Темпы потепления климата особенно очевидны в переходной прибрежно-водной части море – суша. Особенно большие изменения характерны для дельт рек Урала (р. Жайык) и Волги, где наблюдается сильная регрессия моря. Это определяется в основном по индикаторным видам флоры. Так, например, в последние годы значительно уменьшились площади водно-болотных угодий и, соответственно, мест произрастания редких, исчезающих видов растений (лотос орехоносный, кувшинка белая и др.), занесенных в Красную книгу растений Казахстана.

Впервые в регионе Каспийского моря объединились все страны, чтобы избежать угрозы потери этого уникального водоема. На прошедшей 27-28 октября 2021 г. Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря» рекомендовано оказывать помощь прибрежным государствам в устранении и смягчении последствий изменения климата и обеспечении устойчивого развития прибрежных зон.

**Оценка состояния экосистемы Каспийского моря вследствие воздействия климатических изменений последних лет по результатам исследований в прибрежных водах Азербайджана**

*А.М. Ахундов, Э.В. Мамедов, Э.Э. Джафарова*

Центр Исследований Биологических Ресурсов Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

*e-mail: azfiri@azeurotel.com*

Изменение климата оказывает значительное и разнообразное влияние на состояние водных ресурсов, а также прибрежных и морских экосистем в бассейне Каспийского моря. Появляются все новые свидетельства того, что климатические и экологические изменения за прошедшие десятилетия уже повлияли на глобальный гидрологический цикл, например, за счет изменения сезонного стока рек в бассейне Каспийского моря. Следует отметить, что за период 2005-2020 гг. уровень Каспийского моря снизился на 133 см.

По данным КАСПКОМ [1], средний уровень Каспийского моря в 2020 г. по сравнению со средним годовым уровнем 2019 г. (-28,20 м БС) снизился примерно за год на 3 см и составил -28,23 м БС. Таким образом, в связи с низкой водностью р. Волги прогнозируется, что в 2021 г. средний годовой уровень Каспийского моря будет на 12-17 см ниже, чем в 2020 г.

Антропогенная деятельность, включая хозяйственную, приводит к усилению последствий изменения климата. Последнее представляет дополнительную опасность для режима гидрологического стока, играющего важную роль в поддержании деятельности водных экосистем. Согласно прогнозам, к концу столетия в 2071–2100 гг. в сравнении с 1971–2000 гг. среднегодовая температура земной поверхности в Европе повысится от 1.0°C до 4.5°C [3]. Более того, оценки показывают, что в условиях глобального потепления на 1.5-2.0°C по сравнению с доиндустриальным уровнем обеспеченность водными ресурсами продолжит снижаться, в особенности в Южной Европе [2].

За последние годы Азербайджан сталкивается с острым водным дефицитом, при котором среднегодовой индекс использования водных ресурсов (ИИВР) превышает 40 %. Согласно оценкам, в 2017-2019 гг. ИИВР составил 72,3%. Вследствие новых климатических условий лишь четверть общего количества осадков участвует в формировании внутреннего стока в стране. За период 2000-2020 гг. среднемноголетний сток р. Куры уменьшился более чем на 50% (рис.1). Таким образом, в последние годы наблюдаются негативные тенденции в формировании абиотических и биотических факторов природных комплексов в бассейне реки Куры.

Следует особенно отметить, что впервые в Азербайджане в 2020-2021 гг. наблюдалось проникновение морской воды в Куру до 60 км до города Сальян вследствие резкого снижения уровня воды в реке.



Рис. 1. Среднегодовой сток р. Куры за период 2000-2020 гг.

В летний период 2021 г. при проведении нами морских комплексных экологических исследований на Азербайджанском шельфе Каспия из-за аномально высокой температуры воздуха наблюдалось самое значительное за последние десять лет повышение температуры поверхностного слоя воды до 28-29°C в Среднем Каспии и до 30-31°C в Южном Каспии. По сравнению с 2011 г. повышение температуры поверхностного слоя моря составило на порядок 4.0-4.5°C (рис. 2). Более того, на фоне аномального повышения температуры воды отмечалось понижение содержания кислорода в воде с 7-8 до 6 мг/л по сравнению с предыдущими десятилетними наблюдениями. В условиях повышенной температуры поверхностного слоя моря в зоне апвеллинга в Южном Каспии на траверзах от Астары до Кур-Косы в диапазоне глубин 50-100 м наблюдалось аномальное цветение колоний сине-зеленых водорослей, оказывающих токсическое воздействие на планктонное сообщество и вызывающих уменьшение содержания растворенного кислорода в морской воде.

Впервые во время летней морской съемки 2021 года в Южном и Среднем Каспии был обнаружен новый вид гребневика *Beroe ovata*, который является естественным врагом *Mnemiopsis leidyi*. По-видимому, в результате изменения климата за последние годы гидрологические условия, вызвавшие повышение температуры морской воды, оказались благоприятными для развития популяции *Beroe ovata* и позволили новому инвазивному виду гребневиков успешно акклиматизироваться и размножиться в акваториях как Южного, так и Среднего Каспия на изобатах от 10 до 100 м. При этом наибольшая численность *Beroe ovata* наблюдалась на глубинах от 25 до 75 м, соотношение численности и биомассы популяций *Beroe ovata* и *Mnemiopsis leidyi* составило 21% и 79% соответственно.

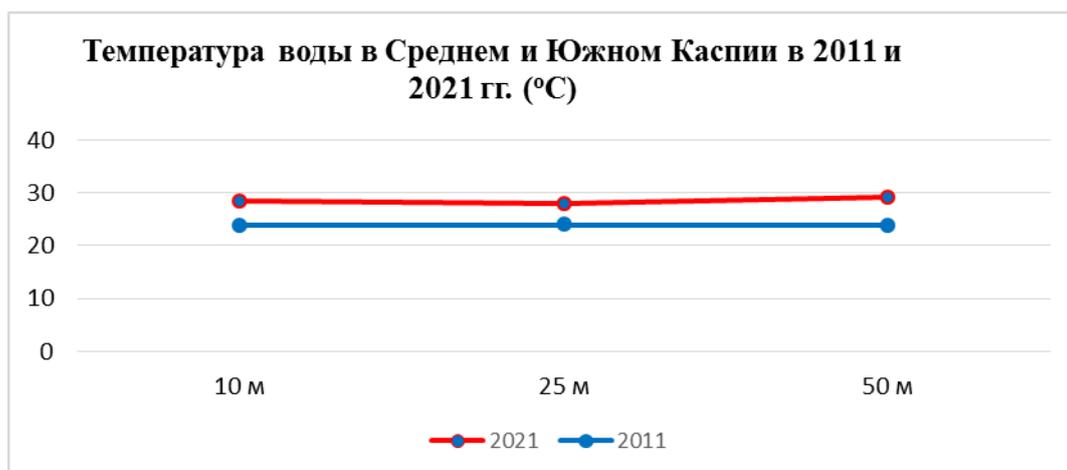


Рис. 2. Температура поверхностного слоя воды в Среднем и Южном Каспии в летний период 2011 и 2021 гг. (°C)

В создавшихся неблагоприятных климатических и гидрологических условиях Каспийского моря отмечали значительное уменьшение траловых исследовательских уловов рыб, а также перераспределение популяций рыб из Южного Каспия в акваторию Среднего Каспия. Воздействие климатических изменений отразилось также на изменении видового состава, уменьшении численности и биомассы, а также на распределении зоопланктона в Южном и Среднем Каспии.

Таким образом, в результате климатических изменений последних лет и аномального потепления в Каспийском регионе существенное уменьшение речного стока и повышение температуры морской воды обусловило значительную деградацию экосистемы моря. При прогнозируемом продолжении сценария этих климатических изменений в ближайшие годы возможна потеря эндемичных видов и сокращение биоразнообразия Каспийского моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Координационный Комитет по Гидрометеорологии Каспийского моря (КАСПКОМ). Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря № 21. 14 мая 2021 г.
2. Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Adamovic M., Guenther S., Mentaschi L., Feyen L., de Roo A. Climate change and Europe's water resources. EUR 29951 EN. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2020. ISBN 978-92-76-10398-1. doi:10.2760/15553, JRC118586.
3. EEA 2019. Global and European temperature. European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-9/assessment>).

Перевод с английского

**Сетевое управление Рамсарскими водно-болотными угодьями на юге Каспийского моря, как важный аспект политики, связанной с изменением климата**

*Ж. Амини*

Департамент окружающей среды, Тегеран, Иран

*e-mail: amini@ut.ac.ir*

В Цели 2 4-го Стратегического плана Рамсарской конвенции (Конвенция о водно-болотных угодьях) говорится, что к 2024 году сеть Рамсарских участков будет эффективно сохранена и управляться. В докладе Открытой Рабочей группы по Целям устойчивого развития предполагается, что все водно-болотные угодья и сеть Рамсарских угодий будут иметь непосредственное отношение к любым Целям устойчивого развития, которые связаны с адаптацией к изменению климата, биоразнообразием и устойчивым использованием экосистем и т.д. [4]. Ключевые идеи Оценки экосистем на пороге тысячелетия по водно-болотным угодьям и обобщению водных ресурсов сообщают о том, что деградация и утрата водно-болотных угодий происходят быстрее, чем в других экосистемах, что глобальное изменение климата, вероятно, усугубит утрату и деградацию многих водно-болотных угодий, что неблагоприятные последствия глобального изменения климата приведут к сокращению услуг, предоставляемых водно-болотными угодьями, и что прогнозируемая дальнейшая утрата и деградация водно-болотных угодий снизит их способность смягчать последствия [3]. В соответствии с ведущей имплементационной ролью Рамсарской конвенции и КБР в отношении ВБУ и условиями четвертого Совместного плана работы КБР/Рамсарской конвенции Сеть Рамсарских участков, эффективное управление Рамсарскими участками и, в более широком плане, разумное использование других водно-болотных угодий в мире является существенным вкладом в работу не только Конвенции о биологическом разнообразии, но и других многосторонних природоохранных соглашений, таких как Рамочная конвенция ООН об изменении климата.

Каспийское море является крупнейшим замкнутым водоемом на земле, в котором насчитывается около 400 эндемичных видов в его уникальной и изолированной экосистеме. В общей сложности в пяти странах, выходящих к Каспийскому морю, было выделено десять Рамсарских участков. Прибрежные водно-болотные угодья региона можно рассматривать как важную часть экосистемы Каспийского моря, которую необходимо сохранить в первоочередном порядке.

В Иране на южной береговой линии Каспийского моря расположено шесть Рамсарских участков (рис. 1). Деятельность по развитию поставила под угрозу уязвимые места обитания водно-болотных угодий в этом регионе. Кроме того, падение уровня воды в Каспийском море негативно сказалось на прибрежных водно-болотных угодьях, в результате чего образовались мелководные и засушливые районы [1].

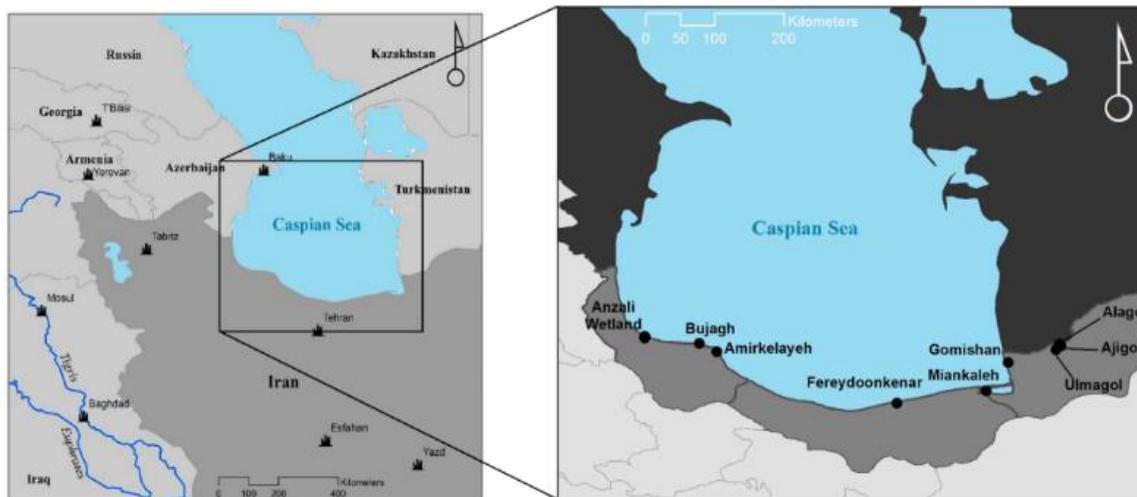


Рис. 1. Карта Рамсарских участков на юге Каспийского моря

Пункт В статьи 38 6-го плана социально-экономического развития предусматривает, что к концу шестого пятилетнего периода не менее 20% критических и находящихся под угрозой исчезновения ВБУ в Иране, особенно тех, которые зарегистрированы в Рамсарской конвенции, должны быть восстановлены в сотрудничестве с соответствующими организациями и местными сообществами. Аналогичным образом и в соответствии с 4-м и 5-м планами социально-экономического развития Департамент окружающей среды (ДОС) был определен в качестве основной ответственной стороны за осуществление управления экосистемами. Впоследствии заместитель Министерства по морским и водно-болотным угодьям начал свою деятельность с целью внедрения экосистемного подхода в управлении водно-болотными угодьями (рис. 2).



Рис. 2. Перекрывающиеся цели экосистемного подхода [5]

В Каспийском море наблюдаются уникальные региональные особенности, такие как наличие эндемичных видов и долговременные колебания уровня воды. Поэтому крайне важно, чтобы прибрежные страны региона Каспийского моря управляли прибрежными водно-болотными угодьями с помощью обмена информацией и объединенных усилий. Например, в результате спутникового наблюдения за

перелетными птицами было замечено, что далматинский пеликан (*Pelecanus crispus*) и Пурпурная цапля (*Ardea purpurea*) перемещаются между Рамсарскими участками в прибрежных странах, таких как водно-болотные угодья Анзали в Иране, Гизил-Агадж в Азербайджане и дельта Волги в Российской Федерации [2]. Этот вывод показывает, что международное и трансграничное сотрудничество эффективно для сохранения перелетных птиц.

Кроме того, в соответствии с Рамочной конвенцией по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранская конвенция) предполагается создание охраняемых районов Каспийского моря (ОРКМ), которые нуждаются в международном сотрудничестве между прибрежными странами. Поскольку Рамсарские участки могут играть ключевую роль для ОРКМ, предлагается создать сеть Рамсарских угодий Каспийского моря.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Amini Z., Malekmohammadi B., Jafari H. R. Role of participatory management in water health quality of the Anzali International Wetland, Iran. // Regional Studies in Marine Science. 2021. 42. 101615.
2. JICA. Mid-term Plan For Conservation of the Anzali Wetland for 2020-2030. Tehran: Nippon Koei Co.,LTD, 2019.
3. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.
4. Ramsar Convention Secretariat. The Fourth Ramsar Strategic Plan 2016–2024. Ramsar Guidelines. Gland, Switzerland, 2016.
5. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. The ecosystem approach. CBD Guidelines. Montreal, 2004.

Перевод с английского

### Самурский лес: является ли он пресноводным убежищем для солоноватых понтокаспийцев?

<sup>1</sup>В.В. Анистратенко, <sup>1,2</sup>О.Ю. Анистратенко, <sup>3</sup>Е.М. Чертопруд,  
<sup>4,5</sup>Д.М. Палатов, <sup>4</sup>Т.Я. Ситникова, <sup>4</sup>М.В. Винарский

<sup>1</sup> Институт зоологии им. Шмальгаузена НАН Украины, Киев, Украина

*e-mail:* anistrat@izan.kiev.ua

<sup>2</sup> Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

*e-mail:* olga.anistrat@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail:* skytuna@yandex.ru

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail:* sit@lin.irk.ru, radix.vinarski@gmail.com

<sup>5</sup> Институт экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

*e-mail:* triops@yandex.ru

Большинство видов брюхоногих моллюсков, эндемичных для Каспийского моря, были описаны на основе морфологии пустых раковин, в то время как сведения о живых экземплярах этих видов крайне скудны (за исключением *Theodoxus pallasii*, который довольно многочислен). Эта ситуация характеризует всю двухвековую историю изучения малакофауны Каспийского моря. Род *Clathrocaspia* Lindholm, 1930 не является исключением, и на сегодняшний день известно лишь несколько находок живых улиток этого рода. Они были сделаны Б.М. Логвиненко в 1956 году у Дербента и вблизи полуострова Мангышлак; животные были собраны на расстоянии 40-45 км от побережья и с глубин 56-64 м. На основе этих образцов было сделано описание анатомии и радулы *Clathrocaspia gmelinii* и *C. gaillardi* [7].

Популяции видов *Clathrocaspia* экологически приурочены к районам устьев рек и устьев (лиманов) крупных рек Азово-Черноморского бассейна, где они были зарегистрированы с момента обнаружения [3] до настоящего времени [1, 2, 4, 5]. Недавно моллюски этого рода были обнаружены в реке Дунай примерно в 500 км вверх по течению от ее дельты [9], что говорит о том, что они обитают не только в солоноватой воде, но и способны выдерживать пресноводные условия. Напротив, все известные записи живых особей и свежих раковин *Clathrocaspia* в Каспийском море были сделаны только в открытом море с соленостью воды более 12 ‰ [8].

В этом сообщении мы описываем открытие уникальной серии процветающих популяций *Clathrocaspia* в пресноводных ручьях Самурского лесного заповедника на западном побережье Каспийского моря в Дагестане (Россия). Морфология и анатомия раковин, а также особенности радулы и протоконха улиток из Дагестана позволяют уверенно отнести их к роду *Clathrocaspia*, а также констатировать их

близкое сходство с известными видами из Северного Причерноморья и Каспийского моря. Однако некоторые конхологические особенности и экологические характеристики обнаруженных популяций позволяют предположить, что моллюски представляют собой отдельный, до сих пор не описанный вид.

Водные потоки Самурского леса, протекающие через реликтовый лиановый лес гирканского типа, представляют большой биогеографический интерес как предполагаемое местное убежище для ряда эндемичных и реликтовых беспозвоночных. В дополнение к *Clathrocaspia*, понтокаспийские амфиподы *Echinogammarus* и мизиды *Limnomysis*, а также древние пресноводные реликтовые изоподы *Proasellus* и амфиподы *Niphargus*, *Diasynurella* населяют небольшие реки, ручьи и источники этого обширного леса [Палатов Д.М., Марин И.Н., неопубликованные данные]. По-видимому, большинство пресноводных видов этих родов не попадают в Каспийское море и обитают здесь только в пресноводных средах.

Мы предполагаем, что эта область может служить убежищем для популяций нескольких групп реликтовых беспозвоночных, которые пережили здесь неблагоприятные условия, например, изменения солености или уровня Каспийского моря. Эта гипотеза, однако, требует специальной проверки с использованием молекулярно-генетических данных. В любом случае, феномен Самурского леса заслуживает дальнейшего изучения, поскольку он поможет понять экологические и биологические механизмы выживания понтокаспийской фауны под воздействием глобальных изменений.

Основная финансовая поддержка этой работы была получена от Российского научного фонда (проект № 21-14-04401. Это исследование было частично поддержано Немецким исследовательским фондом (DFG, грант № WI1902/16).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексенко Т.Л., Старобогатов Ю.И. Виды *Caspia* и *Turricaspia* (Брюхоногие моллюски, Пектинибранхии, Пиргулиды) Азово-Черноморского бассейна // Вестник зоологии. 1987. 21. С. 32-38.
2. Анистратенко В.В. О таксономическом статусе находящегося под угрозой исчезновения понто-каспийского рода брюхоногих моллюсков *Caspia* (Gastropoda: Hydrobiidae: Caspiinae) // Журнал естественной истории. 2013. 47 (1-2). С. 51-64.
3. Макаров А.К. Распространение некоторых ракообразных (Mysidacea, Кумацея) и лиманных моллюсков в устьях и открытых лиманах Северного Причерноморья // Зоологический журнал. 1938. 17. С. 1055-1062.
4. Марковский Ю.М. Фауна беспозвоночных низовьев рек Украины, условия жизни и способы использования. Часть 1. Бассейн дельты Днестра и Днестровской лагуны. Киев: АН СССР, 1953. С. 1-196.
5. Марковский Ю.М. Фауна беспозвоночных низовьев рек Украины, условия жизни и способы использования. Часть 2. Днепровско-Бугская лагуна. Киев: АН СССР, 1954. С. 1-207.

6. Ситникова Т.Я., Старобогатов Я.И. Половая система и радула каспийских пиргулид (подсемейства *Turricaspiinae* и *Caspiinae* – Брюхоногие, Пектинибранхии) // Зоологический журнал. 1998. 77 (12). С. 1357-1367.
7. Anistratenko V.V., Neubauer T.A., Anistratenko O.Yu., Kijashko P.V., Wesselingh F.P. A revision of the Pontocaspian gastropods of the subfamily *Caspiinae* (Caenogastropoda: Hydrobiidae) // *Zootaxa*. 2021. 4933 (2). P. 151–197.
8. Boeters H.D., Glöer P., Georgiev D., Dedov I. A new species of *Caspia* Clessin et W. Dybowski, 1887 (Gastropoda: Truncatelloidea: Hydrobiidae) in the Danube of Bulgaria // *Folia Malacologica*. 2015. 23. P. 177–186.

## **О влиянии изменения климата и регрессии Каспийского моря на распределение и численность каспийского тюленя (*Pusa caspica*)**

*М.Т. Баймуханов*

Учреждение «Институт гидробиологии и экологии», пос. Иргели, Казахстан

*e-mail: institute\_he@ihe.kz*

Глобальное потепление климата приводит к сокращению ледового и снежного покрова, что особенно ярко наблюдается в Северном полушарии. Это негативно отражается на состоянии биоразнообразия и в конечном итоге, на благосостоянии людей [9].

Каспийский тюлень находится на вершине трофической пирамиды Каспийского моря, является индикатором его состояния. Тюлень относится к пагофильной группе животных, и условия его размножения, спаривания и линьки во многом определяются состоянием ледового покрова в северной части Каспийского моря. Ввиду этого возможные нарушения ледового режима Северного Каспия из-за глобального потепления климата потенциально несут угрозу существованию вида.

Потепление климата (за отрезок времени с 1941 по 1977 гг. температура воздуха над северной частью моря повысилась на 0,6-0,8°C, а зимняя на 2°C) отражается на ледовитости Северного Каспия, которая за период 1941-1982 гг. уменьшилась на 11% [8], и эта тенденция сохраняется. Так, в анализе, проведенном за период с 1941 по 2012 годы [5], показано, что на территории Казахстана наблюдалось повсеместное повышение приземной температуры воздуха, как в целом за год, так и во все сезоны.

При рассмотрении двух областей Республики Казахстан, примыкающих к Каспийскому морю, среднегодовые температуры воздуха в Мангистауской области повышались на 0,23...0,25°C/10 лет, в Атырауской рост среднегодовых температур – в пределах 0,27...0,31°C/10 лет. И в Атырауской, и в Мангистауской области наибольший рост температур приходится на зимний период (0,27...0,38°C/10 лет) [6].

В целом увеличивается повторяемость теплых зим и сокращается повторяемость зим, относящихся к суровым; уменьшается и продолжительность зимних периодов [7]. Ледовый режим казахстанской части Каспийского моря зависит от этих климатических изменений [2].

Так, за период исследований 2015-2020 гг. экстремально теплые для размножения каспийского тюленя зимы повторились через 4 года – зима 2015-2016 гг. и зима 2019-2020 гг. В зиму 2015-2016 гг. в среднемноголетний период, когда все самки должны были оцелиться 15-25 февраля, максимальная площадь льда составляла всего 37-20 % от площади Северного Каспия, соответственно зона устойчивого ледового покрова при этом сократилась до узкой прибрежной полосы северо-востока

моря [4]. Еще более неблагоприятный для размножения тюленей ледовый покров отмечался в зиму 2019-2020 гг. В итоге может происходить снижение воспроизводства эндемичного и исчезающего вида, что на фоне увеличения негативного воздействия антропогенных факторов особенно опасно для его существования.

Тюлени – животные полуводные и значительную часть времени весной и осенью они, скапливаясь, проводят на прибрежных песчано-ракушечных островах и шалыгах, образуя залежки [1]. В период устойчивого уровня моря эти места-лежбища постоянны и на них залегают от сотен особей до десятков тысяч.

Каспийское море находится на стадии регрессии [3], его уровень в последние десятилетия падает и существуют прогнозы, что эта тенденция сохранится до конца XXI века [10]. На данный момент практически исчезли заливы Кайдак и Комсомолец. В результате в казахстанской части Северного Каспия весенние и осенние лежбища вдоль восточного побережья моря смещаются в западном направлении и обнаруживаются на вновь образующихся здесь островах (рис. 1).

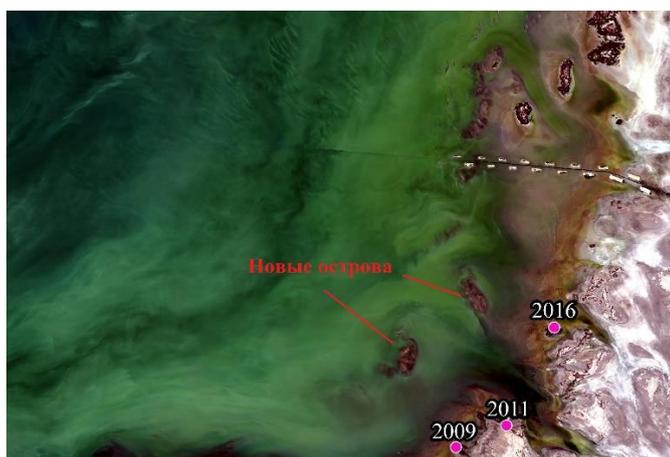


Рис. 1. Покинутые лежбища 2009, 2011, 2016 годов и новые острова в районе залива Комсомолец, где обнаруживаются залежки тюленей (<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/sentinel-1/sentinel-1-how-to-cite/>).

Таким образом, потепление климата и регрессия моря воздействуют на распределение каспийского тюленя и могут отрицательно сказаться на его численности. С целью прогнозирования состояния каспийского тюленя необходимо изучать адаптивные реакции вида к стремительно изменяющимся условиям среды обитания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бадамшин Б.И. Биология и промысел каспийского тюленя // Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. 1966. Вып.5. С. 94-124.
2. Бухарицин П.И. Исследования каспийских льдов. 2019. 122 с.

3. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд, 2016. 378 с.
4. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) <http://portal.esimo.ru/>
5. Ежегодный бюллетень мониторинга изменения климата Казахстана: 2012 // Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Астана, 2013. 42 с.
6. Ежегодный бюллетень мониторинга изменения климата Казахстана: 2014 // Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Астана, 2015. 53 с.
7. Ивкина Н., Наурозбаева Ж., Клове Б. Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря // Центральноазиатский журнал исследований воды (2017) 3(2): Специальный выпуск, посвященный проблемам управления использования водных ресурсов в Центральной Азии и Афганистане – 2017. 3(2). С. 15-29.
8. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 261 с.
9. Global outlook for ice and snow. Основные тезисы. UNEP. 10 с.
10. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change // Geophys. Res. Lett. 2017. 44, 6993–7001. doi:10.1002/2017GL073958.

Перевод с английского

**Биогенное загрязнение кремнеземом и фосфором в поверхностных отложениях водно-болотных угодий Анзали, Каспийское море**

*К.Д. Бастами, А. Хамзенур, Х. Багери*

Иранский национальный институт океанографии и атмосферных наук (INIOAS),  
Тегеран, Иран

*e-mail:* darvish\_60@yahoo.com; darvish.bastami@inio.ac.ir

Фосфор (P), как возобновляемый источник, образующий в среднем 0,09% земной коры, является основным элементом для растений. Различные компоненты фосфора добавляются в удобрения в основном для использования в сельскохозяйственных культурах, известных как фосфорные удобрения [4]. Водно-болотные угодья Анзали, расположенные на юго-западе Каспийского моря, являются водно-болотными угодьями провинциального значения из-за особых экологических и социально-экономических условий, разнообразия водной фауны и флоры. Для измерения различных форм фосфора в поверхностных отложениях водно-болотных угодий Анзали было отобрано 10 станций, и отбор проб был проведен с использованием захвата van veen осенью 2020 года. Последовательный метод экстракции был применен для выделения пяти различных форм осадочного P, включая поверхностно-адсорбированный P (слабо-P), Fe-связывающий P [5], Al-связывающий P (Al-P), Ca-связывающий P (Ca-P) и оставшийся-P в этом следе [5]. Для измерения биогенного SiO<sub>2</sub> 40 мл 0,1 М карбоната натрия (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) добавляли к 30 мг образца осадка, а затем нагревали на нагревателе при 85°C. Через 3, 4 и 5 часов после нагревания 1 мл раствора охлаждали до комнатной температуры и смешивали с 9 мл 0,02 М HCl и проводили колориметрическое определение кремнезема. После этого была составлена диаграмма поглощения по времени, и результирующий перехват представляет собой значение поглощения, используемое для измерения кремнезема [2]. Кремнезем, как одно из важных питательных веществ в планктонных сообществах, имеет очень низкую доступность из-за слабого выветривания минералов кремнезема. Самые высокие (3,04%) и самые низкие (0,29%) уровни биогенного кремнезема были получены на станциях 4 и 10 (рис. 1) соответственно в водно-болотных угодьях Анзали. Биогенный кремнезем в среднем составлял 1,38±0,83% на исследованных станциях.

В нескольких исследованиях [3] изучался биогенный кремнезем в отложениях разных регионов, в некоторых из которых его было меньше, а в других – больше, чем в водно-болотных угодьях Анзали, вероятно, из-за различий в условиях окружающей среды (гидрологических, физических, химических и биологических факторов) каждого региона. Доступный осадок P состоит из поверхностно адсорбированного P, связывающего алюминий P (Al-P) и связывающего железо P (Fe-P). Среди этих форм только поверхностно-адсорбированный P или заменяемый P может быть непосредственно применен живыми морскими организмами. Поверхностно адсорбированный P колебался от 3,23 до 32,32 промилле, так как его

самый высокий и самый низкий уровни были обнаружены на станциях 6 и 3, соответственно, со средним значением 15,30. Кроме того, процент поверхностно адсорбированного Р составлял от 0,47 до 6,56, при среднем значении 2,57 в исследуемой области.

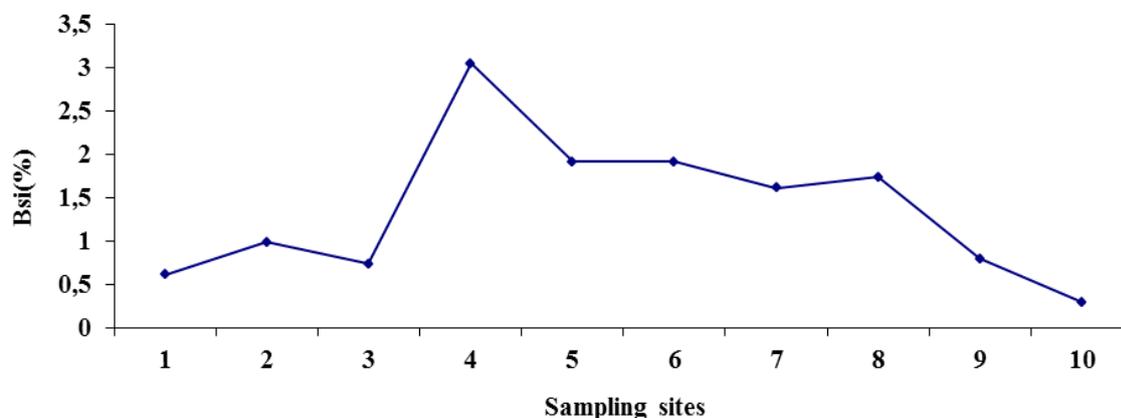


Рис. 1. Концентрации биогенного SiO<sub>2</sub> (SI %) в разных местах отбора проб

Согласно исследованию Бастами и др. [1] в Каспийском море, среднегодовой процент поверхностно адсорбированного Р составлял 8,68, что больше, чем мы наблюдали в настоящей работе. Когда Р увеличивается в толще морской воды, он постепенно поглощается отложениями в аэробных условиях и осаждается в виде ортофосфата железа (FePO<sub>4</sub>) в осадке до тех пор, пока растворенного кислорода достаточно. В этом исследовании Fe-Р составлял от 96,4 до 172,79 промилле, в среднем 130,91±24,95 промилле. Меньше всего на станции 10 и больше всего на станции 5. Основываясь на исследованиях на Каспии, средний показатель связывания железа Р (73,50) был меньше, чем мы наблюдали в настоящей работе. В этом исследовании Al-Р колебался от 24,65 до 109,9 промилле при среднем значении 75,65±29,9 промилле. Al-Р составлял в среднем 11,60±3,83 % на всех станциях. В этом исследовании Са-Р составлял от 60,30 до 125,23 промилле при среднем значении 98,18±21,46 промилле. Самое низкое и самое высокое содержание Са-Р наблюдалось на станциях 6 и 2 соответственно. Диапазон биодоступного Р в этом исследовании составлял от 141,93 до 267,42 промилле с самым низким уровнем на станции 4 и самым высоким уровнем на станции 5. Общее значение Р составляло 493-771 промилле при среднем значении 637,2±79,41 промилле. Неорганический Р колебался от 256,63 до 376,89 промилле с самым низким значением на станции 4 и самым высоким на станции 5. Остаток Р состоит как из органического Р, так и из стойкого Р. В настоящее время остаточный Р составлял от 203,56 до 413,44 промилле на исследуемой территории. Индекс загрязнения фосфором (ИЗФ) колебался от 0,82 до 1,29 при среднем значении 1,06 в отложениях водно-болотных угодий Анзали. Станции 6 и 1 показали самый низкий и самый высокий ИЗФ соответственно. ИЗФ был >1 в большинстве мест отбора проб, что свидетельствует о том, что осадок в исследуемой зоне был загрязнен фосфором.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bastami K.D., Neyestani M.R., Raeisi H., Shafeian E., Baniamam M., Shirzadi A., Esmailzadeh M., Mozaffari S., Shahrokhii B. Bioavailability and geochemical speciation of phosphorus in surface sediments of the Southern Caspian Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2018. 126. P. 51–57.
2. DeMaster D.J. The supply and accumulation of silica in the marine environment // *Geochim Cosmochim Acta*. 1981. 45. P. 1715–1732.
3. Dhame S., Kumar A., Ramanathan A.L., Chaudhari P. Elemental composition, distribution and control of biogenic silica in the anthropogenically disturbed and pristine zone inter-tidal sediments of Indian Sundarbans mangrove-estuarine complex // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. 111. P. 68–85.
4. Pheav S., Bell R.W., White P.F., Kirk G.J.D. Phosphorus cycling in rainfed lowland rice ecosystems on sandy soils // *Plant and Soil*. 2005. 269. P. 89–98.
5. Psenner R., Poesko R., Sager M. Die fractionierung organischer und anorganischer phosphorverbindungen von sedimenten-versucheiner einer definition okologisch wichtiger fractionen // *Archiv für Hydrobiologie*. 1984. 10. P. 115–155.

## **Влияние изменений климатических условий на экосистему Северного Каспия**

*С.П. Чехомов, В.В. Барабанов, В.П. Разинков*

Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

*e-mail: astraserg82@mail.ru*

В бассейне Каспийского моря произошло существенное изменение климатических условий. С конца 1970-х годов прослеживается значительное увеличение средних годовых величин температуры воздуха, главным образом в результате интенсивного зимнего потепления. Так, среднегодовая температура воздуха за период 2001-2020 гг. превысила климатическую норму на 0,8°C.

Многолетние изменения температурного режима вод Северного Каспия в современный период характеризуются следующими особенностями: повышенными средними значениями температуры воды в начале весны (апрель), обусловленными преобладанием теплых зим; снижением в летний период температуры воды в западной части Северного Каспия, находящейся под воздействием адвекции среднекаспийских вод с пониженным теплозапасом; повышенными относительно многолетней «нормы» температурами весной и осенью, что определяют более продолжительный период нагула полупроходных, морских и осетровых рыб в Северном Каспии в современный период.

Для северо-каспийской морской экосистемы в современных климатических условиях ухудшились условия естественного воспроизводства генеративно-пресноводных рыб.

Значительная часть волжской воды в многоводные годы в результате раннего снеготаяния в бассейне Волги, происходящего еще до наступления нерестовых температур воды в низовьях Волги, транзитом проходит в море, не обеспечивая тем самым благоприятных гидрологических условий в период нерестового цикла полупроходных и речных рыб. В маловодные годы наблюдается запаздывание сроков поступления воды на нерестилища дельты Волги и Волго-Ахтубинской поймы, в результате проявляется асинхронность между наступлением нерестовых температур и обводнением полоев [2].

Современное потепление климата оказало влияние на ледовый режим. Повышенный температурный фон воздуха привел к некоторому повышению температуры воды, а также к более раннему и быстрому таянию ледяного покрова. В результате произошло ослабление ледовых условий: сокращение периода с ледовыми явлениями, уменьшение толщины льда. Заметно сократилась продолжительность ледостава, в отдельные годы наблюдаются безледоставные зимы. Процессы льдообразования стали происходить в более поздние сроки при более ранних сроках распаления льда.

Изменение климата (потепление) в современный период не оказало негативного влияния для популяции каспийского тюленя. Среднегодовое (1967-1982 гг., 2005-2020 гг.) значения ледовитости Северного Каспия в начале февраля на предполагаемый момент массового размножения половозрелых самок за 38 лет уменьшились на 10%. Частота встречаемости умеренных зим увеличилась на 12% и в последние годы стала составлять 31%. Но, несмотря на это, ледовитость Северного Каспия в последние годы на период размножения половозрелых самок каспийского тюленя не оказывает отрицательного влияния на численность популяции и сохранила достаточную площадь для положительного воспроизводства.

Экосистема северной части Каспийского моря в течение XX столетия претерпевала значительные изменения, обусловленные колебаниями уровня моря. Наиболее глубокие трансформации происходили в периоды резкого снижения уровня (наиболее резко уровень моря снижался в 1930-1941 гг. и 1971-1977 гг.), которые отражались на состоянии ихтиофауны. Периоды регрессии моря сопровождались значительным сокращением площади и осолонением Северного Каспия (соответственно, уменьшением ареалов нагула полупроходных рыб), подрывом кормовой базы промысловых бентосоядных рыб. Так, в связи с сокращением нагульного ареала и ухудшением условий откорма уловы воблы в 1939-1941 гг. по сравнению с предшествующим периодом уменьшились более чем втрое [3]. В результате ухудшения условий размножения и нагула, и вступления в промысел малоурожайных поколений промысловые запасы воблы и леща в 1976-1979 гг. снизились втрое в сравнении с предшествующими годами [1].

В современный период (2001-2020 гг.) максимальная отметка уровня Каспия достигала минус 26,91 м абс. (2005 г.), минимальная – минус 28,23 м абс. (2020 г.), т.е. размах колебаний составил 1,32 м, при среднем понижении уровня моря на 6,6 см в год. С 2005 г. по настоящее время происходит устойчивое снижение уровня моря, сопровождающееся уменьшением объема и площади водоема, геоморфологическими изменениями на морском крае дельты Волги, ослаблением водообмена между отдельными частями моря, изменением нагульных ареалов рыб.

Не рассматривая антропогенное воздействие на экосистему и водные биоресурсы, масштабы которого все больше возрастают, природные факторы, особенно при резком их изменении, оказывают существенное влияние на среду обитания, а через нее на состояние и численность гидробионтов Волго-Каспия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каспийское море: Ихтиофауна и промысловые ресурсы. М.: Наука, 1989. 236 с.
2. Катунин Д.Н. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте реки Волги. Астрахань: КаспНИРХ, 2014. 478 с.
3. Танасийчук В. С. К вопросу о причинах колебания численности леща и воблы в Северном Каспии // Тр. ВНИРО. Т. XXI. Динамика численности промысловых рыб. М.: Пищепромиздат, 1952. С. 195-212.

## **Изменение трофности и продуктивности Северного Каспия под влиянием меняющегося климата**

<sup>1</sup>Е.В. Островская, <sup>1</sup>Л.В. Дегтярева, <sup>2</sup>Р.Д. Кашин

<sup>1</sup>Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

*e-mail:* kaspnmiz@mail.ru

Изменения гидролого-гидрохимического режима Северного Каспия, вызванные меняющимися климатическими условиями, снижением водного стока и уровня моря, привели к существенным изменениям в структуре и функционировании биологических сообществ северной части моря [4]. Отмечается существенное перераспределение биомассы планктона и бентоса (концентрирование их основных скоплений в мелководной зоне до 3-5-метровой глубины), снижение их видового разнообразия по сравнению с предыдущим периодом подъема уровня моря (1978-1995 гг.) [1].

Основной целью данной работы является оценка изменений показателей трофности и продуктивности акватории Северного Каспия в современный период (с 1996 г.), характеризующийся снижением уровня моря по сравнению с предыдущим периодом подъема уровня (1978-1995 гг.). Показатели трофности и класс продуктивности рассчитывались по средней за каждый период биомассе в соответствии с рекомендациями С.П. Китаева [2, 3].

Данные, приведенные в таблицах 1 и 2, демонстрируют, что биомасса планктона и бентоса, а вместе с ними и показатели трофности в настоящее время снизились по сравнению с предыдущим периодом, особенно это характерно для приглубой зоны Северного Каспия (табл. 2). Исключение составляет только повышенный показатель для мелководной зоны по фитопланктону (табл. 1): в период трансгрессии уровня моря степень трофности соответствовала  $\alpha$ -мезотрофному типу, а в современный период достигла уровня  $\beta$ -мезотрофного (класс продуктивности также повысился с умеренного до среднего). Вероятнее всего, это связано с регрессией моря с 1996 г. и является результатом концентрирования водорослей на мелководьях, в то время как ранее они были распределены по акватории северной части моря более равномерно [1].

Степень трофности мелководной зоны по показателям зоопланктона осталась на уровне  $\alpha$ -мезотрофной (класс продуктивности – умеренный), тогда как трофность глубоководной зоны снизилась с  $\alpha$ -олиготрофной до ультра-олиготрофной с соответствующим снижением класса продуктивности до минимального (табл. 2).

На два класса (с очень высокой до повышенной) снизилась продуктивность по показателям бентоса в мелководной зоне, что, скорее всего, связано с повышением солености морских вод в последние годы и замещением пресноводных видов солоноватоводными [5].

Таблица 1. Показатели трофности и оценка продуктивности для отмелой зоны Северного Каспия

Показатели	Биомасса	Уровень трофности	Класс продуктивности
1978-1995 гг. (период трансгрессии)			
Фитопланктон, мг/м <sup>3</sup>	1167,6	α-мезотрофный	умеренный
Зоопланктон мг/м <sup>3</sup>	1303,1	α-мезотрофный	умеренный
Зообентос, г/м <sup>2</sup>	54,7	гипертрофный	очень высокий
1996-2015 гг. (период регрессии)			
Фитопланктон мг/м <sup>3</sup>	2558,7	β-мезотрофный	средний
Зоопланктон мг/м <sup>3</sup>	1092,8	α-мезотрофный	умеренный
Зообентос, г/м <sup>2</sup>	19,3	α-эвтрофный	повышенный

Таблица 2. Показатели трофности и оценка продуктивности для приглубой зоны Северного Каспия

Показатели	Биомасса	Уровень трофности	Класс продуктивности
1978-1995 гг. (период трансгрессии)			
Фитопланктон, мг/м <sup>3</sup>	535,2	β-олиготрофный	низкий
Зоопланктон мг/м <sup>3</sup>	296,7	α-олиготрофный	очень низкий
Зообентос, г/м <sup>2</sup>	156,5	гипертрофный	очень высокий
1996-2015 гг. (период регрессии)			
Фитопланктон, мг/м <sup>3</sup>	347,6	α-олиготрофный	очень низкий
Зоопланктон мг/м <sup>3</sup>	107,8	ультра-олиготрофный	самый низкий
Зообентос, г/м <sup>2</sup>	73,3	гипертрофный	очень высокий

Таким образом, климатические изменения, наблюдаемые в Каспийском регионе, наряду с антропогенным воздействием, привели к тому, что условия для развития планктонных и бентосных сообществ на акватории Северного Каспия стали менее благоприятными по сравнению с предыдущим периодом, особенно в его приглубой зоне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Даирова Д.С., Островская Е.В., Курапов А.А., Умербаева Р.И. Изменения биотических сообществ Северного Каспия в условиях меняющегося климата // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 6 (60). С. 97-107.
2. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер // Экология и природопользование разных природных зон. V съезд Всесоюзного гидробиологического общества. Ч. 2. Куйбышев, 1986. С. 254-255.

3. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 395 с.
4. Курапов А.А., Островская Е.В., Даирова Д.С., Васильева Т.В. Влияние изменений климата на биологические сообщества Северного Каспия / Отв. ред. А.Ф. Сокольский. Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., 2020. 264 с.
5. Островская Е.В., Гаврилова Е.В., Курапов А.А., Варначкин С.А. Влияние изменений климата на гидролого-гидрохимические характеристики Северного Каспия // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 6 (60). С. 25-35.

Перевод с английского

**Портал Европейской сети морских наблюдений и данных (EMODnet) по местообитаниям морского дна – создание карты местообитаний для Каспийского бассейна**

*Консорциум местообитаний морского дна EMODnet: <sup>1</sup>С. Агнези, <sup>1</sup>А. Аннунциателлис, <sup>2</sup>З. Аль-Хамдани, <sup>3</sup>Н. Аскью, <sup>4</sup>Т. Беккби, <sup>3</sup>Л. Кастл, <sup>5</sup>В. Дончева, <sup>3</sup>Дж. Дункан, <sup>6</sup>Дж. Гонсальвес, <sup>7</sup>Л. Лааманен, <sup>3</sup>Х. Лиллис, <sup>3</sup>Э. Манка, <sup>8</sup>Ф. МакГрат, <sup>1</sup>Г. Мо, <sup>6</sup>П. Монтейро, <sup>9</sup>М. Муресан, <sup>8</sup>Э. О'Киффи, <sup>3</sup>Дж. Пиндер, <sup>9</sup>А. Теака, <sup>5</sup>В. Тодорова, <sup>1</sup>Л. Тунези, <sup>10</sup>М. Васкез*

<sup>1</sup>ISPRA (Итальянский национальный институт охраны окружающей среды и исследований), Рим, Италия

<sup>2</sup>GEUS (Геологическая служба Дании и Гренландии), Копенгаген, Дания

<sup>3</sup>JNCC (Объединенный комитет по охране природы), Питерборо, Великобритания

<sup>4</sup>NIVA (Норвежский институт водных исследований), Осло, Норвегия

<sup>5</sup>IO-BAS (Институт океанологии – Болгарская академия наук), Варна, Болгария

<sup>6</sup>CCMAR (Центр морских наук), Фару, Португалия

<sup>7</sup>SYKE (Финский институт окружающей среды), Хельсинки, Финляндия

<sup>8</sup>MI (Морской институт), Голуэй, Ирландия

<sup>9</sup>GEOECOMAR (Национальный институт исследований и разработок в области морской геологии и геоэкологии), Бухарест, Румыния

<sup>10</sup>IFREMER (Французский научно-исследовательский институт по эксплуатации моря), Брест, Франция

*e-mail: fergal.mcgrath@marine.ie*

Европейская сеть морских наблюдений и данных (EMODnet) – это сеть организаций, поддерживаемых интегрированной морской политикой ЕС. Эти организации работают вместе, чтобы наблюдать за морем, обрабатывать данные в соответствии с международными стандартами и предоставлять эту информацию в свободном доступе в виде совместимых слоев данных и продуктов данных с общей целью содействия голубому росту. Участок среды обитания на морском дне EMODnet (ESH) начинает свою следующую фазу (фазу 4) в сентябре 2021 года. Географический охват будет шире, чем на предыдущем этапе, и стремится охватить все Каспийское море.

Результаты этого следующего этапа ESH будут включать в себя широкомасштабную карту среды обитания на морском дне для Европы и Каспийского моря. Это потребует сопоставления и агрегирования существующих экологических слоев, имеющих экологическое значение для Каспийского моря, и разработки новых, когда это необходимо. Данные обследования бентоса будут сопоставлены и использованы для определения пороговых значений для классификации слоев окружающей среды на экологически значимые классы для определения типов местообитаний.

Ожидаемая поставка слоя субстрата морского дна с полным покрытием для Каспийского моря от EMODnet Geology в сочетании с DTM GEBCO (разрешение 500 м) и другими экологическими слоями послужит основой для широкомасштабной карты среды обитания морского дна в этом регионе.

Кроме того, к завершению в 2023 году 4-я фаза ESH предоставит расширенную библиотеку более подробных локальных карт сообществ, биоценозов, биотопов и мест обитания для всей Европы и Каспийского моря, обработанных и преобразованных в стандартный формат, с метаданными для каждой карты. С этим будет связан набор данных сопоставленных записей точек. Новым результатом этапа 4 ESH станет комбинированный, согласованный продукт данных, показывающий наилучшие данные о масштабах водно-болотных угодий в Европе и Каспийском море, с метаданными.

Эти результаты могут быть использованы для устранения значительных пробелов в исследованиях и знаниях о текущих и будущих прогнозируемых последствиях изменения климата в Каспийском море и его бассейне. Предоставление и доступ к наборам данных и моделям ESH для этого региона могут быть использованы для информационного мониторинга воздействия изменения климата на экосистему и биоразнообразие Каспийского моря. Это будет способствовать выработке политики и принятию обоснованных решений по решению проблемы изменения климата в регионе Каспийского моря.

Все результаты доступны в свободном доступе через портал ESH, который предоставляет стандартизированную, централизованную и бесплатную точку доступа ко всей пространственной информации о местах обитания на морском дне в Европе: [www.emodnet-seabedhabitats.eu/access-data/](http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/access-data/).

Перевод с английского

**Повышение осведомленности о снижении биоразнообразия Каспийского моря в условиях меняющейся окружающей среды – уроки, извлеченные из исследований Черного моря**

<sup>1</sup> А. Гогаладзе, <sup>1</sup> Ф.П. Весселинг, <sup>2</sup> М. Латтуада, <sup>3</sup> М.О. Сон,  
<sup>4</sup> В.В. Анистратенко, <sup>5</sup> А.Б. Павел, <sup>1</sup> Н. Раес

<sup>1</sup> Центр биоразнообразия Натуралис, Лейден, Нидерланды

*e-mail:* aaleksandre.g@gmail.com

*e-mail:* frank.wesselingh@naturalis.nl

<sup>2</sup> Технический университет Брауншвейга, Брауншвейг, Германия

<sup>3</sup> Институт морской биологии НАН Украины, Одесса, Украина

<sup>4</sup> Институт зоологии им. Шмальгаузена НАН Украины, Киев, Украина

*e-mail:* anistrat@izan.kiev.ua

<sup>5</sup> Национальный институт исследований и разработок в области морской геологии и геоэкологии, Констанца, Румыния

В Каспийском море обитает уникальная эндемичная флора и фауна, известная как Понтокаспийская (РС) биота [4], которая в настоящее время находится в состоянии сильного стресса [1, 7, 9]. Прогнозируемое падение уровня Каспийского моря (УКМ) на 9-18 метров к концу этого столетия [8], вероятно, вызовет коллапс экосистемы и значительную потерю биоразнообразия. Адекватные меры по сохранению и смягчению разрушительных последствий прогнозируемого снижения УКМ требуют участия заинтересованных сторон и согласованных усилий. Повышение осведомленности об уникальной природе биоразнообразия Каспийского моря и его вероятной вере является предварительным условием для таких согласованных усилий.

В рамках программы Horizon 2020 ITN-PRIDE (Движущие силы роста и исчезновения биоразнообразия Понтокаспийского региона: [www.pontocaspien.eu](http://www.pontocaspien.eu)) мы исследовали сетевые структуры заинтересованных сторон ПК, архитектуру управления и осведомленность общественности о биоте ПК в бассейне Черного моря [3, 5]. Каспийское и Черное моря содержат схожую биоту, и оба моря управляются различными институтами и системами управления. Таким образом, уроки, которые мы извлекли из анализа сети заинтересованных сторон Черного моря, могут помочь в планировании сохранения ресурсов и прибыли в регионе Каспийского моря.

На начальном этапе необходимо определить соответствующие институциональные заинтересованные стороны в странах Каспийского моря и наметить их структуры сотрудничества. В Черноморском бассейне анализ социальных сетей (АСС) заинтересованных сторон показал, что в Румынии и Украине в основном существуют природоохранные сети, но низкая осведомленность о снижении биоразнообразия ПК, а также политические и финансовые ограничения

препятствовали полному вовлечению членов сети в решение проблемы исчезновения биоразнообразия ПК [3, 5]. Исследования АСС в странах Каспийского моря имеют первостепенное значение для картирования ландшафтов заинтересованных сторон и информирования о решениях по сохранению.

