



## Исследовательская работа

**Прогноз воздействия изменения климата на изменение стока воды водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан на период до 2100 года в рамках проекта по разработке восьмого национального сообщения Республики Казахстан в рамках РКИК ООН и подготовки двух (четвертого и пятого) двухгодичных докладов**

Подготовлено:

Национальный эксперт по прогнозированию влияния изменения климата на водные ресурсы Казахстана на перспективу до 2100 г.

Ж. Бабагалиева

Нур-Султан 2021

## Содержание

<b>Моделирование климатических параметров (сумм осадков и температуры воздуха) для выбранных участков ВХБ с помощью модели ISIMIP</b>	<b>3</b>
<b>Моделирование стока рек выбранных участков ВХБ с помощью гидрологической модели HBV</b>	<b>12</b>
<b>Моделирование стока рек по сценарному изменению климата (сумм осадков и температуры воздуха) на перспективу до 2045 года, 2065 года и до 2100 г.</b>	<b>13</b>
<b>Воздействие изменения климата и стока воды в реках на сельское хозяйство</b>	<b>25</b>
<b>Ключевые выводы и рекомендации</b>	<b>32</b>
<b>Приложения</b>	<b>33</b>
<b>Список литературы</b>	<b>34</b>

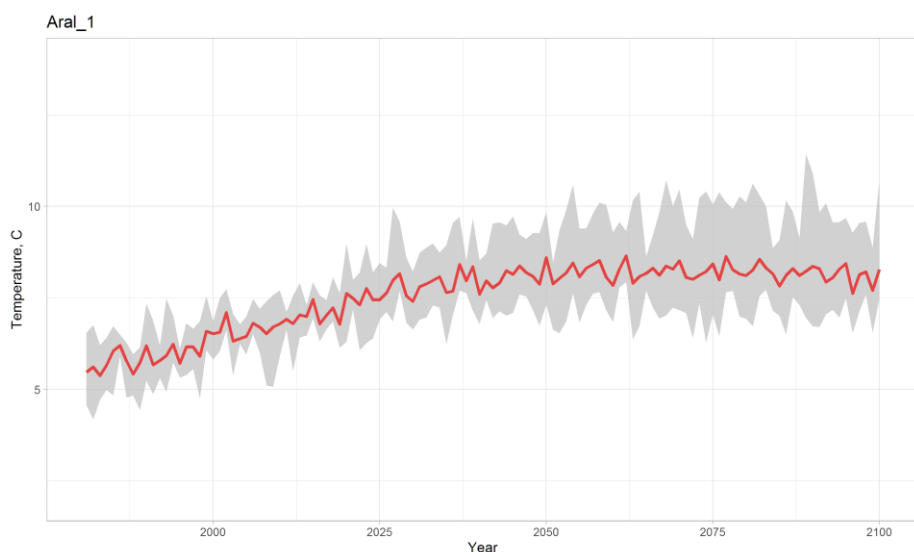
## МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ (СУММ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА) ДЛЯ ВЫБРАННЫХ УЧАСТКОВ ВХБ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ISIMIP

Для оценки воздействия изменения климата на водные ресурсы в восьми водохозяйственных бассейнах Республики Казахстан были выбраны климатические проекции из проекта The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project – ISIMIP (ISIMIP, 2020). Проекция подготовлены по двум сценариям: ssp 126 и ssp 370. Результаты показывают, что для обоих сценариев происходит повышение температуры во всех восьми ВХБ страны, в то время как осадки варьируют от небольших негативных значений до +15-20% в зависимости от периода и станции.