Эффективность действий заинтересованных сторон во многом определяется ландшафтом природоохранной политики [2]. Исследование правовой базы сохранения биоразнообразия ПК в Румынии и Украине показало, что биота ПК плохо известна лицам, принимающим решения, и неадекватно отражена в законах и нормативных актах, за исключением видов осетровых. Поэтому сохранение мест обитания ПК и биоты в основном носит случайный характер. В Каспийском море обитают флагманские виды, такие как каспийский тюлень и осетровые, на которых распространяются правила, предусмотренные законом, в то время как большинство эндемичных групп рыб и беспозвоночных, вероятно, (пока) не защищены.

Наряду с низкой политической осведомленностью о биоте ПК в Черноморском регионе, осведомленность общественности также низка. Некоторые флагманские виды (в данном случае осетровые) используются НПО для повышения осведомленности общественности о биоте ПК. В Черноморском регионе мы изучили использование информационно-пропагандистских материалов, нацеленных на более широкие таксоны ПК, включая беспозвоночных [6], для повышения осведомленности о биоразнообразии ПК. Разработка учебных материалов, в которых активно участвуют школьники и студенты университетов, является эффективным способом повышения осведомленности местных сообществ.

Наконец, необходимо изучить, имеется ли необходимая научная база для эффективного сохранения биоразнообразия ПК [4]. Для бассейна Черного моря мы обнаружили, что имеются научные данные для описания кризисов биоразнообразия ПК и определения их вероятных факторов, но опубликованным исследованиям не хватает уровня детализации для разработки политики и разработки планов управления. Это также может относиться к Каспийскому морю, которое разделяют пять разных стран с разными законами, институциональным устройством и научными традициями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Dumont H. Ecocide in the Caspian Sea. *Nature*. 1995. 377(6551):673-4.
2. Gogaladze A., Biesmeijer J.C, Son M.O., Maruschak O., Wesselingh F.P., Lattuada M. et al. Legal framework for Pontocaspian biodiversity conservation in the Danube Delta (Romania and Ukraine). Manuscript submitted for publication. 2021.
3. Gogaladze A., Raes N., Biesmeijer J.C., Ionescu C., Pavel A.B., Son M.O. et al. Social network analysis and the implications for Pontocaspian biodiversity conservation in Romania and Ukraine: A comparative study // *PloS one*. 2020. 15(10):e0221833.
4. Gogaladze A., Son M.O., Lattuada M., Anistratenko V.V., Syomin V.L., Pavel A.B. et al. Decline of unique Pontocaspian biodiversity in the Black Sea Basin: a review // *Ecology and Evolution*. 2021. 00:1-25.

5. Gogaladze A., Wesselingh F.P., Biesmeijer K., Anistratenko V., Gozak N., Son M.O. et al. Using social network analysis to assess the Pontocaspian biodiversity conservation capacity in Ukraine // *Ecology and Society*. 2020. 25(2).
6. Gogaladze A., Wesselingh F.P., PRIDE Team. A Leaflet - discover the unique mollusk fauna of the Black Sea. 2017. [www.pontocaspian.eu](http://www.pontocaspian.eu).
7. Lattuada M., Albrecht C., Wilke T. Differential impact of anthropogenic pressures on Caspian Sea ecoregions // *Marine Pollution Bulletin*. 2019. 142:274-81.
8. Prange M., Wilke T., Wesselingh F.P. The other side of sea level change // *Communications Earth & Environment*. 2020. 1(1):1-4.
9. Wesselingh F.P., Neubauer T.A., Anistratenko V.V., Vinarski M.V., Yanina T., ter Poorten J.J. et al. Mollusc species from the Pontocaspian region – an expert opinion list // *ZooKeys*. 2019. 827:31-124.

**Потенциальное влияние изменения климата 21 века на каспийских тюленей  
(*Pusa caspica*)**

*С.Дж. Гудман, Х. Тэн*

Лидсский университет, Лидс, Великобритания

*e-mail: s.j.goodman@leeds.ac.uk*

Каспийские тюлени (*Pusa caspica*), эндемичные для Каспийского моря, являются знаковым видом для биоразнообразия региона, представляющим единственный в море вид морских млекопитающих. Это мелкотельный вид ледяного гнездящегося тюленя-фоцида, в настоящее время занесенный в список «Находящихся под угрозой исчезновения» Международным союзом охраны природы (МСОП) из-за сокращения популяции, превышающего 70% в течение 20-го века, и продолжающихся угроз, возникающих в результате деятельности человека [4]. Этот вид был изолирован в Каспийском море по меньшей мере 1 миллион лет [7] и развил уникальный набор особенностей жизнедеятельности для адаптации к каспийской среде [10]. Каспийское море находится на нынешней южной границе образования морского льда в северном полушарии, и каспийские тюлени размножаются на ледяном покрове, который образуется в мелководном северном бассейне в период с января по март каждого года [10]. Природа Каспийского моря, не имеющего выхода к морю, а также экологические и жизненные особенности вида означают, что он, вероятно, будет одним из наиболее уязвимых видов морских млекопитающих к последствиям изменения климата во всем мире [1]. Здесь мы предполагаем, что воздействие изменения климата на каспийских тюленей, вероятно, будет возникать в результате трех основных процессов.

1) *Сокращение протяженности и продолжительности зимнего морского льда*: На сегодняшний день четких тенденций к сокращению зимнего льда на Каспии еще не наблюдается, но климатические модели указывают на высокую вероятность сокращения протяженности и продолжительности морского льда к 2100 году [9]. Одним из наиболее важных факторов, определяющих результативность размножения каспийских тюленей, является стабильность льда в период лактации (от 3 до 5 недель, с конца января по начало марта [10]). Изменение климата, вероятно, приведет к увеличению частоты лет, когда лед тает до завершения лактации, что приведет к гибели значительной доли отлученных от груди щенков в течение года. Увеличение частоты периодических катастроф, связанных со смертностью щенков, потенциально может повлиять на демографию населения и способствовать сокращению численности населения.

2) *Тепловой стресс и повышенные энергетические потребности из-за повышения летних температур поверхности моря*: Летняя температура поверхности моря (ЛТПМ) на Каспии часто может локально превышать 30°C, и пространственная протяженность, продолжительность и масштабы таких высокотемпературных явлений, вероятно, увеличатся в условиях изменения климата. Высокий уровень

ЛТПМ потенциально может увеличить время, затрачиваемое особями на терморегуляцию за счет других видов деятельности, таких как поиск пищи, в то время как снижение содержания растворенного кислорода при повышенной температуре воды может повлиять на распределение добычи. В сочетании эти факторы могут негативно повлиять на энергетический баланс отдельных особей. На популяционном уровне даже незначительное снижение энергетического баланса может негативно повлиять на репродуктивные показатели популяции или ее выживаемость. В крайних случаях повышенный уровень ЛТПМ может превысить способность организмов эффективно регулировать температуру, что приведет к исключению их из районов обитания выше таких температурных порогов или к риску изнурительного теплового стресса. Данные спутниковой телеметрии и моделирование использования среды обитания могут помочь определить, насколько уязвимы каспийские тюлени к таким процессам [3].

3) *Снижение уровня Каспийского моря*: Недавние исследования показали снижение уровня Каспийского моря до 18 метров к 2100 году в результате увеличения скорости поверхностного испарения по сравнению с притоком воды [8]. Это привело бы к почти полному высыханию нынешнего бассейна Северного Каспия, что повлекло бы за собой потерю нынешних мест размножения каспийских тюленей, а также к ликвидации ключевых районов, используемых для добывания пищи, линьки и отдыха. Это также привело бы к потере многих существующих или предлагаемых охраняемых районов. Неясно, может ли сохраниться некоторый зимний морской лед вокруг новой северной береговой линии [9], или может ли он поддерживать среду обитания для размножения тюленей. По мере снижения уровня воды могут появиться новые топографические особенности, подходящие для отлова и отдыха тюленей, но опять же, смогут ли они заменить существующую среду обитания, еще предстоит оценить.

В совокупности эти процессы предполагают мрачные перспективы для каспийских тюленей в условиях изменения климата в XXI веке из-за сокращения доступности среды обитания и снижения репродуктивной способности. Исследования по моделированию численности населения необходимы для получения количественных прогнозов последствий для демографической ситуации при различных сценариях и того, как климатические процессы могут взаимодействовать с другими антропогенными факторами стресса, такими как смертность тюленей, связанная с рыболовством. Ключевой областью неопределенности является то, в какой степени каспийские тюлени смогут адаптироваться к наземному размножению в отсутствие морского льда. Исторически сложилось так, что на острове Огурчинский (Огурджали) в Южном Каспии наблюдалось небольшое количество новорожденных детенышей [5], но данных об их выживаемости нет. В контексте Каспия наземные участки могут оказаться неспособными в какой-либо значительной степени заменить среду обитания для размножения во льдах из-за повышенной подверженности наземным хищникам и нарушениям со стороны человека [10].

Перспективы смягчения климатических воздействий на каспийских тюленей не кажутся обнадеживающими из-за прогнозируемых масштабов нарушения среды обитания. На начальном этапе приоритет должен быть отдан устранению существующих угроз, в частности снижению значительной смертности тюленей при

незаконном рыболовстве [2], и развитию охраняемых районов, поскольку это повысит устойчивость населения к климатическим воздействиям по мере их развития. В долгосрочной перспективе можно было бы изучить перспективы расширения альтернативных мест обитания для размножения, включая создание искусственных морских гнездовых субстратов [6] и охраняемых наземных участков. Следует принять законодательство, позволяющее создавать гибкие наземные и морские охраняемые районы, границы которых являются динамичными и могут изменяться в ответ на изменения уровня моря. Аналогичным образом при планировании морской промышленной инфраструктуры и деятельности необходимо учитывать, что расположение ключевых районов обитания тюленей может измениться в течение короткого периода времени.

В течение приблизительно 1 миллиона лет, в течение которых каспийские тюлени обитали в Каспийском море, этот вид пережил несколько предыдущих циклов изменения климата. Это дает некоторый повод для оптимизма в отношении того, что этот вид обладает достаточной гибкостью, чтобы адаптироваться к грядущим изменениям, но остается вопрос, возможно ли это перед лицом других антропогенных стрессоров, существующих на Каспии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Albouy C., Delattre V., Donati G. et al. Global vulnerability of marine mammals to global warming // *Sci Rep.* 2020. 10. 548 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57280-3>.
2. Dmitrieva L., Kondakov A.A., Oleynikov et al. Assessment of Caspian Seal By-Catch in an Illegal Fishery Using an Interview-Based Approach // *PLoS One.* 2013. 8(6) e67074. doi:10.1371/journal.pone.0067074.
3. Dmitrieva L., Jüssi M., Jüssi I. et al. Individual variation in seasonal movements and foraging strategies of a land-locked, ice-breeding pinniped // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2016. 554:241-256. doi: 10.3354/meps11804.
4. Goodman S., Dmitrieva L. *Pusa caspica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. 2016. e.T41669A45230700. <https://dx.doi.org/10.2305>.
5. Krylov V.I. Ecology of the Caspian seal // *Finnish Game Research.* 1990. 47. P. 32-36.
6. Kunasranta M., Niemi M., Auttila M. et al. Sealed in a Lake - Biology and conservation of the endangered Saimaa ringed seal: A review. *Biol. Cons.* 2021. 253. 108908. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108908>.
7. Nyakatura K., Bininda-Emonds O.R.P. Updating the evolutionary history of Carnivora (Mammalia): a new species-level supertree complete with divergence time estimates // *BMC Biology.* 2012. 10. 12 p. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-10-12>.
8. Prange M., Wilke T., Wesselingh F.P. The other side of sea level change // *Commun. Earth Environ.* 2020. 1. 69 p. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>.
9. Tamura-Wicks H., Toumia R., Budgella W.P. Sensitivity of Caspian sea-ice to air temperature // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* 2015. 141. P. 3088–3096. DOI:10.1002/qj.2592.

10. Wilson S.C., Dolgova E., Trukhanova I. et al. Breeding behavior and pup development of the Caspian seal, *Pusa caspica* // Journal of Mammalogy. 2020. 98. P. 143–153. doi: 10.1093/jmammal/gyw176.

Перевод с английского

**Подтверждение гетерозиготности стерляди *Acipenser ruthenus* и ее гиногенных потомков с использованием микросателлитных маркеров**

*М. Хассанзаде Сабер, Ш. Джамшиди*

Международный научно-исследовательский институт осетровых, AREEO, Решт, Иран

*e-mail: saber.merag@gmail.com*

Факторы, определяющие пол, неизвестны у осетровых, но гиногенез мейоза позволил идентифицировать генетическую систему определения пола у нескольких видов. У некоторых костистых рыб сообщалось о женской модели гомогаметии. В отличие от этого, у осетровых этот паттерн все еще является женской гетерогаметностью. Индукция гиногенеза в женской гетерогаметной системе приводит к различным соотношениям самцов ZZ, самок ZW и превосходящих самок WW, в зависимости от хромосомного обмена (рекомбинантного эффекта) между геном определения пола и центромерой во время мейоза. Большинство исследований показали, что у рыб с женской гетерогаметной системой определения пола часто встречаются две самки и один самец, и утверждается, что ген определения пола сортируется независимо от центромеры. Молекулярные маркеры, такие как AFLP и микросателлит, обладают способностью обнаруживать гетерозиготность, а затем систему определения пола. Целью этого исследования было использование молекулярных маркеров для подтверждения или неодобрения гетерозиготности у стерляди и ее гиногенных потомков. Маркеры микросателлитов, использованные в этом исследовании (Afug-9, Afug-63, Afug-112 и Afug-122), показали, что стерлядь и ее гиногенные потомки были гетерозиготными, и что некоторые имели один аллель, а некоторые имели оба материнских аллеля. Это доказывает, что у стерляди есть два типа зигот и что система определения пола этого вида – женская гетерогамия.

Перевод с английского

**Фенотипические маркеры: способ выявления гибридов среди гиногенных потомков у рыб**

*М. Хассанзаде Сабер*

Департамент генетики и биотехнологии, Международный научно-исследовательский институт осетровых, AREEO, Решт, Иран

*e-mail: saber.merag@gmail.com*

У рыб, чтобы вызвать межвидовой гиногенез, некоторое количество сперматозоидов не может подвергаться ультрафиолетовому облучению, чтобы разрушить ДНК сперматозоидов. Эти сперматозоиды оплодотворяют яйцеклетки и производят гибридное потомство, которое в некоторых случаях идентифицируется по фенотипическим маркерам. Цель этого исследования – определить, какой родитель более похож на полученный гибрид (♂ сибирский осетр и ♀ стерлядь), чтобы его можно было использовать в качестве фенотипического маркера в диагностике экспериментов с генетическими манипуляциями. Для гибридного производства были отобраны самец сибирского осетра и самка стерляди. Некоторые фенотипические особенности были изучены у гибридов и их родителей. По длине головы нет существенной разницы между сибирским осетром и гибридами, но есть существенная разница между сибирским осетром, стерлядью и гибридами. Наименьшее значение длины рыла относится к стерляди, и существует значительная разница между стерлядью, гибридами и сибирским осетром по ширине рта. Наибольшее значение боковых щитков относится к стерляди. По количеству брюшных и спинных щитков почти одинаковые значения наблюдаются у гибридов и их родителей. Наименьшее количество лучей спинного плавника относится к стерляди, а гибриды являются промежуточными. Между гибридами и сибирским осетром нет существенной разницы в количестве лучей анального плавника. Анализ фенотипических маркеров показал, что гибриды унаследовали большую часть своих отцовских характеристик. Из-за сходства гибридов с сибирским осетром возможность присутствия гибридов при генетических манипуляциях, таких как гиногенез, может быть хорошо идентифицирована и изолирована.

## **Применение вегетационных индексов в дистанционной оценке растительности побережья Каспийского моря**

*А.О. Джанбарова*

Центр технологий Академии наук Туркменистана, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: winkos95@mail.ru*

Изменение климата, естественно, отразится на экосистеме и биоразнообразии не только Каспийского моря, но и его побережья. Поэтому наиболее рациональной и эффективной мерой по наблюдению и предупреждению ситуаций, связанных с изменением климата явилось бы ведение многоуровневого мониторинга прибрежных территорий Каспийского моря, а именно растительности и почв.

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать космические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Вегетационный индекс (ВИ) – показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными каналами данных дистанционного зондирования, и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Одним из основных способов использования этих индексов является сравнение одного и того же объекта на множестве изображений за период времени.

Главным преимуществом вегетационных индексов является простота их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач, и часто используется как один из инструментов при проведении сложных типов анализа, результатами которых могут являться карты ландшафтов и природных зон, почвенные, аридные, фенологические и другие эколого-климатические карты.

Чтобы произвести такой анализ, весной 2020 года на территории прикаспийской низменности были собраны спектральные характеристики пастбищных растений, из которых выбрали три наиболее распространенных представителя – солянка деревцевидная, полынь кемрудская, кермек, по данным которых были вычислены вегетационные индексы (табл. 1).

На исследуемую территорию были скачаны и предварительно обработаны мультиспектральные космические снимки спутника Sentinel 2 за весну 2019, 2020 и 2021 годов. По данным снимков был вычислен вегетационный индекс NDVI (Normalized difference vegetation index), по значениям которого определили состояние общей биомассы растительности на территории подопытного полигона (табл. 2).

Таблица 1. Полученные значения вегетационных индексов

Группа индексов	Индекс	Диапазон значений (для здоровой растительности)	Солянка деревце-видная	Польнь кемрудская	Кермек
Широкополосные («зеленость»)	NDVI	-0,2 до 1	0.304	0.507	0.262
Узкополосные («зеленость»)	MRENDVI	0,2 до 0,7	0.321	0.435	0.195
	MRESR	2 до 8	1.945	2.540	1.485
	VREI2	4 до 8	0.033	0.63	0.012
Эффективность использования света	PRI	-0,2 до 0,2	-0.063	-0.061	-0.080
	SIPI	0,8 до 1,8	1.421	1.257	1.846
	RGRI	0,7 до 3	1.144	1.084	1.110
Содержание углерода (лигнин и целлюлоза)	PSRI	-0,1 до 0,2	0.149	0.104	0.208
Содержание пигментов	ARI2	0 до 0,2	0.385	0.426	0.218
	CRI2	1 до 11	1.766	3.174	1.848
Содержание влаги в растительности	WBI	0,8 до 1,2	0.948	0.994	0.985

Таблица 2. Значения вычисления вегетационного индекса NDVI за 2019, 2020 и 2021 годы

2019 г.		2020 г.		2021 г.	
Минимальное значение NDVI	Максимальное значение NDVI	Минимальное значение NDVI	Максимальное значение NDVI	Минимальное значение NDVI	Максимальное значение NDVI
0,047	0,240	0,022	0,180	0,026	0,15

По полученным значениям индексов можно проследить динамику состояния растительности и их распространения на побережье Каспийского моря под влиянием изменения климата.

## **Оценка влияния изменения климата на количественное и качественное состояние галофильной растительности восточного побережья Каспия**

*П.А. Кепбанов, К.О. Аннаниязов, М.О. Сахатова*

Национальный институт пустынь, растительного и животного мира, Служба охраны окружающей среды Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды  
Туркменистана, Битарап, Туркменистан

*e-mail: pirlikep@yandex.ru*

На восточном побережье Каспия (Туркменистан) от залива Карабогазгол до г. Туркменбаши в виде узкой полосы распространяется приморская намывная низменность. Значительная часть этой равнины занята солончаками, развивающимися за счет сильно минерализованных морских вод Каспия и Карабогазгола. Большую часть исследуемой территории занимает сочносолянковая пустыня и незначительную часть занимает солянковая пустыня. Сочносолянковая пустыня является одной из характерных элементов растительного покрова всей пустынной области. Она представлена в основном сарсазановыми сообществами и редко встречающимися климакоптерниками. Сарсазанники имеют ландшафтообразующее значение, приурочены к мокрым солончакам с близким уровнем засоленных грунтовых вод.

В исследуемом районе на значительных площадях сарсазанники образуют чистые, одновидовые сообщества. Растения образуют лепешковидные кусты округлой формы, которые разбросаны друг от друга на 2-3 м. В этих сарсазанниках единичными особями или небольшими группами иногда встречается солерос (*Salicornia europaea*). Под кустами сарсазана часто наматывается песок, что ведет к образованию своеобразного мелкокучевого микрорельефа.

При понижении грунтовых вод от поверхности, а также появлении песчаного наноса на солончаке появляются *Limonium suffruticosum*, *Nitraria Komarovii*, *Halothamnus subaphilla*, *Artemisia kemrudica*, *Zygophyllum ovigerum*, *Haloxylon aphyllum* и реже *Salsola Richteri*. Кроме них отмечены однолетние маревые: *Climacoptera lanata*, *Suaeda arcuata*, *Salsola incanescens*. Как правило, они встречаются в виде редких экземпляров, но иногда образуют небольшие синузии. Изредка мелкими, сильно угнетенными особями встречаются *Haloxylon aphyllum* и *Tamarix hispida*.

В пределах сарсазановой формации, кроме чистого сарсазанника, нами выявлена климакоптерово-сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum* – *Climacoptera lanata* ass.) и селитрянково-кермеково-сарсазановая (*Halocnemum strobilaceum* – *Limonium suffruticosum* – *Nitraria Komarovii*) ассоциации. Общее проективное покрытие в ассоциациях от 5 до 20%. Типичные сарсазанники обычно одноярусные или двухъярусные сообщества.

Зимой, после заморозков и выщелачивания дубильных веществ, сарсазаны хорошо поедаются верблюдами, а баранами – удовлетворительно.

Солянковые пустыни – группы формаций, состоящие из ксерофильных полукустарничков с сильно редуцированными листьями. В исследованном районе солянковые пустыни представлены кермекowymi формациями (*Limonieta suffruticosae*). В пределах кермековой формации выявлены климакоптеро-кермековая (*Limonio suffruticosi* – *Climacopteretum lanata* ass.) и селитрянково-кермековая (*Limonio suffruticosi* – *Nitrarietum Komarovi* ass.) ассоциации – двуярусные сообщества с проективным покрытием 20-30%.

Для дистанционной геоботанической оценки влияния изменения климата на количественное и качественное состояние галофильной растительности на побережье Каспия были использованы технологии геоинформационных систем для количественного и качественного определения состояния галофильной растительности приморской намывной низменности на восточном побережье Каспия. На основе спектральных характеристик галофильного типа растительности, сформированных в виде спектральной библиотеки в программном пакете ENVI, было определена временная динамика изменения их количественного местоположения при дешифрировании космических снимков восточного побережья Каспия.

Автоматизированное изучение сезонного состояния галофильной растительности проводилось с применением расчетных узкополосных вегетационных индексов:

- для определения пигментного состава вегетирующей растительной клетки использовались: индекс **Clrededge** =  $(R750-800/R695-740) - 1$ , определение содержания хлорофилла «а», «b»; индекс **mCARY** =  $[(R700 - R670) - 0,2(R700 - R550)]/R700/R670$ , для определения содержания каротиноидов; индекс **mARI** =  $[(1/R500-570) - (1/R690-700)] \times RNIR$ , для определения содержания антоцианинов;

- для анализа биохимического состава растительной клетки использовались: индекс **CAI** =  $0,5(R2020 + R2220) - R2100$ , для определения содержания лигнина и целлюлозы; индекс **NDNI** =  $[\log(1/R1510) - \log(1/R1680)] / [\log(1/R1510) + \log(1/R1680)]$ ;

- для определения содержания азота;

- для определения влагообеспеченности растительной клетки использовался узкополосный индекс **NDWI** =  $(R860 - R1240)/(R860 + R1240)$ ;

- для определения стрессовых состояний растительных культур использовался индекс влагообеспеченности растительной клетки **WI** =  $R900/R970$ ;

- для определения степени засоленности почвы территории произрастания галофильной растительности восточного побережья Каспия использовались индексы **SSSI-1**, **SSSI-2**, **SSSI-3**.

Таким образом, методы дистанционного зондирования Земли позволяют определять влияние изменений климата на состояние галофильной растительности и почвы на восточном побережье Каспия.

## **Изменение уровня моря и его влияние на экологические и геоморфологические условия туркменского побережья Каспия**

<sup>1</sup> Г.О. Хамраев, <sup>2</sup> С.К. Вейсов

<sup>1</sup> Туркменский государственный университет им. Махтымкули, Ашхабад, Туркменистан

<sup>2</sup> Национальный институт пустынь, растительного и животного мира Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail:* gapur2013@mail.ru

Как известно, колебания уровня воды морей и океанов вызывают перемещение береговых линий и приводят к изменению геоморфологических процессов и литодинамики береговых зон. Поскольку Каспий на протяжении всей своей истории развивался в переменном режиме, реальный прогноз геоморфологических изменений на трансгрессивной стадии невозможен без знания предыдущего состояния, сложившегося после последнего падения уровня моря. Смена регрессивного режима на трансгрессивный с 1978 года привела к изменению подводного склона берега и, соответственно, геолого-геоморфологических процессов. На месте аккумулятивных берегов начали формироваться денудационные и абразионно-аккумулятивные формы рельефа.

Каспийское море представляет собой уникальный природный объект, имеющий большое хозяйственное и социальное значение как для внутривосточных, так и для межгосударственных связей. Чрезвычайно ценно море и по климатообразующему значению. Оно выравнивает амплитуды температурных колебаний воздуха всего Прикаспийского региона, чем значительно смягчает климат.

Туркменское побережье представлено как абразивными, так и аккумулятивными формами рельефа. Первые характерны для северной части территории – от залива Кара-Богаз-Гол до Красноводской косы, а вторые – в самом Красноводском заливе и к югу от Челекена вплоть до границы с Ираном. Отсюда следует, что повышение уровня моря стимулирует, с одной стороны, размыв крутых берегов и склонов, а с другой – затопление отлогих, способствует поднятию грунтовых вод и заболачиванию низких берегов. Это примеры так называемого пассивного затопления суши и касаются особенно южной части региона с низменным характером прибрежной зоны и мелководьем. Так, в этот период становится ведущим процесс расслоения почв. Совершенно очевидно, что трансгрессия Каспия вызовет изменения и в климатическом режиме побережья. Глубина такого воздействия связана с наиболее подвижными компонентами ландшафта – водной и воздушной массами, с изменением которых может сформироваться новый местный климат.

Для решения существующих и вновь возникающих экологических проблем необходимо провести ряд срочных и долговременных мероприятий: в целях снижения подъема уровня Каспия осуществить пропуск морских вод в бессточные сухие впадины восточного побережья; строительство современных очистительных сооружений и внедрение экологически безвредных технологий по комплексному извлечению полезных веществ на химзаводах, расположенных в регионе.

В связи с этим возникает настоятельная необходимость разработки единой межгосударственной комплексной научной программы по изучению проблем Каспийского моря, поиску прогностических связей между уровнем моря, климатическими, геолого-геофизическими параметрами с использованием современных методов анализа, приборов и оборудования.

Каспийское море должно представлять собой, прежде всего, рыболовно-хозяйственный международный водоем (с преимущественным развитием осетрового хозяйства) и служить интересам настоящих и будущих поколений людей, проживающих на его побережье, а направления его хозяйственного использования должны способствовать сохранению этого водоема как уникального резервата биологического разнообразия планеты.

**Климат и его возможное влияние на численность каспийского тюленя  
в 2020-2021 гг.**

<sup>1</sup> Ф.В. Климов, <sup>1</sup> Е.В. Мурова, <sup>2</sup> С.Т. Ербулеков, <sup>3</sup> Л.К. Сидоров, <sup>3</sup> В.И. Черноок, <sup>3</sup> В.В. Кузнецов

<sup>1</sup> Казахстанское агентство прикладной экологии (КАПЭ), Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> North Caspian Operating Company (NCOC), Атырау, Казахстан

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия

*e-mail: f.klimov@kape.kz*

Каспийский тюлень принадлежит к пагофильной (льдолюбивой) группе тюленей. На льдах в Северном Каспии происходят: щенка, выкармливание детенышей, спаривание и линька. Тюлени собираются по краям больших пластин плоского льда, рядом с естественными полыньями, зазорами между перемещающимися пластинами льда или участками открытой воды.

В 2020 и 2021 гг. в рамках совместной казахстанско-российской Программы (2020-2024 гг.), учеными ВНИРО и КАПЭ был проведен учет каспийского тюленя с использованием мультиспектральной видео- и фотосъемок. Для обработки видео- и фотоинформации использовались современные программные устройства.

Зима 2019/2020 гг. относилась к типу относительно теплых ранних зим, зима 2020-2021 гг. – к умеренно холодным. Учетные полеты были выполнены при хороших погодных условиях, при минимальной площади льдов. В рамках проведенных исследований рассчитаны нижняя и верхняя границы оценки общей численности популяции с использованием данных мультиспектральной авиасъемки ледовых залежек тюленя за 2012, 2020 и 2021 гг.

Таблица 1. Данные учета численности тюленей в 2012, 2020 и 2021 гг.

Метод учета	Численность щенков, тыс. особей		Общая численность популяции, тыс. особей	
	Min	Max	Min	Max
Мультиспектральный авиаучет в 2012 г.	56,00	69,800	268,80	320,000
Мультиспектральный авиаучет в 2020 г.	58,24	72,652	282,32	354,421
Мультиспектральный авиаучет в 2021 г.	62,261	76,100	302,016	369,149

С одной стороны, всеобщее потепление способствовало улучшению условий восстановления кормовой базы и увеличению численности сельдевых видов рыб, в

основном каспийской кильки. Хорошая упитанность каспийского тюленя, отмечаемая в 2020-2021 гг., оказывает положительное влияние на воспроизводство, наблюдается увеличение рождаемости и постепенное увеличение численности в последние 10 лет.

С другой, в зимний период нестабильные погодные условия, резкие потепления и похолодания, штормовые явления приводят к неустойчивому формированию льда, что сказывается на распределении половозрелых самок на ледовом поле и возможном повышенном беспокойстве в периоды минимального ледового поля, и высокой плотности половозрелых самок в периоды щенки. Раннее распаление льда, может приводить к гибели новорожденных щенков, не готовых к постоянному пребыванию в воде.

Таким образом, изменение климата оказывает влияние на популяцию каспийского тюленя в зимний период, дальнейшее потепление может повлиять на процесс воспроизводства и увеличение смертности щенков.

### **Возможность управления дубовыми лесами в Иране с использованием дендроклиматологии**

<sup>1</sup> Ф. Наджафи-Харсини, <sup>2</sup> Р. Абедини, <sup>1</sup> К. Пуртахмаси

<sup>1</sup>Тегеранский университет, Карадж, Иран

*e-mail:* harsini@ut.ac.ir, pourtahmasi@ut.ac.ir

<sup>2</sup>Университет Сари, Сари, Иран

*e-mail:* abedini\_rf@yahoo.com

Ширина колец деревьев зависит от климата среды обитания деревьев и, наконец, регистрируется как серия широких и узких колец на деревьях. Знания об исследовании влияния климата на ширину кольца для изучения нынешнего и прошлого климата с использованием колец роста деревьев называются дендроклиматологией [3, 7]. Климатическая информация, полученная с помощью годовых колец, дает общее представление о том, какой будет погода в прошлом и какой она может быть в будущем. В этом исследовании было изучено влияние температуры и осадков на ежегодный прирост дубов в лесах Загроса.

Для данного исследования были собраны два радиальных керн с каждого из 40 деревьев *Quercus infectoria* и *Quercus libani* леса Загрос, Иран. После подготовки поверхности всех образцов их сначала датировали 10-летними периодами. Ширину колец этих видов мы измерили с помощью программы TsapWin и таблицы LINTAB [6] с точностью до 0,01 мм. Кроме того, перекрестное датирование и стандартизация были выполнены программами TSAP и ARSTAN [2]. Для определения влияния климатических факторов на хронологию был рассчитан коэффициент корреляции регрессии с использованием программы SPSS.

На рис. 1 представлены кривые хронологии изученных видов. У *Q. infectoria* хронология составляет 192 года, начиная с 1818 года и заканчивая 2009 годом. Хронология, полученная для *Q. libani*, составляла 188 лет.

На рис. 2 показано, что у *Q. infectoria* во все месяцы текущего вегетационного периода и перед началом вегетационного периода существует отрицательная корреляция между температурой и шириной радиального кольца. Как показано на рисунке, *Q. libani* более восприимчив к осадкам, чем *Q. infectoria*. Как видно на примере *Q. libani*, влияние осадков на годовые кольца в апреле, мае и ноябре за год до появления всходов является прямым и значительным, а влияние температуры в апреле и июне является обратным и статистически значимым.

Как видно по ширине колец, осадки являются наиболее важным климатическим фактором, влияющим на рост деревьев в теплых и сухих районах [4]. Полученные результаты совпадают с исследованиями других ученых [1, 5].

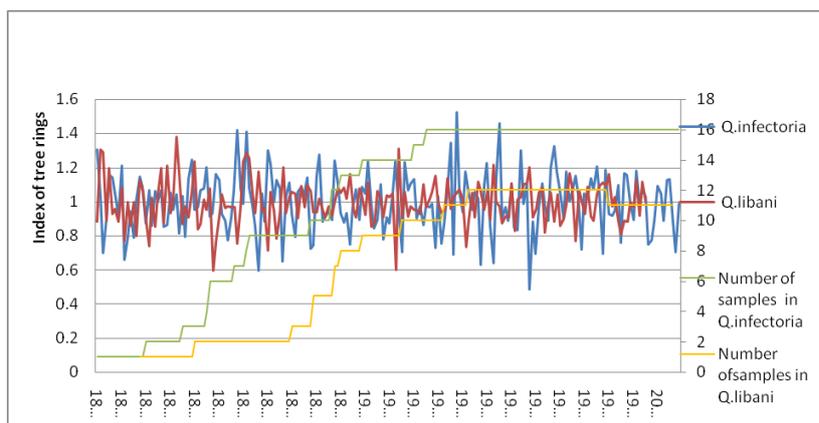


Рис. 1. Хронология изучаемых видов

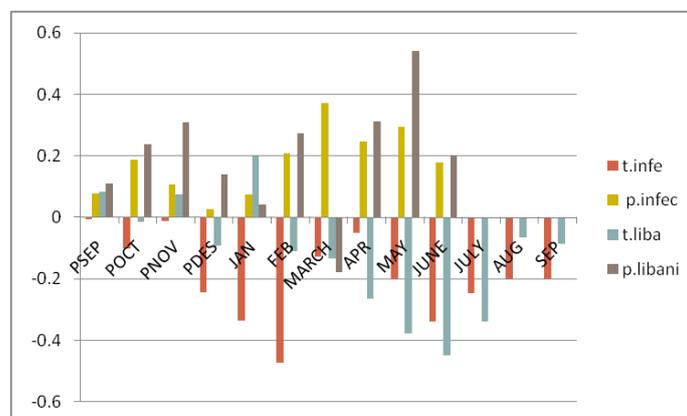


Рис. 2. Корреляция между климатом и хронологией деревьев

Результаты показали, что у обоих видов влияние температуры на годовую скорость радиального роста было отрицательным, а влияние осадков – положительным. Было также отмечено, что *Q. libani* более чувствителен к изменению количества осадков, чем *Q. infectoria*. С другой стороны, количество осадков по отношению к температуре оказывает более значительное влияние на рост дубов, и эти деревья более чувствительны к осадкам, чем к температуре.

Из-за засушливости региона и малого количества осадков в большинстве месяцев вегетационного периода оба изученных вида обладают хорошей стабильностью. Поэтому рекомендуется расширить лесонасаждения этих видов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Arsalani M., Pourtahmasi K., Azizi G., Bräuning A., Mohammadi H. Tree-ring based December – February precipitation reconstruction in the southern Zagros Mountains // Iran. Dendrochronologia. 2018.49. P. 45-56.
- 2 Cook E.R. A Time Series Analysis Approach to Tree-Ring Standardization. PhD dissertation. University of Arizona, Tucson, 1987. 171p.

- 3 Fritts. H.C. Tree ring and climate. London: Academic Press, 1976. 567 p.
- 4 Glock W.S, Aegerter S.R. Rainfall and tree growth in: Kozlowski TT (ed) tree growth. New York: Ronald, 1962. P. 23-55.
- 5 Pourtahmasi K., Poursartip L., Bräuning A., Parsapjough D. Comparison between the radial growth of juniper (*Juniperus polycarpus*) and oak (*Quercus macranthera*) trees in two sides of the Alborz Mountains in Chaharbagh region of Gorgan // Journal of Forest and Wood Products. 2010.62 (2). P. 159-169.
- 6 Rinn F. TSAP. Time series analysis and presentation. Version 3. Reference Manual. 1996. 262 p.
- 7 Schweingruber F.H. Tree ring and environment // Dendroecology. Berne: Paul Haupt Verlag, 1996. 609 p.

## **Продуктивный потенциал топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) на фоне изменения климата в условиях Таджикистана**

*К. Партоев, Х.М. Ахмедов, М. Сафармади*

Центр инновационного развития науки и новых технологий НАН Таджикистана,

Душанбе, Таджикистан

*e-mail:* pkurbonali@mail.ru, ahmedovhakim48@gmail.com, sfarmadi.mirzoali@mail.ru

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – это многолетнее растение. Родиной его считается Северная Америка. Топинамбур завезен в Европу примерно в конце XVII века, а в Россию он был привезен в начале XVIII века [4].

Топинамбур является высокоурожайной культурой. Согласно сообщениям исследователей [3, 5], в ряде стран получают свыше 45.0 т/га урожая клубней этой культуры. В клубнях топинамбура определено до 18-22% сахара, до 2,5% протеина, витамины В и С, а в зеленой массе – до 20-25% сухого вещества. В клубнях содержится инулин, перерабатывающийся в организме животных в легкоусвояемую фруктозу. Агрэкологические факторы оказывают заметное влияние на рост и развитие растений топинамбура. Наряду с этим, ряд исследователей [2, 6] информируют, что характер формирования ряда полигенных признаков этого растения имеет определенную взаимосвязь между собой.

В наших исследованиях в качестве исходного материала использованы семенные клубни разных сортообразцов топинамбура. Исходный материал для исследования получен из Национальной академии наук Таджикистана (Институт ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана), Майкопской опытной станции и Кубанского аграрного университета (Российская Федерация). Полевые научные эксперименты по изучению разных сортообразцов топинамбура провели в 2016-2019 гг.

Опыты проведены в следующих районах республики, расположенных в вертикальной зональности над уровнем моря: Васе – 460; Вахш – 600; Душанбе – 840; Муминабад – 1200; Рашт – 1800; Ляхш – 2000 и Канаск – 2560 м. В зависимости от высоты над уровнем моря количество сортообразцов топинамбура составило до 20 шт. Схема посадки – 70 x 35 см, сроки посадки – апрель – май. Повторность посадки сортообразцов четырехкратная. Все агротехнологические приемы по выращиванию образцов состояли из: подкормки растений азотным (100 кг/га), фосфорным (150 кг/га) и калийным (80 кг/га) удобрениями (в виде действующего вещества), разрыхления между рядами, проведением разовой окучки почвы в рядах посадки. Количество поливов за вегетацию составило пять – семь раз. Фенологические учеты и наблюдения проведены в разные фазы развития топинамбура. Математическая обработка данных провели по [1] и использования программы Microsoft Excel 2007.

Целью исследований являлось изучение особенностей формирования биологической массы топинамбура в зависимости от вертикальной зональности в различных агроэкологических условиях Республики Таджикистана.

Проведенные исследования показали, что на формирование ряда генетических признаков сортообразцов топинамбура оказывают ощутимое влияние такие агроэкологические факторы среды, как зоны выращивания и температура воздуха.

Исследования показали, что общая биологическая масса растений на высоте 2000-2560 м над уровнем моря в 3.7 и 4.8 раза меньше, по сравнению с выращиванием топинамбура в зонах, расположенных на высоте 460 и 600 м над уровнем моря соответственно. При выращивании топинамбура в различных агроэкологических условиях Таджикистана (на высотах от 460 м до 2560 м над уровнем моря) в среднем урожайность клубней составляет 31.9 т/га, а общая биомасса – 91.8 т/га. Следует отметить, что в условиях горной страны (Таджикистан) наиболее подходящими зонами для получения высокого урожая топинамбура являются такие местности по высоте над уровнем моря, как 460, 600, 840 и 1200 м над уровнем моря. Определено, что для получения максимального урожая топинамбура во время вегетации растений сумма эффективных температур должна быть 2280-3760°C. Посредством выращивания топинамбура в различной вертикальной зональности Республики Таджикистана можно получить высокую биологическую массу, что очень важно для продовольственной безопасности и укрепления кормовой базы животноводства в перспективе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 368 с.
2. Партоев К., Сайдалиев Н.Х., Ясинов Ш.М., Садриддинов С. Корреляционная связь между признаками топинамбура // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 36-37.
3. Пасько Н.М. Селекция и семеноводство топинамбура // Селекция и семеноводство овощных культур. Сб. науч. трудов. 2003. Вып. 38. С. 163-171.
4. Шаззо Р.И., Кайшев В.Г., Гиш Екутеч Р.А., Корнена Р.И. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра). Краснодар, 2013. 184 с.
5. Funk R. Einfluss von Beregnung and Qualitätsmerkmale von Topinambur, Arundo donax L. und Miscanthus sinensis Anderss als moglicher Energie und Zellvloserohstoff. Diss. Hohenheim, 1993. 104 p.
6. Somda Z.C., McLaurin W.J., Kays S.J. Jerusalem artichoke growth, development and field storage. II. Carbon and nutrient element allocation and redistribution // Plant Nutrit. 1999. Vol. 22. № 8. P. 1315-1334. DOI: 10.1080/01904169909365715

Перевод с английского

## **Влияние изменения климата на рыбные запасы Иранской части Каспийского моря**

<sup>1</sup> М. Раббаниха, <sup>2</sup> Ф. Овфи, <sup>3</sup> Х. Фазли, <sup>4</sup> А. Пурголами

<sup>1</sup> Иранский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, AREEO,  
Тегеран, Иран

*e-mail:* rab.mahnaz@gmail.com, sillaginid@hotmail.com

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт экологии Каспийского моря, IFSRI, AREEO,  
Сари, Иран

*e-mail:* fazlihasan@gmail.com

<sup>4</sup> Институт аквакультуры внутренних вод, IFSRI, AREEO, Решт, Иран

*e-mail:* pourgholami\_yas@yahoo.com

Изменение климата и его влияние на изменения различных факторов окружающей среды оказывают значительное влияние на рыбные запасы [5]. В этом исследовании мы проанализировали взаимосвязь между некоторыми факторами окружающей среды, включая температуру поверхности моря (SST), хлорофилл «а» поверхностных вод (CH), извлеченный из данных, зарегистрированных спутником MODIS, а также скорость ветра (WS), температуру воздуха (AT), испарение (E) и количество осадков (R) из базы данных Метеорологической организации Ирана с данными об улове рыб на единицу усилия (CPUE) в трех северных провинциях, включая Гилан, Мазандаран и Голестан, которые ежемесячно (1996-2018 гг.) собирала gillnet. Для определения взаимосвязи мы применили Обобщенный линейный регрессионный анализ (GLM), Обобщенную аддитивную модель (GAM), пошаговый регрессионный анализ [3]. Мы находим, что в иранских водах Каспийского моря среднее значение SST составило  $14,14 \pm 5,64$  °C, и наибольшее количество SST было зарегистрировано в Голестане>Мазандаран>Гилан соответственно, среднее значение хлорофилла «а» составило  $1,75 \pm 3,82$  мг/л, а наибольшее значение было найдено в Гилане>Мазандаран>Голестан соответственно, среднее количество осадков составило  $121 \pm 15$  мм и Гилан>Мазандаран>Голестан с самыми высокими значениями соответственно, среднее испарение составило  $45,25 \pm 26,4$ , а самые высокие значения были в Голестане>Мазандаран>Гилан соответственно, средняя температура воздуха составила  $12,38 \pm 4,57$  с самым высоким значением в Голестане>Мазандаран>Гилан, а скорость ветра составила  $9,03 \pm 7,1$  м/с и Мазандаран>Голестан>Гилан с самыми высокими значениями соответственно. Все факторы показали значительную разницу ( $P > 0,05$ ) между тремя северными провинциями (Каспийское море). Количество рыбных запасов в период 1997-2018 годов уменьшилось, а экологические факторы увеличились, хотя (рис. 1, рис. 2) тенденция экологических изменений в провинциях была неодинаковой, и изученные факторы по-разному воздействовали на морские запасы. Но в то же время наиболее эффективными факторами были испарение с

наибольшим эффектом, а затем осадки и температура воды. В дополнение к упомянутым факторам, уровень Каспийского моря также связан с уменьшением запасов кильки, кефали и рутилуса [1,2,4].

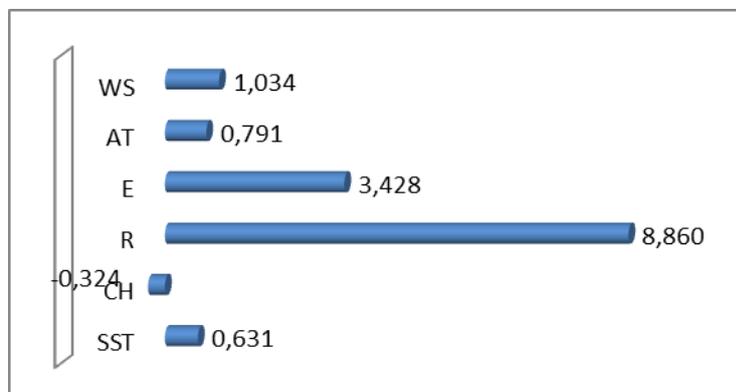


Рис.1. Разница между средним значением экологических факторов за 3-летний период (1996-98 гг.) и (2016-2018 гг.)

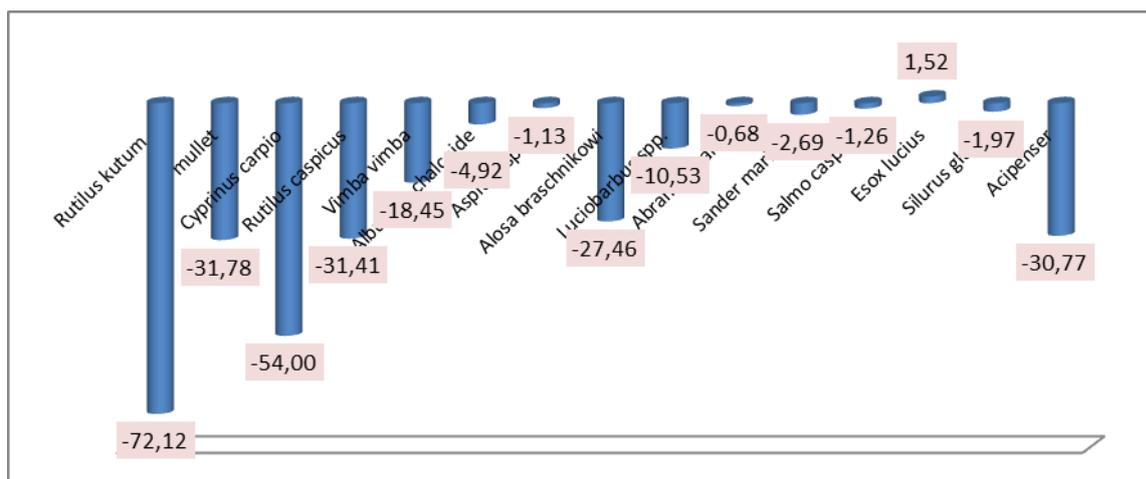


Рис.2. Разница между средним значением CPUE рыб за 3-летний период (1996-98 гг.) и (2016-2018 гг.)

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Fazli H., Daryanbird R., Bandani G.H. Population dynamics, evaluation and management of bone fish deposits in Iranian coasts of Caspian Sea (2017-2018). Caspian Sea Ecology Research Institute. National Fisheries Science Research Institute. 2018.
- 2 Kiabi H.B., Abdoli A., Naderi M. Status of fish fauna in the South Caspian Basin of Iran // Zoology in the Middle East. 1999. 18. P. 57-65.
- 3 R Core Team. A language and environment for statistical computing // R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. <http://www.r-project.org/index.html>.

- 4 Rabbaniha M., Abdolmaleki S., Khidmati K. Environmental parameters affecting the fluctuations of mullet fishing in the Iranian waters of the Caspian Sea Bandar Anzali during 2003-2012 //The third Iranian Conference of Ichthyology, Shiraz University. 2014.
- 5 Sumaila U.R., Cheung W.W.L., Lam V.W.Y., Pauly D., Herrick S. Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. Nature climate change. 2011. 1. P. 449-456. [www.nature.com/natureclimatechange](http://www.nature.com/natureclimatechange).

## **Исследование флоры Прикаспийской пустыни в условиях изменения климата**

*О.Я. Рахманова*

Туркменский государственный университет им. Махтымкули, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: orahmanowa.tdu@gmail.com*

Прикаспийские пустыни характеризуются своеобразной флорой и растительностью. При анализе флоры были исследованы экологические особенности видов, некоторые черты жизненных форм, приуроченность их к определенным типам местообитаний, ландшафтными поясам и растительным группировкам. Во время исследования уделялось внимание некоторым адаптивным признакам растений: колючесть различных органов, формы и способы опыления цветка, а также их окраска.

Климат региона сухой, засушливый, умеренно-континентальный. Одним из основных факторов является расположение и примыкание с запада и юго-запада равнинной территории Западного Туркменистана, с севера – пустыни Каракумы, с юго-востока – более высоких хребтов Юго-Западного Копетдага.

На территории Прикаспийской пустыни насчитывается около 440 видов сосудистых растений, относящихся к 223 родам и 58 семействам. Во флоре региона к доминирующим семействам пустынной зоны относятся семейства маревые (*Chenopodiaceae*), астровые (*Asteraceae*), злаковые (*Poaceae*), бобовые (*Fabaceae*), крестоцветные (*Brassicaceae*) – 40-50% флоры. Следующие 20-30% флоры составляют представители семейства гречишные (*Polygonaceae*), бурачниковые (*Boraginaceae*), лилейные (*Liliaceae*), гребенчиковые (*Tamaricaceae*) и парнолистниковые (*Zygophyllaceae*).

Растительный покров Прикаспийской пустыни отличается бедным флористическим составом растительных сообществ, а также исключительно ксерофильным набором видов. В результате проведенных исследований жизненных форм было выявлено 258 видов однолетних трав, двулетники составили 10 видов, общее количество многолетних трав – 86 видов, полукустарничков – 31, полукустарников – 9, кустарничков – 9, кустарников – 35, а деревьев – 2 вида.

Растительный покров выражен достаточно отчетливо и это в основном полынно-солянковое пустыни с фрагментами низкотравных полусаванных сообществ. Здесь широко распространены группировки из *Zygophyllum atriplicoides*, *Rammus sintenisii*, *Convolvulus fruticosus*, *Haloxylon aphyllum*, *Reamuria fruticosa*, *Salsola arbuscula*, *S. orientalis*. Все виды образуют группировки на большинстве типов местообитаний и занимают доминирующие положения. Здесь же на более выровненных, опустыненных участках встречаются полукустарничковые полины: *Artemisia deserti*, *A. diffusa*, *A. tschernieviana*, *Mausolea eriocarpa*. Солянка закаспийская еще более распространена на засоленных глинистых останцах полуостровов Челекен, Дагада, где составляют основу солянковой растительности. На этих же полуостровах встречаются длительно-вегетирующие однолетние солянки – *Salicornia europea*,

*Climacoptera czelekenica*. Растительность всей прибрежной части состоит из группировок крупных кустарников галофитона – *Halostachys belangerana* (Moq.) Botch., *Reamuria fruticosa* Bunge, *Nitraria schoberi* L., *Tamarix passerinoides* Delile ex Deser.

В сложении растительного покрова полынно-солянковых пустынь весьма важную роль играют *Ephedra intermedia*, *E. distachya*, *Salsola dendroides*, *Reamuria tatarica*, *Dendrostellera olgae*, множество многолетних и однолетних трав, а также эфемеров *Agropiron fragile* (Roth) P. Candargy, *Eremopyrum bonaepartis* (Spreng.) Newski, *Anisantha rubens* (L.) Newski, *Trisetaria cavanillesii* (Trin.) Maire, *Cutandia memphitica* (Spreng) Benth, *Poa bulbosa* L., *Poa sinaica* Stend., *Enneapogon persicus* Boiss., *Eremurus ammophyllus* Vved., *Gagea afghanica* Terr., *Rinopetallum karelinii* Fisch. ex Alexand., *Allium fibrosum* Regel, *Iris longiscapa* Ledeb., *Cressa cretica* L., *Lapula spinocarpos* (Forssk.) Aschers. ex Kuntze, *L. semialata* M. Pop., *Zeziphora tenior* L., *Calendula crasilis* DC., *Acantholepis orientalis* Less. и другие.