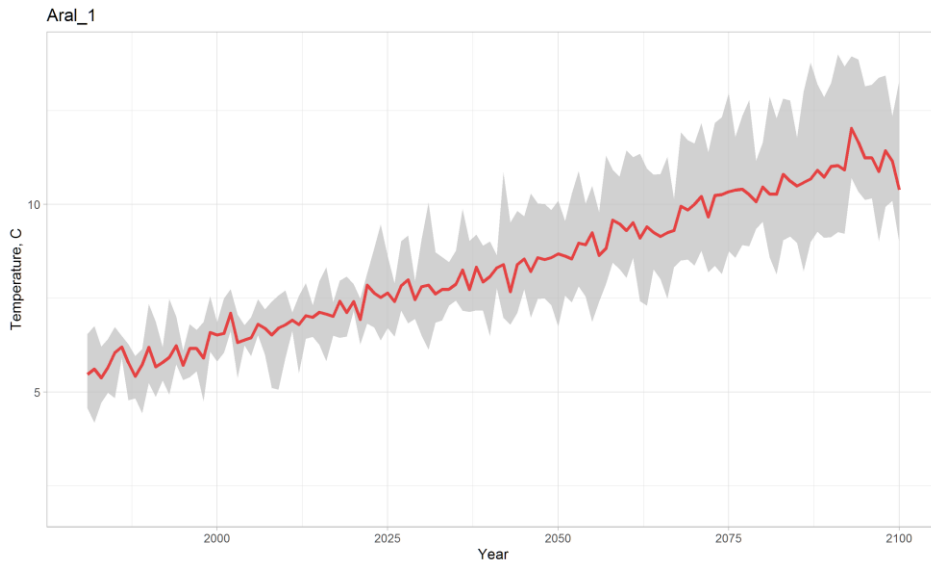
### 1) Арало-Сырдарьинский бассейн

Температура повышается во все месяцы для обоих сценариев и будущих периодов. Осадки имеют небольшое уменьшение с июля по октябрь для некоторых периодов, в остальные месяцы наблюдается небольшое повышение, которое может достигать до 20% в зимние месяцы. Уровень неопределенности моделей растет до конца столетия.

а)



б)