Аридность региона характеризуется чрезвычайно суровыми условиями обитания растений, прежде всего высокими максимумами летних температур и достаточно низкими зимними минимумами, а также низкими годовыми суммами осадков. Кроме того, растительный покров региона испытывает сильное антропогенное воздействие, особенно в сухие годы целый ряд растений, такие как *Glaucium oxilobum*, *Cleome turkmena*, *Erysimum kerbabaevii*, *Salsola botchantzevii* развиваются очень слабо и вообще не могут развиваться до генеративных форм, отмирают в результате иссушения, поэтому исчезают из тех или иных территорий на неопределенный срок.

Спорово-пыльцевой анализ флоры прошлых геологических эпох также указывает на изменение климата в исследуемом регионе. Например, в эоценовый период пыльцевой спектр доминирует – 63%, споровый спектр составляет 37%. В этот период появляются первые представители семейства маревых. Флора нижнего миоцена характеризуется богатым и разнообразным набором спор (60%) и небольшим участием вечнозеленых растений (40%). Такие изменения в характере спорово-пыльцевых спектров можно объяснить изменениями растительного покрова, которые, в свою очередь, связаны с колебаниями климата.

Как известно, на территории Центральной Азии в четвертичное время растительность носила в основном аридный характер, но имели место фазы с синхронным периодом оледенений в Европе и обусловленные усилением роли циклонов, проходивших через Средиземное море – Кавказ – Среднюю Азию. Увеличение количества влаги должно было вызвать изменения в растительном покрове, особенно в горных районах, за счет проникновения представителей мезофильных древесно-кустарниковых форм флоры из прилегающих районов. Все эти данные свидетельствуют об изменении климата как в прошлые геологические эпохи, так и в настоящее время.

## **О динамике биоразнообразия туркменского сектора Каспия в зависимости от изменчивости климата**

<sup>1</sup>Э.А. Рустамов, <sup>2</sup>А.А. Щербина, <sup>2</sup>С.Б. Маммедов

<sup>1</sup>Рамсарская региональная инициатива Центральной Азии, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail:* elldaru@mail.ru

<sup>2</sup>Хазарский государственный заповедник, Туркменистан

Анализ биоразнообразия на примере такого важного его компонента, каким являются водно-болотные птицы, на фоне внутривековых климатических изменений осуществлялся на материалах мониторинга Хазарским государственным заповедником (ХГЗ) и Рабочей группой по Рамсарской конвенции в Туркменистане. Мониторинг проводился на акваториях ХГЗ и сопредельных участках побережья (всего 9), которые включены в сеть Ключевых орнитологических территорий (ИВAs) Центральной Азии [8, 10]. В 1971-2021 гг. проводились ежегодные осенне-зимние учеты [3, 4, 9], а в бухте Соймонова на северо-западе Туркменбашинского залива – ежедекадно [11].

В процессе мониторинга нами в Восточном Прикаспии выделены 39 участков (береговых отрезков) по сходству-различию их физиономических признаков (изрезанность берега, характер грунтов, водная и прибрежная растительность) в совокупности с их населением птиц, которые объединены в 4 крупных района [4]. Проведена классификация этих участков, которые типологически были отнесены к одному из 10 типов ВБУ, как местообитаний водоплавающих птиц [7].

Начиная с середины 1970-х гг. глобальные и региональные температуры в Центральной Азии повышались также, как и в Северном полушарии [12]. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в Северной Евразии потепление за 1975-2010 гг. оказалось более существенным по сравнению с глобальным, температура выросла на 1.5 °С, наблюдалось уменьшение осадков в теплое время года. Хотя потепление смазывалось естественной изменчивостью температуры: в отдельные годы в некоторых регионах наблюдались и похолодания. Во многих регионах зимой стало больше дней, характеризующихся оттепелью.

Картина динамики численности водоплавающих птиц на зимовках туркменского побережья Каспия за указанный период, то есть с середины 1970-х гг., в целом коррелировала с изменением численности в гнездовом их ареале в Северной Евразии. Это прослеживается на фоне внутривековой изменчивости климата [6]. По данным указанных авторов, в 1973-1979 гг. тепло-сухой период вызвал в Казахстане и Южной Сибири резкую регрессию озерных экосистем, что во второй половине 1970-х гг. привело к сокращению численности гнездящихся там птиц с 1.8 до 0.9 млн пар [5]. Это вызвало падение их обилия на зимовках Юго-Восточного Каспия, где численность, по нашим данным, в среднем (1977-1980 гг.) не превышала 300 тыс.

особей. На снижении численности не только зимующих, но и гнездящихся на Каспии птиц не могло не сказаться и обмеление заливов, например, Михайловского и Балханского в результате падения уровня моря, который в 1977 г. достиг максимально низкой отметки (-29 м).

В 1980-2005 гг., в прохладно-влажный период, на фоне увеличивающегося обводнения в гнездовых областях Центральной Азии происходил заметный рост численности ряда видов, например, серого гуся, лысухи, огаря, пеганки, лебедя-шипуна и др. [5, 6]. Однако все возрастающее воздействие антропогенного фактора подавляло природную тенденцию роста численности [1, 2], и общее обилие водоплавающих птиц продолжало сокращаться не только в гнездовом ареале, но и на зимовках. Наблюдалось снижение общего обилия зимующих птиц в период 1996-2004 гг.: от 427.147 до 147.119 особей [4]. Росту численности не могла способствовать даже начавшаяся в 1978 г. трансгрессия Каспия, приведшая к возрождению заливов и бухт к началу 1990-х годов.

Тепло-сухой период 2006-2025 гг. Рост среднегодовой температуры происходит не только во внутренних частях центрально-азиатского региона, но и в Прикаспии. Общее количество осадков за первые 10 лет снизилось более чем на 5%. Весной их количество сократилось в южных пустынных районах, увеличившись в то же время в северных степных. В летний период количество осадков снизилось в равнинных частях, но увеличилось в горных. В южных частях, опять же в Туркменистане, происходило уменьшение количества осадков. Зимой здесь также регистрировалось их уменьшение. Показатели температуры воздуха летом значительно повысились в Каспийском регионе, как и по всему Туркменистану. Осенью тенденция повышения температур наблюдалась по всей Центральной Азии, в том числе в районе Каспия и в северных частях региона [12].

По данным учета, в январе 2007 г. уже наметилась тенденция роста численности (общий максимум 439779 особей) [9]. Экологические условия для птиц в заливах ХГЗ улучшились. Обводнились мелководья и сухие участки в Михайловском, Балханском (полуостров Дагада стал островом) и Туркменском заливах. Несмотря на это, биоразнообразие, в частности птицы, испытывает депрессию, поскольку находится под воздействием природных, в частности климатических, и антропогенных, в первую очередь добыча углеводородов и браконьерство, факторов. Сохраняется тенденция сокращения численности птиц, в том числе и водоплавающих [4].

Кроме сказанного выше, авторами проанализированы тенденции изменения ареалов у отдельных видов птиц (объем тезисов не позволяет привести конкретные наблюдения), которые реагировали на происходящие современные климатические изменения в Восточно-Каспийском коридоре, под которым мы подразумеваем территории Мешед-мессиринского и Закаспийского (С-3 Туркменистан) экорегионов сети Эконет Центральной Азии (<https://wwf.ru/regions/central-asia/razrabotka-regionalnoy-seti-ekoneta/>).

Таким образом, благодаря многолетнему мониторингу наиболее важных компонентов биоразнообразия на восточном побережье Каспийского моря, удалось выяснить, как отразилось изменение климата на их распространении и численности.

Однако надо точно знать, каковы истинные причины изменения современного климата на Каспии. Без этого мы рискуем принять неправильные решения, которые не только не улучшат и без того сложную ситуацию, но и нанесут непоправимый вред.

В 2007 г. в рамках Рамсарской конвенции и Конвенции о биоразнообразии разработана совместная программа и установлены инновационные стандарты сотрудничества, а также действует межгосударственное Соглашение АЕВА, к которому Туркменистан присоединился в 2020 г.

После ратификации Туркменистаном Рамсарской конвенции (03.03.2009) в результате номинации Туркменбашинского залива в ХГЗ как Рамсарского угодья, а также занесение Южно-Челекенского и Туркменского (вместе с о. Огурджалы) заливов и участка южного отделения ХГЗ в теневой список конвенции, как ВБУ международного значения, работы по мониторингу биологических компонентов туркменского сектора Каспия усилились и особенно это касалось водно-болотных птиц. Этому способствовала также номинация трех акваторий в рамках EBSA согласно требованиям КБР ([www.cbd.int](http://www.cbd.int)).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров В.И. Численность водоплавающих птиц на гнездовье и ее изменение на озерах Тоболо-Ишимской степи // Современное состояние ресурсов водоплавающих птиц. М., 1984. С. 119-121.
2. Ауэзов Э.М., Виноградов В.Г. Летний учет водоплавающих птиц на водоемах Тургайской депрессии // Изучение птиц СССР, их охрана и рациональное использование. Тез. докл. IX Всес. орнит. конф., Ч.1. Л.: Наука, 1986. С. 46-47.
3. Васильев В.И., Рустамов Э.А., Караваев А.А., Гаузер М.Е., Белоусова А.В., Милютина М.Л. Динамика численности водоплавающих птиц в Хазарском (Красноводском) заповеднике и на сопредельных участках Восточного Каспия (по учетам 1971-2005 гг.) // Актуальные вопросы в области охраны природной среды. Инф. сб. ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы». М., 2008. С.80-93.
4. Васильев В.И., Рустамов Э.А., Милютина М.Л., Белоусова А.В. Многолетний мониторинг зимовок водно-болотных птиц на ключевых орнитологических территориях каспийского побережья // Исследования по ключевым орнит. территориям в Казахстане и Средней Азии. Вып.2. Ашхабад. 2007. С. 20-32.
5. Кривенко В.Г. Водоплавающие птицы и их охрана. М.: Агропромиздат, 1991. 271 с.
6. Кривенко В.Г., Виноградов В.Г. Птицы водной среды и ритмы климата Северной Евразии. М.: Наука, 2008. 588 с.
7. Рустамов Э.А., Милютина М.Л., Белоусова А.В. Классификация водно-болотных угодий Восточного Каспия // Мат-лы научно-практич. конф., посв. 75-летию Хазарского гос. заповедника. Ашхабад-Туркменбаши. 2008. С. 129-134.

8. Рустамов Э.А., Скляренко С.Л., Кашкаров Р.Д., Бромбахер М. Программа «Ключевые орнитологические территории» в странах Средней Азии (2004-2010 гг.) // Орнитология в Северной Евразии. Мат-лы XIII Межд. орнит. конф. Северной Евразии. Тез. докл. ОГПУ. 2010. С. 273.
9. Рустамов Э.А., Щербина А.А., Гуйчгельдыев О.Т. Новый этап в изучении зимовок водно-болотных птиц Юго-Восточного Каспия // Исследования по ключевым орнит. территориям в Казахстане и Средней Азии. Вып.2. Ашхабад. 2007. С. 33-38.
10. Рустамов Э.А., Уэлш Д.Р., Бромбахер М. Ключевые орнитологические территории Туркменистана. – Ашхабад: МОП, 2009.197 с.
11. Щербина А.А. О зимовке водоплавающих птиц в бухте Соймонова // XIV Межд. орнит. конф. Северной Евразии (Алматы, 18-24 августа 2015 г.). Т.1. Тезисы. Алматы. 2015. С. 556-558.
12. Climate change and security in Central Asia. Regional assessment. 2016. – Bishkek: 60 p.

## **Состояние биоразнообразия в Каспии**

*Н.М. Танырбердиева, М.Я. Агаева*

Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А.Ниязова,  
Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: merjenagayewa97@gmail.com*

Каспийское море – крупнейший на Земле замкнутый водоем. Биоразнообразие Каспийского региона обусловлено историей и географической изоляцией. Здесь обитают более 300 эндемичных видов птиц, таких как полевой воробей, майна, горлицы, крачки, чернобрюхий рябок, чеграва, сизая чайка, хохотунья, фламинго и т.д. Прибрежные водно-болотные угодья, включая временные и постоянные озера, многие из которых соленые, привлекают различные виды птиц. В течение года птицы в больших количествах встречаются на Каспии и вокруг него, во время миграций их число значительно возрастает, птицы занимают обширные дельты, мелководья и водно-болотные угодья. Из-за повышения температуры в Каспии за последние десятилетия некоторые перелетные птицы превратились в оседлых, на пример, фламинго. На Каспии имеется 101 вид рыб, некоторые из них являются анадромными и мигрируют на нерест в реки. Среди них наиболее известными являются 6 видов и подвидов осетровых, которые веками являлись ценным хозяйственным ресурсом, а также вобла, сазан, судак, карп, кефаль, килька, кутум, лещ, лосось, щука, окунь.

Растительность Прикаспия представлена 503 видами из 59 семейств, но доминируют Chenopodiaceae, Asteraceae, Poaceae, Caryophyllaceae. На пустынных пастбищах Туркменбашинского этрапа полукустарники представлены кемрудской полынью, кевреиком, эфемерой однолетней или многолетними травами – илаком, буйнузом.

Каспийский тюлень, эндемик и единственный обитающий на Каспии вид млекопитающих. Этим эндемикам свойственно мигрировать из северной части моря в южную. В холодное время года основная популяция находится в Северном Каспии, а в теплое время года тюлени мигрируют в Средний и Южный Каспий. В начале XX века их численность составляла 1 миллион особей, начиная с 1989 года численность особей начала сокращаться. В настоящее время сотрудники Национального института пустынь, растительного и животного мира Министерства охраны природы Туркменистана по результатам проведенных полевых экспедиций оценили численность тюленя всего в 1 тысячу особей.

Одними из основных негативных факторов, ведущих к сокращению вида, являются загрязнение моря и потепление климата. Повышенный уровень сельскохозяйственных химикатов, в частности, ДДТ и эндосульфановых пестицидов, является серьезной проблемой для Каспия, так как найдена высокая концентрация хлорорганических соединений в тканях многих погибших особей. А это показывает, что применение запрещенного химиката ДДТ продолжается.

Вывод: некоторые виды биоразнообразия находятся под угрозой исчезновения в связи с чрезмерным уменьшением количества нерестилищ, в основном из-за строительства дамб на крупных реках, аварий при транспортировке нефти в Каспии. Большинство особей перелетных птиц из-за потепления климата теперь расположились в заливе Туркмен.

Предложения: со стороны 5 государств должно строго контролироваться использование сельскохозяйственных химикатов, а также строго запретить ДДТ, умеренно строить дамбы, регулировать маршруты транспортировки нефти и регулярно проверять их на аварийное состояние. Поскольку систематический мониторинг биоразнообразия не проводится, внести его в государственные программы и опубликовать в экологическом журнале или доступном для всех сайте.

Перевод с английского

## **Прогнозируемое падение уровня Каспийского моря к 2100 году и его разрушительные последствия**

<sup>1</sup> Ф.П. Весселинг, <sup>2</sup> М. Латтуада, <sup>3</sup> Т. Вильке, <sup>4</sup> Ш. Нандини-Вайсс, <sup>5</sup> М. Пранге,  
<sup>6</sup> М.В. Винарский, <sup>7</sup> команда проекта PRIDE

<sup>1</sup> Центр биоразнообразия Натуралис, Лейден, Нидерланды

*e-mail:* frank.wesseling@naturalis.nl

<sup>2</sup> Технический университет Брауншвейга, Брауншвейг, Германия

*e-mail:* m.lattuada87@gmail.com

<sup>3</sup> Юстус Либих Университет, Гиссен, Германия

*e-mail:* Том.Wilke@allzool.bio.uni-giessen.de

<sup>4</sup> Университет Гамбурга, Гамбург, Германия

*e-mail:* sri.durgesh.nandini-weiss@uni-hamburg.de

<sup>5</sup> Университет Бремена, Бремен, Германия

*e-mail:* mprange@marum.de

<sup>6</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail:* radix.vinarski@gmail.com

<sup>7</sup>*e-mail:* www.pontocaspian.eu

Уровень Каспийского моря (УКМ) в 2100 году, по прогнозам, будет на 9-18 м ниже, чем сегодня, в соответствии с различными сценариями RCP [4] из-за повышения температуры. Это будет иметь серьезные последствия [5]. Быстрое и глубокое изменение УКМ является неотъемлемой чертой экосистемы Каспия и очень часто происходило в прошлом. Однако сегодня уникальные каспийские экосистемы и биота уже находятся в серьезном упадке, а море и окружающие его прибрежные районы населены миллионами людей, прямо или косвенно зависящих от Каспийского моря. Мы изучаем последствия прогнозов УКМ для экосистем, биоразнообразия, экономики, а также воздействия на общество в 2100 году. В этом докладе мы представляем результаты нашей программы ITN-PRIDE (Факторы роста и исчезновения биоразнообразия Понтокаспийского региона), чтобы обрисовать влияние прогнозируемых изменений УКМ и определить, какие важные знания нам необходимы для понимания и смягчения последствий предстоящего каспийского кризиса.

Различные зоны обитания, вероятно, будут очень сильно затронуты прогнозируемым снижением УКМ, при этом неглубокие места обитания сильно сократятся. Шельфовые районы станут сухими, и большой очень продуктивный бассейн Северного Каспия и шельф Восточного Каспия исчезнут [5]. Важные природные заповедники прибрежных водно-болотных угодий (залив Горган, Иран; Кызыл-

Агаш, Азербайджан; дельта Волги, Россия-Казахстан) исчезнут в их нынешнем виде. Уникальные каспийские виды уже находятся под огромным давлением [3]. Виды, обитающие на мелководных шельфовых участках (включая каспийского тюленя, 99% мест размножения которого приходится на морской лед северного шельфа), сталкиваются с угрозой исчезновения. Эндемичные горячие точки Каспийского моря, которые сегодня вынуждены погружаться на глубину от 30 до 60 м [2], могут оказаться еще более зажатыми между инвазивными видами в мелководных зонах и гипоксическими зонами, которые, как мы ожидаем, будут расширяться из более глубоких бассейнов. Кроме того, снижение УКМ приведет к сильному сокращению оптимальной эндемичной каспийской зоны обитания из-за батиметрической конфигурации Каспийского моря [5]. Сочетание повышенных температур, исчезновения морского зимнего льда и перенаправления питательной нагрузки прямо в более глубокие Средние и Южные бассейны вполне может привести к сильному увеличению аноксии в бассейне.

Прогнозируемое падение уровня моря будет иметь последствия для экономической деятельности на Каспийском море, такой как рыболовство и разведка нефти/газа. Это также повлияет на прибрежную инфраструктуру. Гавани могут устареть и нуждаться в постоянном перемещении, судоходные пути должны быть углублены, а курорты потеряют выход к морю из-за продолжающегося снижения УКМ. Это также затронет низменности, окружающие Каспийское море. При перепадах уровня УКМ порядка 9-18 м мы можем ожидать быстрого и сильного рассечения крупных рек, впадающих в Каспийское море (например, Волга, Урал, Кура). Это приведет к снижению уровня грунтовых вод в бассейнах рек, что непосредственно скажется на сельском хозяйстве и водопользовании в регионе, который уже испытывает серьезную нехватку воды.

В настоящее время нам не хватает ключевой информации для определения траекторий УКМ и конкретных последствий, необходимых для смягчения последствий. Осведомленность о предстоящем кризисе в пострадавших сообществах является низкой. Модели климата и водного баланса потребуют дополнительной точности, чтобы сделать прогноз УКМ более точным [1]. Нам нужно знать разнообразие и распределение (эндемичных) горячих точек биоразнообразия, чтобы знать, как именно они будут затронуты. Нам нужен анализ того, как будут затронуты различные виды экосистемных функций и каковы будут экономические и социальные издержки. Каспийское море, его уникальная биота и общества уязвимы к неблагоприятным последствиям серьезного снижения УКМ. Своей работой мы стремимся повысить осведомленность и инициировать последующие исследования и действия по преодолению предстоящих кризисов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Koriche S.A., Singarayer J.S., CLoke H.L. The fate of the Caspian Sea under projected climate change and water extraction during the 21st century // Environmental Research. 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1af5>.
2. Lattuada M., Albrecht C., Wesselingh F.P., Klinkenbuß D., Vinarski M.V., Kijashko P., Raes N., Wilke T. Endemic Caspian Sea mollusks in hotspot and non-hotspot areas

differentially affected by anthropogenic pressures // Journal of Great Lakes Research. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.12.007>.

3. Lattuada M., Albrecht C., Wilke T. Differential impact of anthropogenic pressures on Caspian Sea ecoregions // Mar. Poll. Bull. 2019. 142. P. 274–281.

4. Nandini-Weiss S. D., Prange M., Arpe K., Merkel U., Schulz M. Past and future impact of the winter North Atlantic Oscillation in the Caspian Sea catchment area // Int. J. Climatol. 2020. 40. P. 2717–2731.

5. Prange M., Wilke T., Wesselingh F.P. The other side of sea level change // Communications Earth and Environment. 2020. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>

## **Секция 4**

# **Адаптация к изменению климата в регионе Каспийского моря**

## **Международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря»**

27-28 октября 2021 г.

### **СЕКЦИЯ 4**

#### **Вступительное слово**

**М.Г. Атаджанов**

Четвертая секция Научной конференции по изменению климата в регионе Каспийского моря посвящена теме «Адаптация к изменению климата в регионе Каспийского моря». Доклады, представленные на секции, посвящены различным аспектам этой темы.

Каспийское море имеет ряд особенностей, в свете которых глобальные проблемы более, чем актуальны для него. К этим особенностям можно отнести бессточность водоема, особый правовой статус, колебания уровня моря, зависимость водного баланса от климатических условий на территории, на порядок превышающей акваторию, высокая сейсмичность, активные геодинамические процессы и пр. Кроме того, три из пяти прибрежных государств, являются внутриконтинентальными – Азербайджан, Казахстан и Туркменистан.

Среди факторов риска и угроз морю можно выделить антропогенную нагрузку на море в результате судоходства, нефтяных работ, использования биологических ресурсов, урбанизации, сельскохозяйственного использования прибрежных земельных ресурсов. Нерациональное, неустойчивое использование богатств моря и побережья приводит к загрязнению моря из наземных источников (реки, сточные воды населенных пунктов, сельское хозяйство в прибрежных зонах, грунтовые воды) и при освоении минеральных ресурсов дна. Свой вклад в загрязнение вносят также и природные факторы – увеличение частоты и интенсивности экстремальных гидрометеорологических событий, грязевые вулканы, флюиды и пр., следствием чего становится деградация морских и прибрежных экосистем. Перечисленные факторы и их последствия наносят урон населению, экосистемам и экономике прибрежных районов, они взаимосвязаны и взаимообусловлены, и изменение климата, имея глобальный характер, обостряет имеющиеся проблемы.

Необходимо отметить внимание, уделяемое проблемам Каспия прибрежными государствами. Для решения проблем моря прибрежными государствами развивается научное сотрудничество, совершенствуется региональная система оценки состояния морской среды, организовывается региональный мониторинг и

обмен информацией, профессиональная подготовка, обучение и повышение потенциала.

Региональное сотрудничество в природоохранной сфере развивается, и важнейшим его условием является создание правовых рамок взаимодействия на море. В настоящее время подписано 16 пятисторонних договоров, ряд из которых связан с защитой природной среды Каспия - Конвенция о правовом статусе Каспийского моря, Рамочная конвенция по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранская конвенция) и четыре протокола к ней, соглашения в сферах безопасности, гидрометеорологии, сохранения и рационального использования водных биологических ресурсов, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Каспийском море. Разрабатываемые в настоящее время соглашение в сфере морских научных исследований и протокол по мониторингу, оценке и обмену информацией к Тегеранской конвенции, несомненно, послужат углублению Каспийского сотрудничества и сохранению здоровья моря.

Прикаспийскими государствами в настоящее время разрабатываются и совершенствуются национальные планы по адаптации, частью которых является Каспийский регион. Целью этих планов, в конечном счете, является здоровье моря, его экосистем, прибрежных зон и населения, обеспечение устойчивости экономики прибрежных государств, экологическая безопасность моря в самом широком смысле.

Существующие постоянно действующие механизмы Каспийского сотрудничества - Секретариат Тегеранской конвенции, Координационный комитет по гидрометеорологии Каспийского моря (КАСПКОМ), Комиссия по сохранению, рациональному использованию водных биологических ресурсов и управлению их совместными запасами, Рабочая группа высокого уровня по вопросам Каспийского моря тесно взаимодействуют, и это взаимодействие имеет серьезный потенциал к росту, как и взаимодействие со специализированными международными организациями.

Перевод с английского

**Урбанизация и адаптация к изменению климата в прибрежной зоне Каспийского моря: проблемы и решения, с акцентом на Иран и Азербайджан\***

<sup>1</sup> М. Рахмани, <sup>2</sup> К. Шефер, <sup>3</sup> М. Бенько, <sup>2</sup> С. Кижаккетоттам, <sup>4</sup> С. Банерджи

<sup>1</sup> Школа городского планирования, Тегеранский университет, Тегеран, Иран

*e-mail:* rahmani13@ut.ac.ir

<sup>2</sup> Программа Организации Объединенных Наций по населенным пунктам (ООН-Хабитат)

*e-mail:* katja.schaefer@un.org, cerin.kizhakkethottam@un.org

<sup>3</sup> Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Тегеранская Конвенция

*e-mail:* mateusz.benko@un.org

<sup>4</sup> Международная организация по миграции

*e-mail:* sbanerjee@iom.int

Каспийское море – крупнейший в мире внутренний водоем, находящийся под влиянием геологических, гидроклиматических, антропогенных и пространственных факторов [2]. Поскольку оно является бессточным водоемом, ему присущи значительные колебания уровня воды (рис. 1).



Рис. 1. Колебания уровня Каспийского моря 1900-2017 гг. (по данным [2])

Серьезные риски изменения климата, такие как колебания уровня моря, усилившиеся наводнения и сильные засухи, все более негативно сказываются на сообществах, живущих на берегах Каспийского моря. Одновременно ускорилась урбанизация, особенно в Азербайджанской Республике и Исламской Республике Иран, что способствует утрате биоразнообразия, усилению опустынивания, сокращению сельскохозяйственных угодий и поверхностей фильтрации воды, создает дополнительные риски для продовольственной и водной безопасности. Это

\* Этот документ основан на концептуальной записке и стадии предложения для проекта «Урбанизация и адаптация к изменению климата в регионе Каспийского моря», который готовится учреждениями ООН (ООН-Хабитат, ЮНЕП и МОМ) для Адаптационного фонда

оказывает влияние на несколько секторов экономики стран, включая рыболовство, транспорт и строительную промышленность, а также на тех, кто работает в этих секторах и живет в городских районах. В этой работе изучаются траектории урбанизации и изменения климата в районе Каспийского моря с акцентом на Иран и Азербайджан, чтобы определить некоторые решения для усиления адаптации и уменьшения неблагоприятных последствий изменения климата. С этой целью изучаются тенденции изменения климатических факторов, таких как колебания уровня моря, температура воды, экстремальные погодные явления, а также биоразнообразие и расширения урбанизации (численность населения, экономика и застроенная территория) с течением времени.

Полученные результаты выявили существенную корреляцию между последствиями изменения климата и траекторией урбанизации в регионе Каспийского моря. Во-первых, мы установили несколько критериев для выделения изменений климата, таких как температура воды, осадки и испарение. Результаты показали, что количество осадков уменьшилось на всей территории Азербайджанской Республики в период с 1991 по 2010 год [3], и прогнозы, основанные на всех сценариях модели глобальной циркуляции (GCM), показывают увеличение среднемесячной температуры до 1,58°C. Кроме того, повышение температуры приведет к потерям воды в результате испарения и нехватке воды в сельскохозяйственном секторе при одновременном увеличении объема оросительной воды на 10-15% [3]. Каспийское море пострадало от глобального потепления в последней четверти XX века, когда температура воздуха над водой повысилась на 0,7-0,8°C, а температура поверхностного слоя воды – на 0,4-0,5°C [1]. Увеличение испарения вследствие потепления, а также совокупное воздействие осадков и изменений речного стока – все это в равной степени способствовало сокращению объемов морской воды.

С другой стороны, урбанизация на берегах Каспийского моря в последние годы усилилась, что создает дополнительную нагрузку на наземную и морскую среду. Плотность населения на берегах Каспийского моря неодинакова, причем большинство сосредоточено в крупных городских центрах Азербайджанской Республики, Российской Федерации и Исламской Республики Иран (рис. 2).

Другие серьезные последствия включают потерю или деградацию пахотных земель, образование бытовых отходов и сточных вод, потери биоразнообразия и сельскохозяйственных земель в результате опустынивания и быстрое освоение земельных ресурсов в результате разрастания городов. Незапланированная урбанизация также связана с сокращением сельскохозяйственных площадей, что влияет на продовольственную безопасность, и снижением фильтрации воды, что приводит к снижению поверхностного стока и нехватке подземных вод. По оценкам, среднегодовой ущерб от наводнений в регионе составит 18-25 миллионов долларов США только для инфраструктуры. Внезапные наводнения представляют значительную угрозу для населения Азербайджанской Республики и Исламской Республики Иран.

В результате, по-видимому, существует значительная связь между ростом урбанизации и климатическими тенденциями, согласно их совместному анализу. По мере роста урбанизации климатические последствия становятся все более

серьезными. Другими словами, сочетание меняющегося климата с ростом урбанизации усугубляет негативные последствия климатических изменений.



Рис. 2. Численность населения в регионе Каспийского моря по городам и административным единицам [2]

В заключение отметим, что, хотя современные модели изменения климата не могут надежно предсказывать изменения уровня моря и других компонентов, мы можем дать некоторые рекомендации по улучшению адаптации людей, которые там живут. Эти меры подразделяются на четыре типа: меры политики/стратегии, инфраструктурные меры, меры по сохранению биоразнообразия и меры по обеспечению средств к существованию. Все эти мероприятия были одобрены национальными компетентными органами и, как ожидается, будут выполнены на восьми пилотных территориях в Иране и Азербайджане, которые были выбраны с учетом различных аспектов уязвимости живущих там сообществ (социально-экономических, экологических, физических и инфраструктурных и т.д.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. CASPCOM (Coordination Committee on Hydrometeorology of the Caspian Sea). Annual Report. 2017.
2. Teheran Convention Caspian Sea – State of Environment. 2019.
3. UNFCCC. UN Climate Change Annual Report, 2017.

## **Методические основы стратегий адаптации к изменениям климата в регионах России**

*Е.М. Акентьева*

Главная геофизическая обсерватория (ГГО), Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: eakentyeva@mail.ru*

Происходящие изменения климатических условий, проявляющиеся как в увеличении повторяемости и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений, так и в медленных изменениях климатических характеристик, воздействуют практически на все сферы жизнедеятельности человека. Поэтому в последнее десятилетие мировое сообщество уделяет все большее внимание методам разработки адаптационных мер к изменению и изменчивости климата и разработке национальных планов адаптации. Национальные адаптационные планы, разработанные в различных государствах, значительно отличаются друг от друга в зависимости от уровня развития стран, приоритетов государственной политики в области изменения климата, степени подверженности экономики и социальной сферы к погодно-климатическим рискам. Анализ этих планов позволяет выделить пять наиболее общих основных стадий адаптационного процесса:

- 1) определение потребностей в адаптации (анализ современных и будущих изменений климата и сопутствующих погодно-климатических рисков, установление допустимых значений рисков с учетом экономических и социальных факторов, оценка адаптационного потенциала и т.д.);
- 2) определение комплекса мер для различных вариантов адаптации;
- 3) оценка этих вариантов на основе экономических оценок;
- 4) планирование и реализация выбранных адаптационных мер на федеральном уровне и на уровне субъектов федерации;
- 5) мониторинг и оценка хода реализации и результатов адаптации, внесение необходимых коррективов в осуществляемые меры [1].

Вопросам качественной и количественной оценки погодно-климатических рисков для экономики и социальной сферы на территории России, методам управления этими рисками и разработке адаптационных мер к изменению климата посвящено большое число работ, например, Второй оценочный доклад Росгидромета (2014), монография Н.В. Кобышевой и др. «Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере» (2015), Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации (2017), Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета) (2020), Методическое руководство по оценке и управлению погодно-климатическими рисками и разработке адаптационных мер с экономическим обоснованием их применения в

хозяйственной и социальной сферах (2020). В декабре 2019 г. Правительством РФ был принят Национальный план мероприятий первого этапа адаптации на период до 2022 года. Этот план включает 29 мероприятий и состоит из 3 крупных блоков: федерального, отраслевого и регионального. Росгидромет принимает активное участие в реализации 21 мероприятия этого плана.

С использованием прогнозной информации о будущем климате, полученной на основе расчетов с региональной климатической моделью ГГО для Средней Азии, была проведена оценка влияния будущих климатических изменений на сельское хозяйство аридных территорий и даны рекомендации о возможных адаптационных мерах в агросекторе [2]. Анализ будущих изменений агроклиматических показателей к середине XXI века позволил сделать принципиальные выводы относительно региональных последствий глобального потепления для агроклиматических условий произрастания ключевых сельскохозяйственных культур Средней Азии – хлопчатника, яровой пшеницы и ярового ячменя. Как показали расчеты, граница возможного выращивания, например, хлопчатника продвинется к северу на расстояние до 500 км (рис. 1).

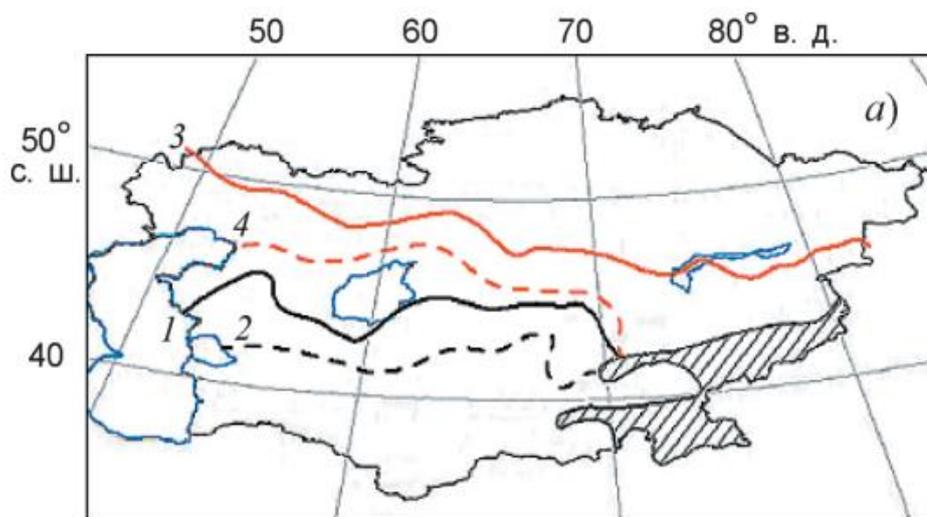


Рис. 1. Обеспеченность термическими ресурсами хлопчатника за базовый период 1979-2009 гг. (1, 2) и будущий период 2050-2059 гг. (3, 4) в среднем по ансамблю расчетов

*Примечание: 1 и 3 - для скороспелых сортов, 2 и 4 для поздних сортов.*

При оценке термических ресурсов за основу были взяты суммы активных и эффективных температур за вегетационный период, даты перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ , продолжительность безморозного периода. Основная мера адаптации в этом случае будет заключаться в обеспечении оптимальных норм орошения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва. 2014.

<https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52>

2. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. Санкт-Петербург: Кириллица, 2015. 216 с.
3. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с. <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>
4. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург, Саратов: Амирит, 2020. 120 с. <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2020/dokladRGM.pdf>
5. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург, Саратов: Амирит, 2020. 120 с.
6. Школьник И.М., Г.Б. Пигольцина, С.В. Ефимов. Влияние глобального потепления на сельское хозяйство в засушливых регионах Евразии: ансамблевый прогноз на базе региональной климатической модели на середину XXI века // Метеорология и гидрология. 2019. №8. С. 57-68.

**Вклад международных проектов в области изменений климата в регионе Каспийского моря в разработку и реализацию Тегеранской конвенции**

<sup>1</sup> А.М. Амирханов, <sup>2</sup> Т.П. Бутылина, <sup>3</sup> Н.Б. Третьякова

<sup>1</sup> Росприроднадзор, национальный координатор по экологическим проблемам Каспийского моря 1995-2012 гг. Москва, Россия

<sup>2</sup> ЦМП-Национальный координационный орган по экологическим проблемам Каспийского моря 1995-2012 гг., Национальный офис по взаимосвязи с Тегеранской конвенцией, Москва, Россия

*e-mail: okpd@bk.ru*

<sup>3</sup> Минприроды России, национальный координатор Тегеранской конвенции, Москва, Россия

Проблема изменения климата была включена в политическую повестку дня международного сообщества в середине 1980-х годов. В 1988 г. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и ЮНЕП учредили Международную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК). В 1990 г. МГЭИК выпустила первый доклад, в котором подтвердила угрозу изменения климата.

В соответствии с Резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН разработана Рамочная конвенция по изменению климата, которая была принята на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро и вступила в силу 21 марта 1994 г.

20-24 мая 1994 г. в Москве в рамках Программы региональных морей ЮНЕП состоялось **первое заседание Рабочей группы ЮНЕП по последствиям изменений климата в регионе Каспийского моря (Рабочая группа ЮНЕП по климату, 1994 г.)** с участием официальных представителей пяти прикаспийских государств. Это мероприятие стало истоком формирования Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря – Тегеранской конвенции [5].

В ходе этого заседания Рабочей группы ЮНЕП по климату (1994) стало очевидным, что рассмотрение отдельных аспектов охраны окружающей среды Каспия невозможно в отрыве от более широкого анализа экологической ситуации в регионе Каспийского моря.

В Итоговом документе первого заседания Рабочей группы ЮНЕП по климату (1994) отмечено, что данная Рабочая группа была создана:

- для рассмотрения вопросов потенциального воздействия климатических изменений и подъема уровня моря на окружающую среду моря и прибрежных районов,
- для разработки рекомендаций правительствам прикаспийских государств в определении соответствующих вариантов и мер реагирования, которые могут смягчить отрицательные последствия ожидаемых воздействий климатических изменений.

Были определены факторы, определяющие или усугубляющие чрезвычайные ситуации из-за последствий изменений климата в регионе Каспийского моря, как следствие повышения уровня моря:

- изменение водного режима (гидродинамика);
- изменение гидрохимического режима в устьях рек и на мелководьях;
- загрязнение моря;
- изменение процессов осадконакопления;
- изменение природных и социально-экономических условий прибрежных территорий.

Несмотря на «узкое» название Рабочей группы ЮНЕП по климату, привязывающее ее деятельность к решению «климатических» проблем региона, основными ее задачами были определены:

- оценка ситуации, связанной с воздействием подъема уровня моря и изменений климата на окружающую среду региона (берегов и акватории), а также на социально-экономические структуры;
- разработка рекомендаций для правительственных структур государств региона в определении оптимальной согласованной политики и соответствующих практических мер по ослаблению выявленных негативных последствий климатических изменений.

В рекомендациях, принятых на этом совещании, было предложено рассмотреть в рамках ЮНЕП возможность разработки правового механизма регионального сотрудничества прикаспийских государств по защите морской среды Каспийского моря, что явилось отправной точкой разработки Тегеранской конвенции.

Для этого одной из основных задач Рабочей группы ЮНЕП по климату была признана подготовка **Регионального обзорного документа по последствиям изменений климата в регионе Каспийского моря** в 1997 г. [6] (Региональный обзор по климату), который должен был базироваться на национальных докладах стран региона.

В Региональном обзоре по климату [6] представлена историческая информация по изменению уровня Каспийского моря на основе археологических данных, исторических документов, и данных инструментальных наблюдений, выявлены наиболее уязвимые экосистемы и участки, сформулированы основные экологические проблемы и социально-экономические последствия, возникающие в связи с изменением уровня Каспийского моря.

К числу приоритетных направлений межгосударственного и международного сотрудничества в регионе Каспийского моря были отнесены:

- организация комплексного управления береговой зоной, как зоной повышенного экологического риска в условиях колебаний уровня Каспийского моря и долгосрочный прогноз таких колебаний;
- проведение совместных научных исследований по смягчению последствий колебания уровня Каспийского моря;
- организации на единой методической основе системы экологического мониторинга в регионе;

- согласование правил рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов региона, в первую очередь, водных и биологических ресурсов Каспийского моря и сохранение биоразнообразия;
- борьба с опустыниванием, предотвращение деградации земель и экосистем региона.

В рамках Регионального обзора по климату [6] были сформулированы идеологические и методологические подходы, которые в дальнейшем легли в основу разработки положений статей Тегеранской конвенции:

- Каспийское море представляет собой единый, географически и экологически системно-целостный объект, а значительные колебания его уровня, являясь характерным свойством этого замкнутого водоема, способствовали формированию его уникального биологического и ландшафтного разнообразия, и особо ценных биологических ресурсов [2];
- изменения водного баланса и уровня Каспийского моря, в основном, определяются изменениями климата в его бассейне [1];
- уровень Каспийского моря является результатом действия большого числа природных и техногенных процессов и включает в себя колебания притока речной воды, испарения с поверхности акватории и осадков на нее, изъятие части водного стока, поступление с речным притоком наносов, тектонические движения земной коры, плотностные изменения морской воды и т.д.;
- вследствие признания экологической целостности Каспийского моря любое воздействие на морскую среду Каспия, где бы оно ни произошло, может рассматриваться как трансграничное;
- эффективным управлением сложной экологической системой Каспийского моря может быть только комплексное управление на основе регионального сотрудничества стран региона.

На основе рекомендаций Рабочей группы ЮНЕП по климату и Регионального обзора по климату с 1995 г. под эгидой ЮНЕП (первая встреча экспертов официально назначенных правительствами прикаспийских государств, Женева, декабрь 1995 г.) началась деятельность по разработке основополагающего правового регионального инструмента – Тегеранской конвенции, устанавливающей общие принципы и институциональный механизм для сотрудничества прикаспийских государств в области охраны морской среды Каспийского моря с учетом специфических особенностей региона, юридических прецедентов, моделей и опыта, накопленных на мировом и региональном уровнях, в особенности опыта ЮНЕП. При этом конкретные вопросы было предложено согласовать в рамках отдельных протоколов, которые могут быть заключены на более позднем этапе.

Организационно-финансовая поддержка деятельности по разработке Тегеранской конвенции осуществлялась международными организациями через международные проекты ЮНЕП, ПРООН, ГЭФ и др.

С 1998 г. основой международного природоохранного сотрудничества в регионе Каспийского моря становится **Каспийская экологическая программа (КЭП)** – это группа международных проектов ЮНЕП, ПРООН, ЕС-ТАСИС, осуществляемых в

сотрудничестве всех пяти прикаспийских государств и международных организаций в области устойчивого развития и управления окружающей средой Каспия.

КЭП по сути являлась системой организационных мероприятий, позволяющих определить для каспийских стран алгоритм совместных действий в целях решения экологических проблем Каспия.

Управление КЭП осуществлялось через Руководящий комитет (РК) Национальных координаторов, Координационное бюро программы (КБП) и национальные межсекторальные координационные органы (МКО) в странах.

В 2000 г. встреча РК приняла решение о формировании институционального механизма в прикаспийских государствах (Административно-консультативной группы - МАГИКА) из представителей прикаспийских стран для повышения эффективности деятельности КЭП, который в дальнейшем в рамках Тегеранской конвенции был трансформирован в институт Национальных офисов по взаимосвязи с Конвенцией (НОВК).

Основная деятельность КЭП выполнялась силами экспертов и консультантов прикаспийских государств в рамках Каспийских региональных тематических центров (КРТЦ).

Проблематика климатических изменений в регионе Каспийского моря, связанная с их влиянием на прибрежные местообитания и деградацию ландшафта, с ущербом прибрежной инфраструктуре в результате колебаний уровня моря и др., была одним из важных тематических направлений деятельности КЭП в рамках соответствующих КРТЦ, расположенных в странах региона:

- Республика Казахстан, Алма-Ата – *КРТЦ по колебанию уровня моря*. Приоритетными направлениями деятельности этого КРТЦ являлись поддержка соответствующих национальных институтов в прикаспийских странах по восстановлению и модернизации сети гидрометеорологических наблюдений; разработка мер по адаптации к колебаниям уровня и оценка влияния таких колебаний на социально-экономические условия прибрежных территорий;
- Республика Казахстан, Атырау – *КРТЦ по сохранению биоразнообразия*. Деятельность этого КРТЦ была связана с изучением существующих угроз биоразнообразию, включая колебания уровня Каспия, с сохранением биоразнообразия видов, обитающих в Каспийском море, в том числе, редких и исчезающих видов;
- Туркменистан, Ашхабад – *КРТЦ по борьбе с опустыниванием и деградацией прибрежных земель*. Главной целью этого КРТЦ являлась оценка влияния процессов опустынивания на социально-экономическое развитие прибрежных территорий;
- Исламская Республика Иран, Тегеран – *КРТЦ по комплексному управлению прибрежной зоной*. Основной целью этого КРТЦ являлось пространственное планирование и управление прибрежными и морскими зонами с учетом колебания уровня Каспийского моря, подготовка странами береговых профилей.

Разработка и согласование Тегеранской конвенции стали одним из основных итогов осуществления широкомасштабной КЭП на основе деятельности этих КРТЦ,

подготовленные материалы явились основой для формулирования ряда статей Конвенции и ее протоколов.

**Первая фаза деятельности КЭП (1998-2002 гг.), осуществлявшаяся в рамках проектов ЮНЕП, ПРООН/ГЭФ, ТАСИС, Европейской комиссии и Всемирного банка включала:**

- деятельность по созданию необходимых институциональных механизмов взаимодействия;
- проведение **Трансграничного диагностического анализа (ТДА)**;
- разработку регионального **Стратегического плана действий (СПД)** и подготовку ряда пилотных проектов.

Важным итоговым документом в рамках осуществления первой фазы КЭП являлся ТДА, который включал обзор состояния окружающей среды Каспийского моря, основные выявленные проблемы и вопросы, перечень целевых показателей качества окружающей среды (ЦПКОС) и анализ причинно-следственных связей.

В этом, подготовленном при участии экспертов всех прикаспийских государств, документе выделены приоритетные проблемы, которые связаны, в том числе, с климатическими изменениями:

### **1. Деграция береговых ландшафтов и разрушение прибрежных местообитаний: трансграничная проблема.**

*Формулировка проблемы:* Ряд природных и антропогенных факторов приводит к разрушению берегового ландшафта и местообитаний. Среди природных факторов – изменения климата, изменения уровня моря (штормовые нагонные явления и долгосрочные изменения).

*Анализ:* заинтересованные стороны рассматривают эту проблему как имеющую *средний или низкий приоритет*. Проблема имеет как природные причины (изменения уровня моря и землетрясения), так и антропогенные (опустынивание). Есть связь с биоразнообразием и потерей ареалов, вызванной вмешательством человека. Нехватка регионального и интегрированного планирования является главной причиной проблемы; для улучшения ситуации требуется многосекторальный подход.

### **2. Повреждение прибрежной инфраструктуры и культурно-бытовых объектов: слабо трансграничная проблема.**

*Формулировка проблемы:* Изменение уровня моря воздействует на береговую инфраструктуру и культурно-бытовые объекты. При снижении уровня морские конструкции становятся непригодными к употреблению (причалы, доки и др.). При повышении уровня моря возможно затопление ранее сухих территорий, что разрушает различные виды инфраструктуры и вызывает загрязнение там, где затоплены загрязненные земли. Ветровые или штормовые нагоны вызывают значительные наводнения и оказывают воздействие на прибрежные регионы. Неэффективность планирования в прибрежной зоне без учета колебаний уровня

моря. Опустынивание может подтолкнуть урбанизацию ближе к воде, тем самым еще больше увеличивая нагрузку на прибрежную инфраструктуру.

*Анализ:* Повреждение прибрежной инфраструктуры и культурно-бытовых объектов в основном связано с долгосрочными изменениями уровня моря, сгонно-нагонными явлениями и опустыниванием. Заинтересованные стороны рассматривали этот вопрос *как имеющий низкую или среднюю приоритетность*. Для разрешения подобных проблем необходимо усовершенствованное прибрежное планирование и межсекторальный обмен. Большое значение имеет планирование адаптации к колебаниям уровня моря.

Одновременно с ТДА был разработан **Стратегический план действий Каспийского моря**, в котором изложены принципы согласованного управления природоохранными мероприятиями; отмечены проблемы комплексного управления окружающей средой Каспийского моря; установлены согласованные на региональном уровне Целевые Показатели Качества Окружающей Среды (ЦПКОС) по приоритетным экологическим проблемам в трансграничном контексте.

Завершение начальной фазы КЭП совпало с подписанием Тегеранской конвенции 2003 г., содействие в формировании которой было оказано на первом этапе КЭП через организационную поддержку ряда совещаний представителей прикаспийских государств по согласованию положений статей Тегеранской конвенции.

Вторая фаза КЭП в форме проекта ГЭФ/ПРООН **«Реализация Тегеранской конвенции и Плана действий по защите окружающей среды Каспийского моря, Фаза II (КЭП-СПД)» (2003-2007 гг.)** в контексте рассматриваемой проблематики климатических изменений в регионе Каспийского моря представляет особый интерес, так как важным компонентом деятельности в рамках этого проекта была разработка Протокола о сохранении биологического разнообразия к Тегеранской конвенции (Ашхабадский протокол) [4]. Представители прикаспийских государств согласовали включение в протокол ряд положений, связанных с оценкой влияния колебаний уровня Каспийского моря на морскую и прибрежную экосистемы и учетом естественной динамики прибрежных экосистем, связанной с колебаниями уровня моря (пункт а статьи 12 Ашхабадского протокола) и др.

В рамках проекта ГЭФ/ПРООН второй фазы КЭП в национальном докладе России **«Состояние и сохранение биологического и ландшафтного разнообразия Прикаспийского региона»**, подготовленного Ю.Г. Пузаченко и др. [3], был представлен подробный анализ факторов, определяющих биологическое и ландшафтное разнообразие региона, проанализированы на основе статистического анализа ряды палеогеографических данных о колебаниях уровня Каспия, выявлены соответствующие закономерности для такого рода процессов, сделан вывод, что эти колебания в существенной степени определяют природу и важнейшие характерные черты биологического и ландшафтного разнообразия. При этом характерная для региона высокая динамичность ландшафтно-экологических систем интерпретирована как главный фактор формирования уникальной биоресурсной продуктивности Каспийского бассейна.

В докладе был представлен ряд положений, представляющих интерес в контексте климатической проблематики.

Колебания уровня Каспия безусловно влияют на численность популяций различных видов и их пространственное размещение, но само по себе ландшафтное и биологическое разнообразие как в акватории, так и на суше во многом поддерживается именно этими колебаниями. Колебания уровня постоянно выводят систему из области локального равновесия, способствуют сохранению в конкретный момент времени подавленных видов. При колебаниях уровня моря какие-либо типы местообитаний практически не исчезают, а лишь перемещаются в пространстве. Сообщества, сложенные эврибионтными видами, быстро восстанавливаются в новых условиях. Экосистемы Каспия в полной мере адаптированы к разномасштабным изменениям его уровня.

Повышение уровня Каспия отрицательно сказывается на населении водоплавающих и околоводных птиц, вызывая гибель их гнезд, трансформацию условий обитания, ухудшение кормовых и гнездовых качеств местообитаний. Все это приводит, в частности, к снижению продуктивности водно-болотных угодий дельты Волги, в т. ч. имеющих международное значение в качестве местообитания водоплавающих птиц, переселению части обитающих здесь животных в другие местообитания.

Говоря о положительном влиянии подъема уровня на биоразнообразие, следует отметить улучшение условий нагула рыб, увеличение площадей нерестилищ в Каспии, усиление водообмена между отдельными частями моря, расширения опресненной буферной зоны и повышение потенциальной продуктивности в Северном Каспии.

В докладе отмечено, что колебания уровня Каспия в наибольшей степени сказываются на дельтовых и авандельтовых биотопах, существенно трансформируя условия существования водных организмов.

В подготовленном А. Филипповым и др., докладе **«Инвентаризация прибрежных территорий Каспийского моря и выявление участков, представляющих особую важность и/или чувствительных к воздействию»** [7], представлены результаты количественной оценки прибрежных и морских местообитаний Каспийского моря и разработан предварительный перечень прикаспийских местообитаний, включающий информацию по экологической чувствительности, доминирующим угрозам, в т.ч. колебаниям уровня моря.

В сотрудничестве с Всемирным центром мониторинга и охраны окружающей среды ЮНЕП были созданы точные количественные карты экологически уязвимых зон Каспия, разработаны руководства по защите и восстановлению экологически уязвимых зон, разработан план управления адаптацией прибрежных лагун к колебаниям уровня моря, имеющих важное значение для биоразнообразия.