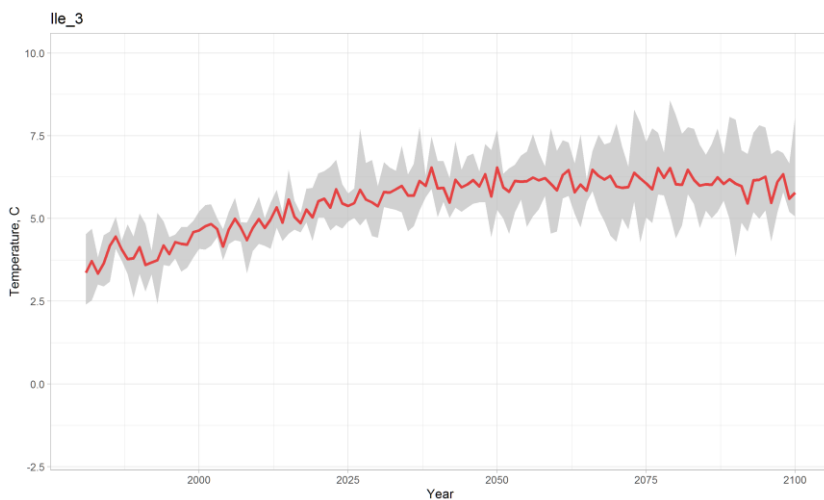


***Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.***

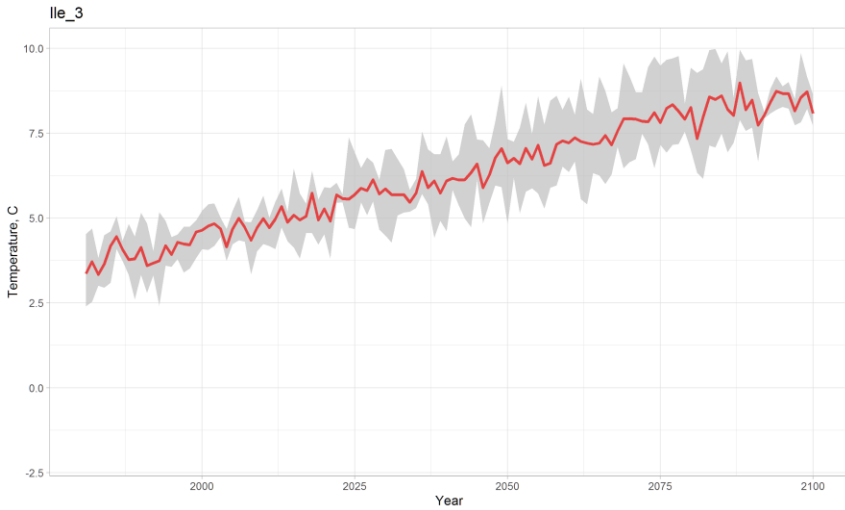
## **2) Балхаш-Алакольский бассейн**

Среднегодовая температура для сценария ssp126 растет в среднем от 1.2 до 3-4 градусов в зависимости от модели и периода. Для сценария ssp370 прогнозируется более стремительное повышение до 5-6 градусов Цельсия. Осадки варьируются от небольших негативных значений до +15-20% в зависимости от периода и станции. Сезонные изменения в осадках представлены ростом в основном в зимние и весенние месяцы, в то время как летом осадки, для некоторых периодов не изменяются или имеют отрицательные значения.

**а)**



б)

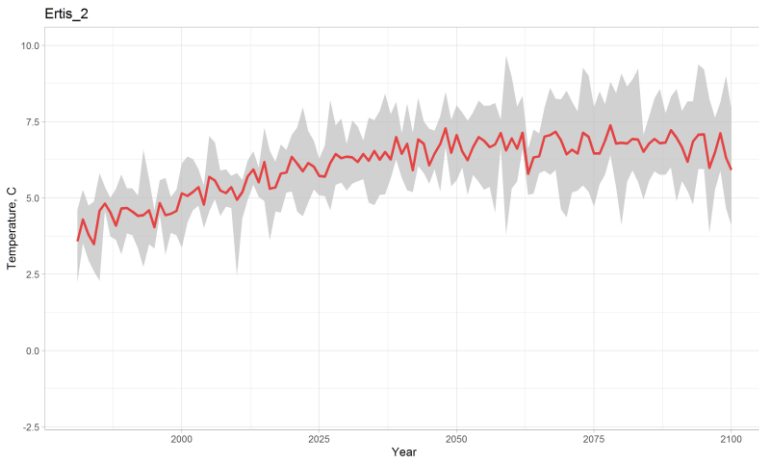


**Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.**

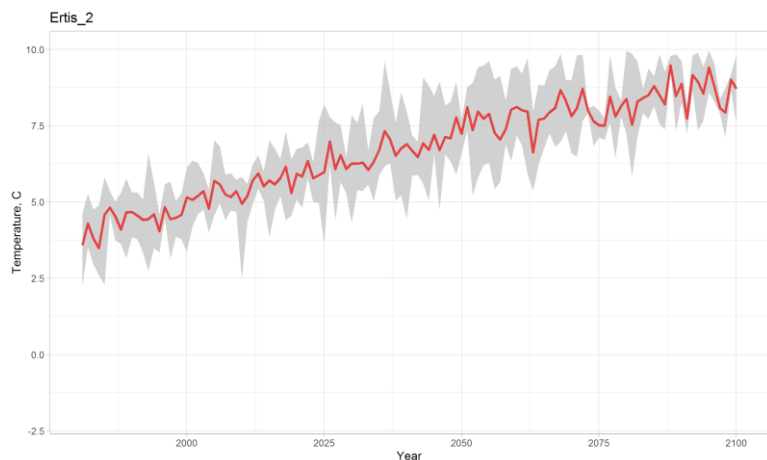
### 3) Ертисский бассейн

Среднегодовая температура повышается для обоих сценариев и может достигать в среднем около от 1.2 до 2.2 С для ssp126 и до 5.5 С для ssp370. Сезонная динамика представлена повышением температуры для всех месяцев. Годовые осадки для большинства будущих периодов и сценариев имеют небольшую положительную тенденцию.