**Третья фаза КЭП (2007-2012 гг.)** осуществлялась при поддержке проекта ГЭФ/ПРООН **«Каспийское море: восстановление рыбных запасов» (проект КаспЭко)**, который состоял из двух основных компонентов: Компонент 1 «Управление водными биоресурсами Каспийского моря на основе экосистемного подхода», и Компонент 2 «Поддержка деятельности Тегеранской конвенции» после вступления Тегеранской конвенции в силу.

В рамках Компонента 1 был проведен комплексный анализ оценок по биоразнообразию всего Каспийского региона, экспертами Р.П. Ходоревской и Б.Н. Морозовым подготовлен **«Обзор экосистемы и биоразнообразия Каспийского моря»** [8] с целью выявления полного спектра каспийского биоразнообразия – видов, местообитаний, экосистем, их количества, состояния и местоположения. Данная работа была основана на проведенных ранее в рамках КЭП обзорах и оценках национальных и региональных баз данных, а также на данных по биоразнообразию и загрязняющим веществам, полученным в результате исследований, проведенных нефтяными компаниями.

В этом обзоре [8] продолжен анализ информации по воздействию климатических изменений на состояние биоразнообразия Каспия, представленный в работе [3], в частности на состояние биоресурсов. Для формирования биоресурсов моря большое значение имеет состояние его уровня, амплитуда колебаний. Такие колебания уровня моря коренным образом изменяют экологические условия развития биоценозов в устьевых областях рек, так как высокая рыбопродуктивность Каспийского моря связана с ежегодным притоком речной воды, с которой поступают органические и неорганические питательные вещества, изменяются и продукционные свойства самого моря, особенно его мелководной северной части.

В обзоре [8] на основе анализа многолетних данных, характеризующих экосистему и биоресурсы Волго-Каспийского бассейна в условиях изменяющегося водного режима рек и моря, приводится информация о том, что критической для экосистемы и биоресурсов Северного Каспия является отметка уровня моря -28,5 м БС, а понижение уровня до -29,0 м БС и более рассматривается как катастрофическое.

В вышеупомянутом обзоре [8] перечислены последствия изменений уровня моря, которые приводят к глубоким преобразованиям береговой зоны Каспия, изменениям условий размещения многочисленных видов гнездящихся птиц, ареалов нагула многих видов рыб, колебаниям солености, а также изменениям влияния уровня грунтовых вод на прилегающие территории и т.п. Представлена информация по образованию новых островов при снижении уровня моря, например, острова Малый Жемчужный в Северном Каспии. Этот остров первоначально сформировался во время последней регрессии Каспия 50-х – 70-х годов XX века. В ходе современной морской трансгрессии этот остров сохранился благодаря активизации литодинамических процессов на относительно приглубых участках акватории рядом с ним. Остров Малый Жемчужный стал излюбленным местом гнездования многих водоплавающих птиц, на этом острове также появились и обширные лежбища каспийских тюленей. Отмечается, что учет потенциальных колебаний уровня Каспия также имеет большое значение в отношении обеспечения нормального функционирования некоторых особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и сохранения природоохранной роли вдольбереговой водоохранной зоны. В частности, определение мористой границы водно-болотного угодья «Дельта Волги» должно учитывать вероятность падения уровня Каспийского моря. Повторяемость и периодичность этих преобразований позволяет считать биоту Каспия весьма адаптированной к ним.

Одним из важных мероприятий проекта КаспЭко ГЭФ/ПРООН в третьей фазе КЭП была деятельность давшая начало процессу разработки и формированию программы мониторинга окружающей среды Каспийского моря (ПМОС), разработка которой была продолжена в рамках Тегеранской конвенции. Работа по данному мероприятию основана на проекте ТАСИС «Caspian MAP». В рамках третьей фазы КЭП была подготовлена версия проекта ПМОС в части гидрометеорологического мониторинга.

Итогом деятельности в рамках третьей фазы КЭП в области изменений климата в регионе Каспийского моря стало проведение в Астрахани 19-20 октября 2010 г. в рамках сотрудничества Координационного комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (КАСПКОМ) и КЭП международной научной конференции «Изменения климата и водного баланса в Каспийском регионе», которая подтвердила необходимость развития сотрудничества КАСПКОМ и КЭП и дальнейших углубленных научных исследований в области изменений климата и водного баланса для защиты морской среды Каспийского моря.

Кроме указанных выше проектов ЮНЕП, проектов КЭП, в 2008-2012 гг. осуществлялся ряд международных проектов ЮНЕП/ГЭФ, ПРООН/ГЭФ на национальном уровне, включавших рассмотрение проблематики последствий изменения климата в регионе Каспийского моря и повышения его уровня:

-проект Россия-ЮНЕП/ГЭФ **«Самооценка потребностей национального потенциала для управления глобальной окружающей средой – Российская Федерация»;**

- проект Россия-ПРООН/ГЭФ **«Укрепление морских и прибрежных ООПТ России».**

Проект Россия-ЮНЕП/ГЭФ «Самооценка потребностей национального потенциала для управления глобальной окружающей средой – Российская Федерация» был связан на примере модельного региона – Каспия с разработкой подходов и механизмов к синергии трех конвенций ООН: Конвенции о биологическом разнообразии, Конвенции по борьбе с опустыниванием и Рамочной конвенции об изменении климата.

Главным итогом деятельности проекта явилась разработка Плана действий по наращиванию национального потенциала реализации конвенций Рио (далее – План действий).

В ходе подготовки Плана действий были выявлены приоритетные мероприятия, такие как, например, проведение оценки глобального и регионального воздействия изменения климата на стратегию социально-экономического развития региона Каспия.

Проект Россия-ПРООН/ГЭФ «Укрепление морских и прибрежных ООПТ России» способствовал эффективности управления системы морских и прибрежных ООПТ РФ, включая ООПТ региона Каспия в меняющихся климатических условиях, которые действуют совокупно с разнообразными антропогенными факторами, модифицируя их воздействие на морские и прибрежные экосистемы, часто делая его еще более разрушительным.

Аналитический обзор итогов деятельности международных проектов, включающих проблематику изменений климата в регионе Каспийского моря (проекты ЮНЕП, проекты ПРООН/ГЭФ и др. в рамках широкомасштабной Каспийской экологической программы), показал, что международные проекты внесли существенный вклад в разработку и согласование прикаспийскими государствами тематических направлений статей Тегеранской конвенции, включая статью 16 Конвенции «Колебания уровня Каспийского моря».

Материалы (доклады, обзоры, рекомендации), подготовленные в рамках этих проектов, в том числе по проблематике изменений климата, актуальны и могут быть использованы в деятельности по реализации Тегеранской конвенции.

Рекомендации, принятые на первом заседании Рабочей группы ЮНЕП по последствиям изменений климата в регионе Каспийского моря (Москва, 1994 г.) стали основой для разработки Тегеранской конвенции как правового механизма регионального сотрудничества прикаспийских государств по защите морской среды Каспийского моря и комплексному управлению прибрежной окружающей средой.

Положения Тегеранской конвенции предусматривают необходимость дальнейшего изучения и получение информации о колебании уровня Каспийского моря и влиянии таких колебаний на морскую и прибрежные экосистемы на основе информации о гидрологическом режиме и динамике экосистемы Каспийского моря (пункт h статьи 20 Конвенции).

Оценка влияния колебаний уровня Каспийского моря на морскую и прибрежную экосистемы и учет естественной динамики прибрежных экосистем, связанной с колебаниями уровня моря (пункт a статья 12 Ашхабадского протокола), необходимы для разработки эффективных методов предотвращения, снижения и контроля загрязнения морской среды Каспийского моря (статья 20 Конвенции).

Долговременные колебания уровня моря, сгонно-нагонные явления, являющиеся природными факторами риска для прибрежных районов Каспийского моря, оказывают негативное воздействие на население и инфраструктуру прибрежных районов (пункт 1 статья 10 Московского протокола) и требуют разработки прикаспийскими государствами соответствующих согласованных мер и процедур по смягчению последствий колебаний уровня Каспийского моря (статья 16 Конвенции).

Статья 15 Тегеранской конвенции «Управление сушей, находящейся под воздействием близости моря», предусматривает принятие необходимых мер Сторонами Конвенции по разработке и выполнению национальных стратегий по планированию и управлению сушей, находящейся под воздействием близости моря, которые должны быть основаны на данных мониторинга для регулирования антропогенных воздействий на состояние прибрежных экосистем, учитывать уникальность его биоразнообразия, коммерческую значимость биоресурсов, необходимость приспособления прибрежных социально-хозяйственных комплексов к осцилляциям природных условий, включая колебания уровня.

Постоянный учет колебания уровня Каспия для обеспечения экологического каркаса прибрежных территорий является важной рекомендуемой мерой для экологически устойчивого развития прибрежных территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / Под ред. Е.С. Нестерова. М.: Триада ЛТД, 2016. 378 с.
2. Морозов Б.Н., Абдурахманов Г.М. Оценка и наращивание сохранения биологического разнообразия Каспия для решения национальных и трансграничных экологических проблем // Юг России: экология, развитие. 2009. №9. С. 18-29.
3. Национальный доклад Российской Федерации «Состояние и сохранение биологического и ландшафтного разнообразия Прикаспийского региона» (подготовлен Ю.Г. Пузаченко и др.). Москва, 2002.
4. Протокол о сохранении биологического разнообразия Тегеранской конвенции (Ашхабадский протокол), 2014.
5. Рамочная конвенция по защите морской среды Каспийского моря, 2003.
6. Региональный обзорный документ «Последствия изменения климата в регионе Каспийского моря» / Под редакцией П.И. Каплина. ЮНЕП-Женева, 1997.
7. Региональный доклад «Инвентаризация прибрежных территорий Каспийского моря и выявление участков, представляющих особую важность и/или чувствительных к воздействию» (подготовлен А. Филипповым). 2005.
8. Региональный обзор экосистемы и биоразнообразия Каспийского моря» (подготовлен Р.П. Ходоревской и Б.Н. Морозовым). 2010.

## **Подготовка специалистов по мониторингу прибрежных экосистем**

*Ш.К. Аширмурадова, Ш.К. Дурдыева*

Туркменский государственный университет им. Махтымкули, Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: sheker71@mail.ru, shirin-merv@mail.ru*

В Туркменистане приоритетными секторами для адаптации к изменению климата являются: здоровье населения, сельское и водное хозяйства, прибрежная зона Каспийского моря, естественные экосистемы: флора, фауна, почвенные и земельные ресурсы. Туркменистан совместно с прикаспийскими странами на протяжении многих лет активно участвовал в Каспийской Экологической Программе (КЭП), закономерным результатом которой стало подписание в ноябре 2003 года Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранской конвенции).

Каспийское море и прибрежный регион Туркменистана играют важную роль в устойчивом развитии страны. Проблема прибрежных экосистем Каспийского моря в условиях изменения климата требует регулярного и детального мониторинга. Для оценки и управления информацией используются инструменты дистанционного зондирования и геопространственных технологий, которые применяются организациями для постоянного улучшения состояния окружающей среды прибрежного региона.

Подготовка кадров по этому направлению является главной задачей вузов страны. В Туркменском государственном университете им. Махтымкули готовятся специалисты, владеющие навыками изучения экологического состояния различных регионов страны и регулирования процессов изменения природных экосистем, в том числе и в Каспийском регионе.

Наш университет входит в консорциум проекта GEOCLIC (новые курсы по геопространственной инженерии для адаптации к изменению климата прибрежных экосистем) программы Erasmus+. Проект направлен на разработку специальных образовательных программ в вузах для подготовки специалистов управления и инженерии прибрежной зоны.

Проект стремится модернизировать учебные планы по геопространственным технологиям с целью обеспечения экологической безопасности прибрежных экосистем Каспийского моря в условиях изменения климата, с использованием новых технологий GEONETCast, GIS Software-ILWIS и технологии дистанционного зондирования и моделирования посредством обновления существующих учебных программ.

В настоящее время имеется недостаток кадрового потенциала, специалистов, обладающих компетенциями и навыками для понимания, преобразования и

интерпретации спутниковых данных, а также для анализа этих данных и принятия решений, касающихся защиты окружающей среды.

Специалисты по информационным технологиям, метеорологи, экологи, биологи, картографы и другие будут обучены методам и инструментам улучшения экологического состояния региона, овладеют пространственными технологиями и методами мониторинга прибрежных и водно-болотных угодий.

Текущее состояние учебных планов, направленных на управление и мониторинг экосистем необходимо адаптировать и усовершенствовать в соответствии с новыми изменениями в регионе. Экологический менеджмент направлен на обеспечение защиты экосистем для будущих поколений. Выпускники должны получить достаточные знания в области цифровой обработки изображений, анализа больших данных, моделирования процессов и управления окружающей средой, оптической и гиперспектральной обработки данных дистанционного зондирования, алгоритмов компьютерного зрения, ГИС и других технологий. Университеты должны быть заинтересованы в сотрудничестве с организациями, связанными с наблюдением за изменением климата в регионе для расширения содержания учебных программ с учетом потребностей партнеров. Решение этих задач затронет и региональный аспект, где появятся новые возможности для сотрудничества между университетами и предприятиями в обмене знаниями и образовательными ресурсами. Внедряющиеся курсы в данном направлении по наиболее быстро развивающимся наукам, позволят подготовить специалистов, владеющих навыками исследовательской деятельности в условиях изменения климата.

Перевод с английского

## **Готов ли Азербайджан решать проблемы изменения климата?**

*А. Байрамов*

Университет Гронингена/Лейденский университет, Нидерланды

*e-mail: a.bayramov@rug.nl*

В настоящее время научные исследования и освещение в средствах массовой информации международной энергетической политики в Азербайджане в подавляющем большинстве случаев сосредоточены на добыче нефти и газа в силу их определяющего значения на традиционных рынках углеводородов. Несмотря на то, что стратегические аспекты нефтегазовой отрасли хорошо изучены, все еще существует большая неопределенность в отношении того, как возобновляемые источники энергии повлияют на энергетическую устойчивость Азербайджана. Настоящая статья имеет целью умножить количество литературы по энергетической геополитике на Южном Кавказе, а также привлечь внимание к сектору возобновляемых источников энергии в Азербайджане, который все еще находится в стадии становления.

Во всем мире использование возобновляемых источников энергии быстро развивается из-за растущих проблем, связанных с изменением климата, а также благодаря значительным экономическим инвестициям и развитию стратегий диверсификации. Несмотря на то, что нефть по-прежнему занимает наибольшую долю в энергобалансе (33,1%), доля как природного газа, так и возобновляемых источников энергии выросла до рекордных максимумов в 24,2% и 5,0% в 2019 году соответственно (BP, 2020). Возобновляемые источники энергии в настоящее время уже обогнали атомные, которые составляют всего 4,3% энергетического баланса. В последнее время страны со значительными запасами нефти и природного газа, такие как Нигерия и Катар, также сосредоточились на развитии своего потенциала возобновляемых источников энергии. Эта тенденция вызвана не только заботой об окружающей среде, но и экономическими требованиями. Курс на развитие возобновляемых источников энергии наблюдается практически во всех богатых нефтью странах, в том числе и в Азербайджане. Так, например, правительство Азербайджана инициировало ряд структурных изменений с целью привлечения инвестиций на рынке возобновляемых источников энергии. Эти инициативы включают в себя несколько проектов законодательных актов по повышению энергоэффективности, таких как «Использование возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии» и «Эффективное использование энергетических ресурсов и энергоэффективность» (IEA, 2020).

Традиционные страны-поставщики нефти, такие как Саудовская Аравия, Иран и Россия, которые исторически пользовались геополитическим влиянием благодаря тому, что поставляли ископаемые виды топлива, скорее всего, столкнутся с сокращением их глобального присутствия и воздействия, если не смогут перестроить экономику ради новой энергетической эры. Азербайджан может

столкнуться с трудностями в адаптации к миру, все больше использующему возобновляемые источники энергии. Экономика Азербайджана менее масштабна и диверсифицирована, чем у некоторых ближневосточных производителей нефти. Поскольку нефтегазовая рента является жизненно важной составляющей государственного бюджета, на долю которой приходится около 90% налоговых поступлений, в Азербайджане просто нет конкурентоспособных отраслей промышленности, кроме ископаемого топлива. Снижение доходов от экспорта негативно скажется на перспективах экономического роста Азербайджана и национальном бюджете.

В связи с этим, представляется необходимым устойчивое развитие энергетики в Азербайджане путем перехода на возобновляемые источники энергии. С этой целью следует сначала определить мотивацию и стимулы, благодаря которым небольшая страна, богатая нефтью, будет стремиться развивать возобновляемую энергетику. Кто мог бы продвигать возобновляемую энергетику в Азербайджане и какими будут последствия. Является ли изменение климата серьезной проблемой в области стабильности и безопасности в регионе Каспийского моря? Как определяется и понимается климатическая безопасность в Азербайджане? Кто способствует изменению климата в Азербайджане и каковы последствия изменения? Как низкие цены на нефть и Covid-19 влияют на развитие возобновляемых источников энергии в Азербайджане? Эти вопросы — в центре нашего дальнейшего исследования.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. BP (2020). Statistical review of world energy 2020. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
2. IEA (2020). Azerbaijan Energy Profile: Sustainable Development. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/azerbaijan-energy-profile/sustainable-development>.

## **Управление водными ресурсами Нижней Волги в условиях климатических изменений**

<sup>1</sup> М.В. Болгов, <sup>1</sup> А.Л. Бубер, <sup>2</sup> О.В. Горелиц, <sup>2</sup> И.В. Землянов

<sup>1</sup> Институт водных проблем РАН, Москва

*e-mail:* bolgovmv@mail.ru

<sup>2</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, Москва

*e-mail:* gorelits@mail.ru

Нижняя Волга представляет собой уникальный природный комплекс, для которого гидрологический режим является определяющим фактором существования в условиях аридного климата. Изменения гидрологического режима, происходящие, в том числе, и под влиянием климатических изменений, обуславливают динамику основных элементов уникальной экосистемы Нижней Волги.

Создание Волжско-Камского каскада (ВКК) позволило решить ряд водохозяйственных задач Центральной России, но в регионе Нижней Волге привело к возникновению целого ряда новых проблем. Сложность и специфика водно-экологических проблем Нижней Волги обусловлена как природными условиями региона, так и несоответствием запросов отраслей экономики природоохранным требованиям при многоцелевом использовании водных объектов.

Анализ многолетней изменчивости основных параметров гидрологического режима Нижней Волги в створе Волгограда показал, что средние значения годовых объемов стока за естественный и зарегулированный периоды весьма близки – 256 км<sup>3</sup>/год и 249 км<sup>3</sup>/год соответственно. Средний за весь 130-летний период инструментальных наблюдений годовой объем стока составляет 253 км<sup>3</sup>/год. В целом, при близких среднемноголетних значениях, годовой сток Волги после зарегулирования характеризуется меньшей амплитудой межгодовых колебаний.

Наиболее существенные изменения произошли во внутригодовом распределении стока. После зарегулирования сток весеннего половодья уменьшился почти на 30% по сравнению с естественными условиями. Меженный сток, наоборот, увеличился, причем в зимнюю межень – более чем в 2 раза по сравнению с естественным периодом. На период весеннего половодья в современных условиях приходится около 40% стока, причем половина из них проходит в мае – самом многоводном месяце. До зарегулирования стока на май и июнь приходилось суммарно до 50%, а доля месяцев зимней межени не превышала 3-4% годового стока. Изменение внутригодового распределения стока повлекло за собой существенные изменения параметров гидрологического режима, которые во многом определяют состояние наземных и водных биоценозов Нижней Волги.

Управление водными ресурсами не имеет однозначного решения для лет различной водности, необходимо принимать решение для нескольких вариантов, в каждом из

которых нарушаются требования тех или других участников водохозяйственного комплекса. В современной эксплуатационной практике такие решения, как правило, принимаются на основе диспетчерских графиков управления, разработанных с учетом многолетних гидрологических рядов и опыта управления водными ресурсами бассейна в прошлые годы, но без учета фактического и предстоящего притока воды, и без учета происходящих климатических изменений, что не обеспечивает возможность эффективного управления.

Для управления водными ресурсами в оперативном режиме разработана математическая модель, алгоритм и вычислительная технология (ВТ) функционирования Волжско-Камского каскада (ВКК) водохранилищ, реализующая оптимизационный подход при решении задачи оперативного управления гидроузлами в период весеннего половодья. Технология позволяет осуществлять поиск компромиссных решений в интересах различных водопользователей (водоснабжение, гидроэнергетика, транспорт, экология, сельское и рыбное хозяйство и другие). Предлагаемая технология основана на использовании методов многокритериального анализа (теории компромиссов). ВТ реализована для 9 крупных водохранилищ ВКК: Рыбинское, Нижегородское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское на р. Волге и Камское, Воткинское и Нижнекамское на р. Каме. Суммарный полезный объем 9-ти водохранилищ Волжско-Камского каскада составляет 78,0 км<sup>3</sup>.

Предлагаемый подход к решению задачи оперативного управления основан на учете противоречивых требований водопользователей. Оптимизируемыми переменными являются посуточные сбросы воды в нижний бьеф каждого водохранилища ВКК. В основе предлагаемой ВТ лежит решение уравнений водного баланса для каждого водохранилища.

Характер затопления сельскохозяйственных угодий и нерестилищ Нижней Волги зависят от конфигурации весеннего спецпуска. При отсутствии детальной информации о зависимости продуктивности рыбного и сельского хозяйства от сбросного гидрографа принимается экспертное решение о типовом графике спецпуска, позволяющем максимально затоплять площади сельскохозяйственных угодий и нерестилищ, а также создавать благоприятные условия для рыбного хозяйства.

На основе решения ряда оптимизационных задач формируется множество недоминируемых решений, из которых методом достижимых целей и соответствующим аппаратом визуализации, может быть выбрано «оптимальное» в смысле Парето решение [1, 2]. Окончательное на текущую дату решение принимается в процессе обсуждения всего множества полученных недоминируемых решений на заседании Межведомственной группы, ответственной за принятие решений по регулированию режимов работы водохранилищ ВКК. Инструментарием для визуализации результатов и быстрого принятия компромиссного решения служит программа Pareto Front Viewer, разработанная в вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болгов М.В., Бубер А.Л., Комаровский А.А., Лотов А.В. Поиск компромиссных решений при планировании и управлении попусками в нижний бьеф Волгоградского гидроузла. 2. Тактическое планирование и оперативное управление // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 3. С. 333-344.
2. Bolgov M.V., Buber A.L., Komarovskii A.A., Lotov A.V. Searching for compromise solution in the planning and managing of releases into the lower pool of the Volgograd hydropower system. 1. Strategic planning // Water Resources. 2018. V. 45(5). P. 819-826.

**Модернизация учебных планов вузов по геопространственным технологиям с целью обеспечения экологической безопасности прибрежных экосистем Каспийского моря**

*О.Я. Дурдыев, Г.Т. Шадурдыев*

Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова, Ашхабад,  
Туркменистан

*e-mail: odurdyev@gmail.com*

Текущее состояние учебных планов, направленных на мониторинг и управление экосистем, в частности прибрежных, все еще находится не на должном уровне, и его необходимо адаптировать и модернизировать в соответствии с новыми изменениями в регионе. Необходимо разработать специальные образовательные программы, направленные на подготовку специалистов в области экологии, управления и инженерии прибрежной зоны, обладающих компетенциями и навыками использования инструментов дистанционного зондирования и геопространственных технологий для оценки и управления информацией с целью улучшения состояния окружающей среды.

На наш взгляд, в какой-то мере решению вышеуказанных задач будет способствовать действующий проект программы ERASMUS+, финансируемый Европейским агентством по образованию, «Новые курсы по геопространственной инженерии для адаптации к изменению климата прибрежных экосистем» (GEOCLIC), в котором принимают участие 5 стран ЕС, 2 страны Центральной Азии и Азербайджан.

Принимает участие в этом проекте и Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова.

Основной задачей этого проекта является модернизация учебных планов для программ бакалавриата/магистратуры/докторантуры по гео-пространственным технологиям с целью обеспечения экологической безопасности прибрежных экосистем в контексте изменения климата, с использованием новых технологий GeoNETast; GIS Software – ILWIS и технологий зондирования и моделирования.

В рамках проекта также планируется создание в участвующих вузах оснащенных новыми технологиями лабораторий GEOLAB, виртуальных компьютерных классов CVE и офисов по технологии пространственности GEOCOF.

Долгосрочными целями проекта являются:

- подготовка специалистов по регулярному и детальному мониторингу прибрежной и водно-болотных экосистем с использованием космических технологий;
- защита эксплуатируемых биологических ресурсов;

- сохранение и управление прибрежным и морским биоразнообразием и средами обитания на Каспии;
- обеспечение высокого качества воды, защиту здоровья людей, хороших условий для отдыха и безопасности экосистем.

После внедрения модернизированных и новых дисциплин в учебные планы ВУЗов, выпускники должны получить достаточные знания в области цифровой обработки изображений, анализа больших данных, машинного обучения и глубокого обучения, моделирования процессов и управления окружающей средой, оптической и гиперспектральной обработки данных дистанционного зондирования, алгоритмов компьютерного зрения, ГИС и других технологий. Целевые университеты также очень заинтересованы в сотрудничестве с компаниями, связанными с проведением наблюдений за Землей, и считают необходимым интегрировать их предложения для согласования и расширения содержания учебных программ с учетом потребностей партнеров.

Предлагаемый проект провозглашает следующие цели: предложить инновационный междисциплинарный курс магистратуры и докторантуры для улучшения учебных программ, адаптивности и профессиональной осведомленности, чтобы найти решения новых задач в области дистанционного зондирования для управления окружающей средой и прибрежными экосистемами, в соответствии с новыми направлениями в этой области, спросом на рынке и в соответствии с Болонским процессом. Анализируя текущую экологическую ситуацию в регионе Каспийского моря, консорциум участвующих в проекте университетов определил, что она может быть улучшена с помощью этого проекта благодаря быстрому развитию космических технологий и технологий мониторинга окружающей среды.

## **Проактивные шаги SOCAR в борьбе с изменениями климата**

*Р. Гумбатова*

Управление Экологии Государственной Нефтяной Компании Азербайджанской Республики (ГНКАР), Баку, Азербайджан

*e-mail: rena.humbetova@socar.az*

На сегодняшний день самой стратегически важной задачей, стоящей перед нефтегазовой компанией является сведение к минимуму влияния своей деятельности на изменения климата, оценка климатических рисков и своевременные запланированные адаптационные меры, направленные на снижение потерь от последствий климатических изменений.