а)



б)

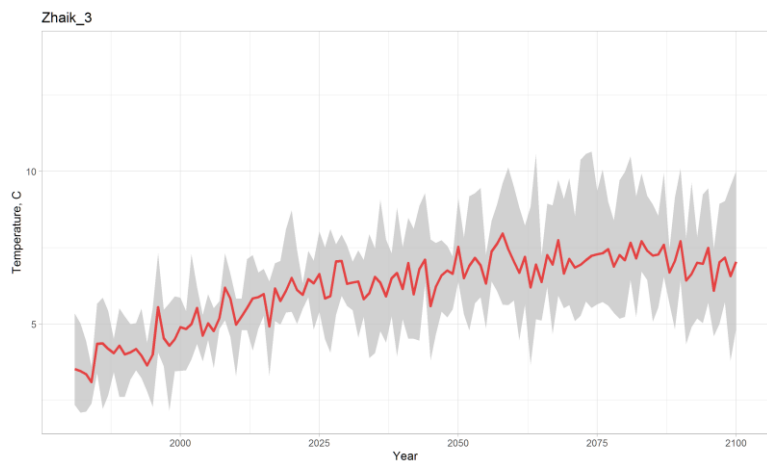


***Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.***

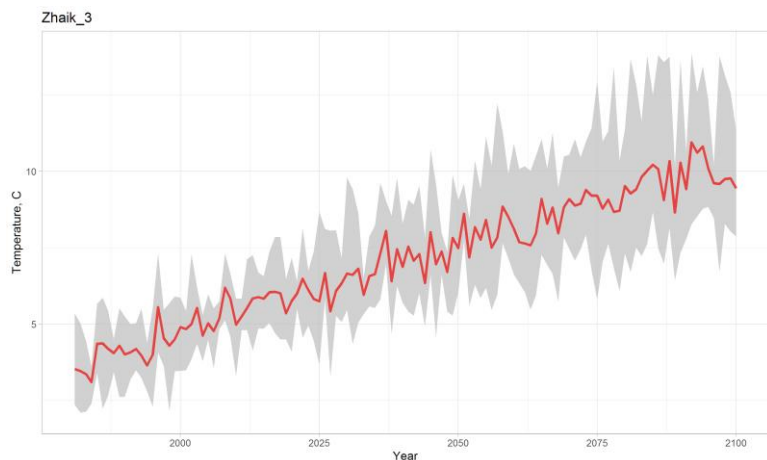
#### **4) Жаик-Каспийский бассейн**

Среднегодовая температура для сценария ssp126 растет в среднем от 1.2 до 3-4 градусов в зависимости от модели до конца столетия. Для сценария ssp370 прогнозируется более стремительное повышение до 6 градусов Цельсия. Внутригодовые осадки имеют незначительные или негативные изменения с апреля по октябрь, в некоторых периодах по ноябрь. В остальные месяцы наблюдается увеличение осадков.

#### **а)**



#### **б)**



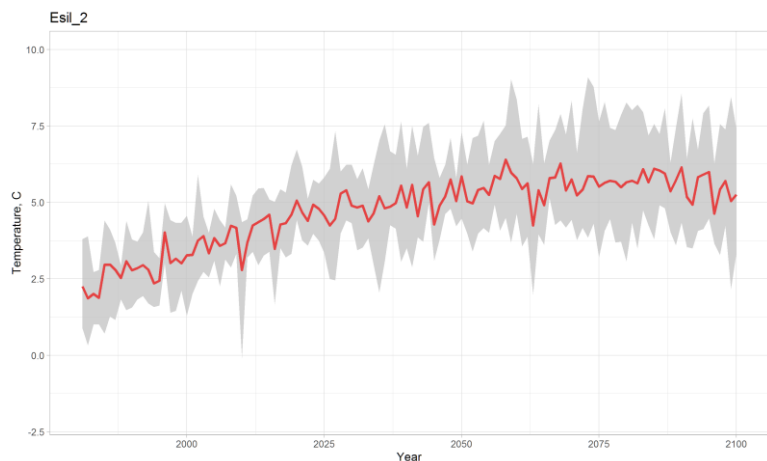
***Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.***