Низкоуглеродная Стратегия Развития Государственной Нефтяной Компании Азербайджанской Республики (ГНКАР) на период до 2030 года была подготовлена и утверждена в соответствии с пакетом мер по уменьшению эмиссий от нефтегазовой отрасли, содержащимся в определенном на национальном уровне вкладе Азербайджана (в соответствии с РКИК ООН) и государственными стратегиями и планам, направленным на выполнение целей Устойчивого Развития. Стратегия основывается на конкретных пакетах ежегодных митигационных мер, принятых на сегментах: апстрим – поиск и добыча, мидстрим – транспортировка, даунстрим – обработка и реализация. Стратегия предусматривает внедрение низкоуглеродных технологий на производстве, в том числе использование альтернативных и возобновляемых источников энергии, оптимизацию энергоемких процессов, вторичную переработку отходов, а также мероприятия по озеленению и ремедиации нефтезагрязненных земель.

На нижеприведенной диаграмме (рис. 1) показаны цели по уменьшению эмиссий парниковых газов (ПГ) на сегменте апстрим за период 2021-2030 годы, прогнозируемое снижение составит 37% от выбросов базового сценария. Надо отметить, что базовый сценарий был рассчитан с учетом прямых (Scope 1) и косвенных (Scope 2) выбросов, при этом запланированы дополнительные мероприятия для оценки выбросов от потребления произведенной продукции (Scope 3).

ГНКАР выступила с инициативой создания первой независимой региональной платформы «Инициатива охраны окружающей среды Каспийского региона» (Caspian Environmental Protection Initiative – CEPI) для проведения совместных исследований действующих в регионе международных нефтяных компаний во имя защиты окружающей среды.

В рамках инициативы совместными усилиями планируется разработать пакет мер по борьбе с последствиями изменения климата, которые могут создать угрозу устойчивому развитию региона Каспийского бассейна.

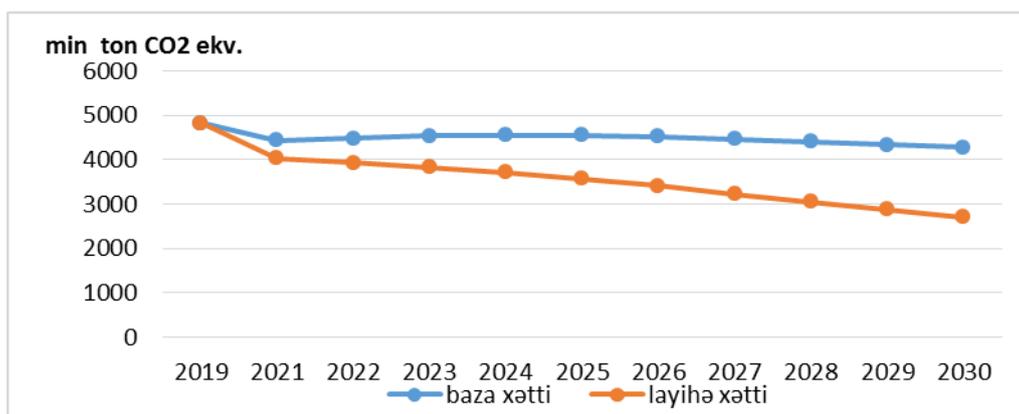


Рис. 1. Эмисии ПГ от апстрим сегмента ГНКАР

На данном этапе в ГНКАР проводятся исследования в направлении декарбонизации производства с целью достижения в будущем так называемого нулевого выброса «Net Zero». На данный момент на стадии утверждения находится Стратегия Развития ГНКАР до 2035 года, она включает конкретные проекты по обеспечению перехода компании из ранга нефтедобывающих в энергетические. Данные меры позволят не только обеспечить устойчивое развитие экономики, но и существенно снизить уровень эмиссий от энергетического сектора, что в свою очередь является ощутимым вкладом в выполнение обязательств, взятых Азербайджанской Республикой в рамках Парижского соглашения.

ГНКАР, которая является на сегодняшний день поставщиком энергоресурсов в глобальном масштабе, разрабатывает краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные сценарии развития, для каждого из которых оцениваются климатические риски и вкладываются средства в мероприятия, направленные на их снижение. Для обеспечения комплексного подхода в июне 2021 года в ГНКАР была создана комиссия по «Изменению Климата и “0” выбросам ПГ» под руководством президента ГНКАР. Данное решение еще раз доказывает, что в Компании есть четкое понимание того, что без внедрения новых низкоуглеродных технологий, усовершенствования и оптимизации технологических процессов, широкого использования альтернативных источников энергии и применения технологий по улавливанию и хранению углерода достижение поставленной цели не представляется возможным.

Нужно отметить, что в Компании с 2007 года на корпоративном уровне ведется инвентаризация ПГ, в 2020 году была подготовлена и утверждена методология расчета эмиссий ПГ от деятельности ГНКАР. Благодаря усилиям Вице-Президента по экологии ГНКАР г-жи Р. Гусейн-заде, с 2021 года начато внедрение единой корпоративной системы Мониторинга/Измерений, Отчетности и Проверки (MRV) атмосферных эмиссий, в том числе ПГ. Для обеспечения контроля за выполнением на базе Управления экологии ГНКАР была создана группа по проведению инструментальных измерений, проведена сертификация экспертов и закуплено соответствующее оборудование. Планируется внедрение автоматизированной системы комплексных решений для выстраивания общего информационного пространства на базе Компании, что обеспечит не только эффективное планирование

ресурсов, но и позволит обеспечить своевременную отчетность, сократить погрешность в расчетах и выявить проблемные участки/оборудование, не отвечающие нормам по выбросам в атмосферу.

В завершении следует отметить, что благодаря успешному выполнению Плана по сокращению выбросов ПГ низкого давления за период 2010-2015 гг. ГНКАР удалось собрать 656,9 млн. м<sup>3</sup> газа, что в свою очередь предотвратило выброс 8,815 млн. тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента в атмосферу. ГНКАР и Представительство Программы развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) в Азербайджане успешно реализовали проект под названием «Национальные планы деятельности по сокращению углеродных выбросов в топливно-энергетическом комплексе Азербайджана» (NAMA). Проект состоял из трех компонентов: обеспечение энергоэффективности зданий, альтернативное топливо для транспорта и сбор попутного газа низкого давления.

## **Сохранение и эффективное управление биоразнообразием в условиях климатических изменений**

*Ш.Б. Каррыева*

Рабочая группа по Конвенции о биологическом разнообразии,  
Проект «Центральноазиатская инициатива по пустыням» (CADI),

Ашхабад, Туркменистан

*e-mail: shirinkarryeva.sk@gmail.com*

В последние годы в программы, решения и рекомендации различных конвенций включаются многочисленные положения касательно изменения климата. Различные природоохранные конвенции рассматривают взаимосвязь между изменением климата и биоразнообразием. Так, Конференция Сторон Конвенции о биологическом разнообразии (КБР) подчеркнула важное значение интеграции тематики биоразнообразия в любую соответствующую национальную политику, программы и планы в целях борьбы с изменением климата и оперативной разработки инструментов для реализации мероприятий по сохранению биоразнообразия, содействующих адаптации к изменению климата [2]. Конференция Сторон Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях призвала Стороны управлять водно-болотными угодьями (ВБУ) таким образом, чтобы повышать их сопротивляемость изменению климата, стимулируя с этой целью защиту и восстановление ВБУ и водоразделов.

Согласно результатам отчета «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» [4], изменение климата, вероятно, станет к концу нынешнего века основным прямым приводным механизмом, вызывающим утрату биоразнообразия. Воздействие изменения климата на видовой компонент биоразнообразия проявляется в изменении распространения видов, закономерностей их размножения, длительности вегетационного периода растений, ускорении темпов исчезновения уязвимых видов, в особенности, уже находящихся под угрозой исчезновения.

Одной из наиболее важных особенностей Каспийского моря является изменение уровня моря – фактор, который оказывает существенное воздействие на биоразнообразие и управление прибрежной зоной на обширных мелководьях. Причины изменения уровня моря могут быть как природными, так и антропогенными, в результате глобальных климатических изменений, вызванных человеком. Поскольку это внутренний водоем, его уровень зависит от изменений объема поступления (в основном, речного стока) и потери воды (в основном, за счет испарения).

Для осуществления превентивных мер по повышению устойчивости экосистем к изменению климата в Национальной стратегии Туркменистана об изменении

климата (2019) [3] обозначено решение неотложных задач, среди которых касательно Каспийского моря выделены следующие:

- усиление государственного контроля за охраной экологических систем, предотвращением загрязнения земель, поверхностных и подземных вод, морской среды туркменского сектора Каспийского моря и его прибрежной зоны;
- систематическое осуществление работ по защите биоразнообразия морской среды Каспийского моря и ведение постоянного мониторинга соответствия стандартов деятельности прибрежных производственных предприятий.

Каспийское море, расположенное на границе двух больших частей Евразийского материка, является крупнейшим уникальным водоемом нашей планеты, не имеющим выхода к Мировому океану. Одной из наиболее важных особенностей Каспийского биоразнообразия является относительно высокий эндемизм. Для Каспия характерно малое, по сравнению с открытым океаном, разнообразие видов рыб. Особый статус, безусловно, принадлежит осетровым – реликтовым обитателям, существующим здесь уже сотни миллионов лет, мировой генофонд которых сохранился только здесь, в Каспийском море. Единственное каспийское млекопитающее – каспийский тюлень, как предполагается, является вселенцем из Арктики в период высокого уровня Каспийского моря.

Каспийский регион известен также как массовое местообитание водоплавающих и околоводных птиц. Через Каспийское море ежегодно мигрируют около 6 млн. перелетных птиц, в этой связи Туркменбашинский залив Хазарского заповедника официально номинирован в Рамсарский Список. В 2017 г. в Туркменском секторе Каспийского моря специалистами были выявлены и описаны экологически и/или биологически значимые морские районы (ЭБЗР/ЕБСА): Туркменбашинский залив, Туркменский залив и пролив Карабогазгол [5].

Подтверждением приверженности Туркменистана к международному сотрудничеству в области охраны биоразнообразия является присоединение в 2021 г. еще к трем новым международным соглашениям в области сохранения биоразнообразия: Конвенции по сохранению мигрирующих видов диких животных (СМС/CMS), Соглашению по сохранению водно-болотных птиц, мигрирующих по афро-евроазиатскому пролетному пути (АЕВА/АЕВА); Нагойскому протоколу доступа к генетическим ресурсам и совместного использования на справедливой и равной основе выгод от их применения [1, 6]. Таким образом, новые инициативы позволят Туркменистану осуществить обязательства ряда международных конвенций и договоров в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия, тем самым подтвердив свою приверженность международному сотрудничеству в условиях глобального изменения климата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каррыева Ш.Б. Нагойский протокол о генетических ресурсах // Пробл. осв. пустынь. 2021. №1-2.
2. Конвенция ООН о биологическом разнообразии: <http://cbd.int>.

3. Национальная стратегия Туркменистана об изменении климата. Ашхабад. 2019 г.
4. Оценка экосистем на пороге тысячелетия: <http://www.millenniumassessment.org/ru/>
5. Туркменистан. Шестой Национальный доклад по осуществлению решений Конвенции ООН о биологическом разнообразии. Ашхабад. 2019.
6. Karryeva Sh. Cooperation of Turkmenistan with CMS. Central Asian Mammals Initiative, Newsletter, #10, 2020.

**О возможностях достижения нейтрального баланса деградации земель в странах Каспийского региона (на примере России, Казахстана, Туркменистана)**

<sup>1</sup> Г.С. Куст, <sup>1</sup> О.В. Андреева, <sup>2</sup> Д.С. Шкляева, <sup>1</sup> В.А. Лобковский

<sup>1</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail:* kust@igras.ru

Территории стран Каспийского региона известны проявлениями опустынивания/деградации земель в разных его формах. Процессы деградации земель и опустынивания тесно взаимосвязаны, и их следует рассматривать в единстве, поскольку с одной стороны, аридизация климата приводит к усилению деградации земель через сокращение продуктивных водных ресурсов, снижение почвенного потенциала, снижение продуктивности растительных сообществ и биологического разнообразия, а с другой стороны, изменение отражательной способности поверхности земель и повышение альбедо способствует снижению температуры поверхности, росту аридности и появлению «островов» опустынивания в связи с аридизацией, поддерживаемой обратной связью «альбедо-осадки».

Понимание необходимости разработки более эффективных стратегий, направленных на ответственное управление земельными ресурсами в регионах, подверженных опустыниванию, привело к постановке Задачи 15.3 Целей Устойчивого Развития (ЦУР) ООН на период до 2030 года (Повестка ..., 2015) «К 2030 году бороться с опустыниванием, восстанавливать деградированные земли и почвы, в том числе земли, затронутые опустыниванием, засухой и наводнениями, и стремиться к достижению нейтрального баланса деградации земель». «Куратором» достижения ЦУР 15.3 в глобальном масштабе от имени ООН определена Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО) (Cowie et al., 2016), утвержден глобальный индикатор для мониторинга этой задачи, рекомендованный для всех стран: доля деградированных земель от их общей площади (UNSD, 2016), принято согласованное международное определение НБДЗ: «Нейтральный баланс деградации земель – это такое состояние, при котором объем и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг, и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определенных временных и пространственных масштабах и экосистемах» (UNCCD, 2016).

Таким образом, с появлением и развитием концепции НБДЗ «классическая» парадигма опустынивания приобретает более оформленные черты, меняясь от неопределенностей вроде «борьбы с опустыниванием» или «устойчивого землепользования» к конкретным показателям достижения НБДЗ. Для этого КБО утвердила минимальный набор из трех основных глобальных индикаторов достижения НБДЗ: изменения в наземном покрове, динамика продуктивности

земель, динамика запасов почвенного углерода. С целью их дальнейшего мониторинга устанавливается «базовая линия» для сравнения изменений, за которую для глобальных целей рекомендовано принимать состояние земель в период около 2000-2005 годов (в зависимости от имеющихся данных).

Нами проанализировано состояние земель в прилегающих к Каспию регионах России, Казахстана и Туркменистана с помощью указанных индикаторов (метод исследования – расчетный модуль «Trends.Earth», разработанный для реализации в системе Quantum-GIS. Использован набор данных за 2001-2018 гг. Основные результаты представлены в табл. 1.

Полученные данные показывают, что для большинства регионов свойственно ухудшение текущей ситуации. Проводимые мероприятия, направленные на снижение рисков деградации земель, не приводят к ожидаемым результатам, хотя более глубокий анализ по отдельным годам показывает тенденцию улучшения в последние 5-7 лет, особенно выраженную в российской части Прикаспия.

Таблица 1. Сравнительная интегральная оценка административных регионов России, Казахстана и Туркменистана по показателям нейтрального баланса деградации земель (индекс НБДЗ равен разнице между улучшенными и ухудшенными землями)

Регион	Баланс деградации земель, % от площади региона			Индекс НБДЗ, %
	Улучшенные земли	Стабильные земли	Ухудшенные земли	
<b>Россия</b>				
Волгоградская область	4.9	52.5	42.2	-37.3
Астраханская область	12.2	62.5	23.5	-11.3
Республика Калмыкия	18.5	65.7	15.5	3.0
Республика Дагестан	23.0	59.6	17.1	5.9
<b>Казахстан</b>				
Атырауская область	6.0	66.6	26.2	-20.3
Мангистауская область	2.3	76.5	20.6	-18.3
Западно-Казахстанская область	2.2	49.9	47.7	-45.5
<b>Туркменистан</b>				
Балканский велаят	2.8	76.0	21.0	-18.2

Использованный метод оценки позволяет не только установить общие данные по областям, но также выявить «горячие точки» на исследуемой территории. Как видно из представленных картосхем (рис. 1), в большинстве регионов отмечается явная локализация «пятен» опустынивания, приуроченная к определенным антропогенным воздействиям, из которых преобладают высокая пастбищная нагрузка, ветровая и водная эрозия почв, засоление при орошении, а также техногенное воздействие.

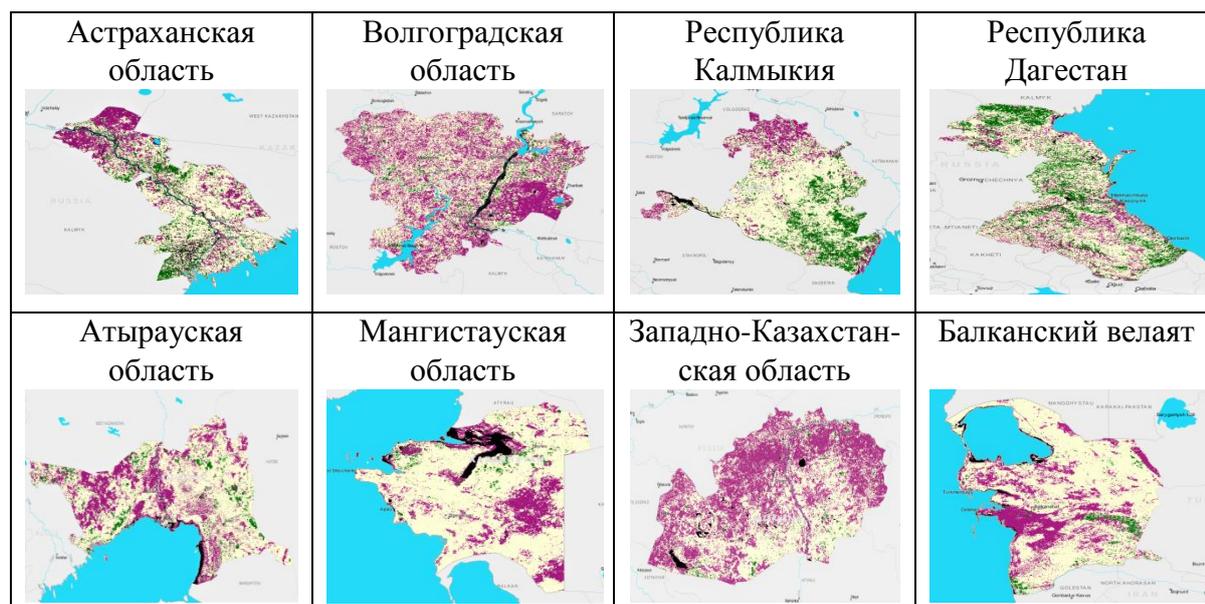


Рис. 1. Картограммы «горячих точек» на территории исследуемых регионов

*Работа подготовлена при поддержке темы госзадания ФГБУН ИГ РАН № 0127-2019-0010.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cowie A.L., Orr B.J., Castillo Sanchez V.M., Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S., Tengberg A.E., Walter S., Welton S. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality // Environmental Science & Policy. 2018. 79. P. 25-35.
2. UN, 2015. UN General Assembly. A/RES/70/1. Resolution Adopted by the General Assembly. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. UN, 35 pp. <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>.
3. UNCCD, 2015. Ankara, Turkey. ICCD/COP(12)/4. Report of the IWG on LDN. Integration of the Sustainable Development Goals and Targets into the Implementation of the UNCCD. UNCCD, Conference of the Parties. Twelfth Session 2015. ICCD/COP(12)/4. <https://www.unccd.int/official-documents/cop-12-ankara-2015/iccdcop124>.
4. UNSD, 2021. Global indicator framework adopted by the General Assembly in A/RES/71/313 (Annex), annual refinements contained in E/CN.3/2018/2 (Annex II), E/CN.3/2019/2 (Annex II), 2020 Comprehensive Review changes (Annex II) and annual refinements (Annex III) contained in E/CN.3/2020/2 and annual refinements (Annex) contained in E/CN.3/2021/2. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>.

**Повышение качества климатического обслуживания за счет автоматизации морской наблюдательной сети**

*Д.С. Шипилов, Е.В. Островская*

Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

*e-mail: kaspnmiz@mail.ru*

В последние десятилетия результатом национальных и международных усилий в области развития климатических наблюдений, исследований и моделирования стал значительный прогресс в экспериментальном и практическом предсказании и прогнозировании климата. Научное понимание климатических процессов, изменения и изменчивости климатических условий существенно улучшилось и стало фундаментом формирования Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО- GFCS) [4]. Климатическое обслуживание определяется Всемирной Метеорологической организацией (ВМО) как получение информации о климате, создание информационной (климатической) продукции и предоставление ее потребителям с использованием тех или иных средств коммуникации и презентации. Однако имплементация ГРОКО требует систематического перевода существующих знаний о климате в практические решения, для чего необходимо совершенствовать методы и средства производства, хранения и передачи данных наблюдений. Наблюдения и мониторинг – это один из ключевых элементов, от успешного осуществления которого зависит успех ГРОКО. Для эффективного климатического обслуживания наблюдения за установленными параметрами должны проводиться с требуемым качеством, в необходимом объеме, в определенном месте и в заданное время [5].

Одним из приоритетных направлений развития национальной системы климатического обслуживания Российской Федерации – национального сегмента ГРОКО – является модернизация наблюдательных сетей, включая систему обеспечения качества гидрометеорологических данных.

Для Каспийского моря в настоящее время в рамках ведомственной научно-технической программы Росгидромета разрабатывается Концепция развития государственной наблюдательной сети с использованием автоматизированных гидрометеорологических комплексов, которые обеспечивали бы автоматическое и бесперебойное получение, сбор, обработку, передачу и хранение больших объемов первичных данных по оптимальному набору гидрометеорологических параметров.

Выполнено определение наименований приборов и комплексов, пригодных для оснащения морских наблюдательных постов Росгидромета, способных функционировать без обслуживания длительный срок. Проведен отбор по следующим основным критериям: обязательные условия – измерение уровня и температуры воды; автономность работы не менее 1 года; передача полученных

данных наблюдений на сервер пользователя; исполнение в защищенном от воздействия морской среды виде.

Для отработки заявленных производителем характеристик и режимов работы в реальных условиях морской среды разработана схема проведения наблюдений на экспериментальных наблюдательных платформах (рис. 1). Основные работы по апробации измерений автоматическими комплексами с целью определения точности, достоверности получаемых данных проводятся в соответствии с руководящим документом 52.10.892-2020 [2] в течение года.

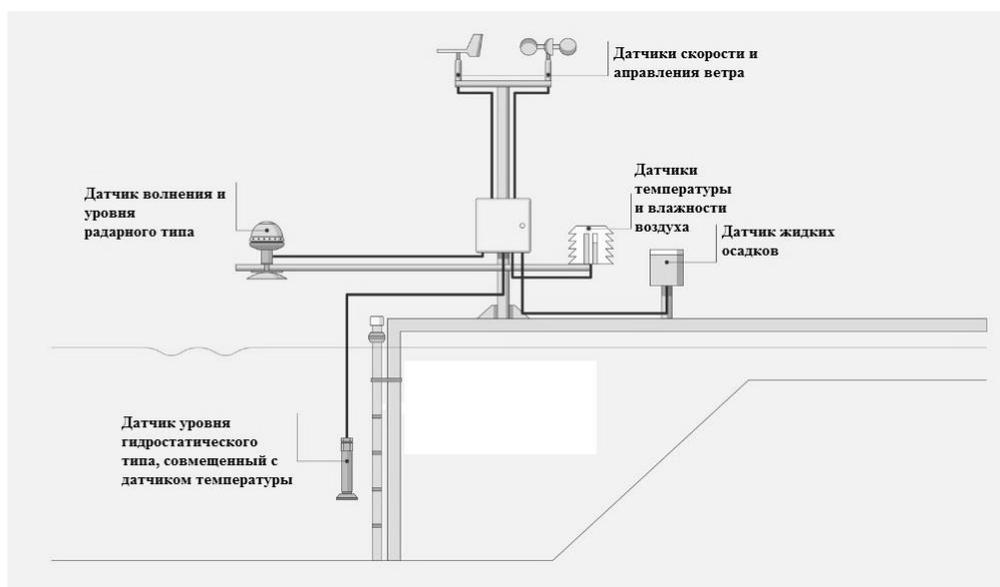


Рис. 1. Схема организации экспериментальной наблюдательной платформы

Наблюдения на наблюдательных платформах должны проводиться в соответствии с основными принципами производства гидрометеорологических наблюдений, изложенными в РД 52.04.567-2003 [3]:

- непрерывность наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением;
- соблюдение установленных требований к сбору, обработке, контролю качества, хранению и распространению информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении;
- обеспечение пространственно-временного разрешения результатов измерений, достаточного для определения характеристик гидрометеорологических величин с требуемой для практических целей точностью;
- единство измерений и сопоставимость их результатов;
- обеспечение достоверности и однородности результатов наблюдений и доступности информации для пользователей.

По своему типу и назначению экспериментальная наблюдательная платформа приравнивается к типовому морскому уровенному посту, поэтому выбор места его размещения определяется требованиями, установленным в РД 52.10.842-2017 [1].

Автоматизация наблюдательной сети предусматривает создание телекоммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объемов гидрометеорологических данных, специализированного программного обеспечения для формирования баз данных, интерпретации, визуализации и архивирования полученной гидрометеорологической информации.

Преимуществом автоматизированных платформ является возможность их организации не только на побережье, но и на островах. Создание сети автоматизированных постов на Каспийском море позволит расширить зону покрытия наблюдательной сети, повысить точность и достоверность информации о фактическом состоянии морской среды на открытых акваториях, а, следовательно, повысить точность и оперативность разработки прогнозов неблагоприятных и опасных явлений. В долгосрочной перспективе, получаемые от автоматических комплексов данные будут использоваться для анализа и прогноза регионального климата.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. РД 52.10.842-2017 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть I. Гидрометеорологические наблюдения на береговых станциях и постах»
2. РД 52.10.892-2020 «Методика сравнительного анализа данных морских гидрологических наблюдений, получаемых автоматизированными и классическими средствами измерений в различных климатических зонах».
3. РД 52.04.567-2003 «Положение о государственной наблюдательной сети».
4. <https://gfcs.wmo.int/about-gfcs>
5. <https://gfcs.wmo.int/OM>

**Материалы**  
**МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ**  
**КОНФЕРЕНЦИИ**  
**"Изменение климата**  
**в регионе**  
**Каспийского моря"**

(отв. редакторы Е.В. Островская, Л.В. Дегтярева)

Издатель: Сорокин Роман Васильевич  
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 1 этаж

Формат А5. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,38  
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Астраханской цифровой типографии  
(ИП Сорокин Роман Васильевич)  
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 1 этаж  
Тел./факс (8512) 54-00-11  
e-mail: RomanSorokin@list.ru