### **5) Есильский бассейн**

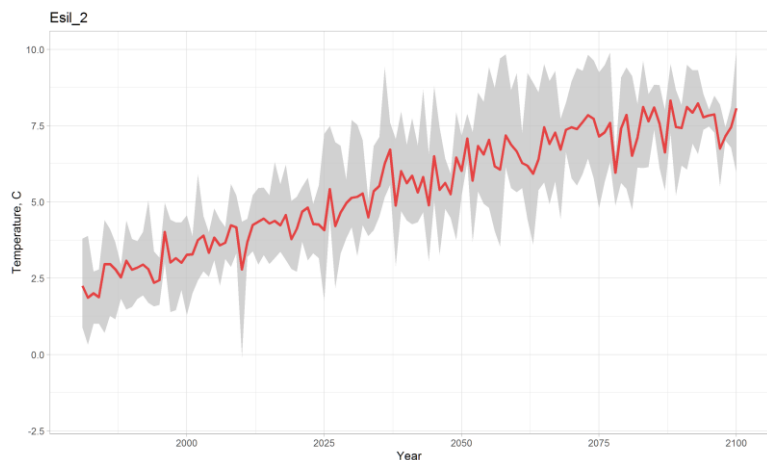
Среднегодовая температура растет для обоих сценариев и во всех будущих периодах. Для сценариев ssp370 температура повышается более стремительно. Внутригодовая динамика представлена повышением температуры для всех месяцев для обоих сценариев.

Годовые осадки (ssp126) практически не изменяются для четырёх моделей из пяти, только одна модель показывает повышение для всех будущих периодов до 25%. Похожие результаты для данной модели прослеживаются для большинства исследуемых объектов.

**а)**



**б)**

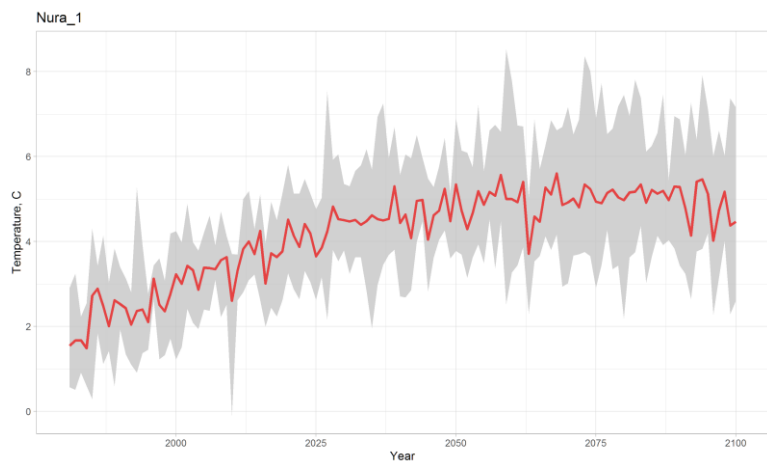


**Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.**

**б) Нура-Сарысууский бассейн**

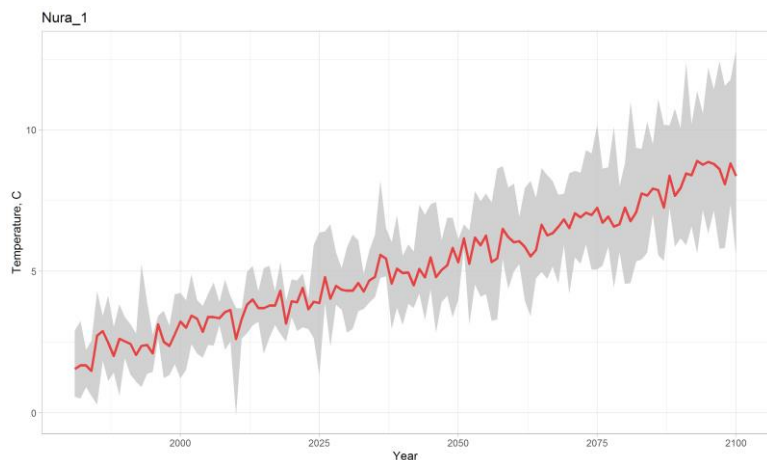
Среднегодовая температура растет для обоих сценариев и во всех будущих периодах. Для сценариев ssp370 температура повышается более стремительно. Для сценария ssp126 температура замедляет рост со середины столетия, это объясняется предполагаемым сокращением парниковых газов. Годовые осадки характеризуется небольшим повышением для большинства сценариев и будущих периодов в среднем на 10-14%.

**а)**



**б)**

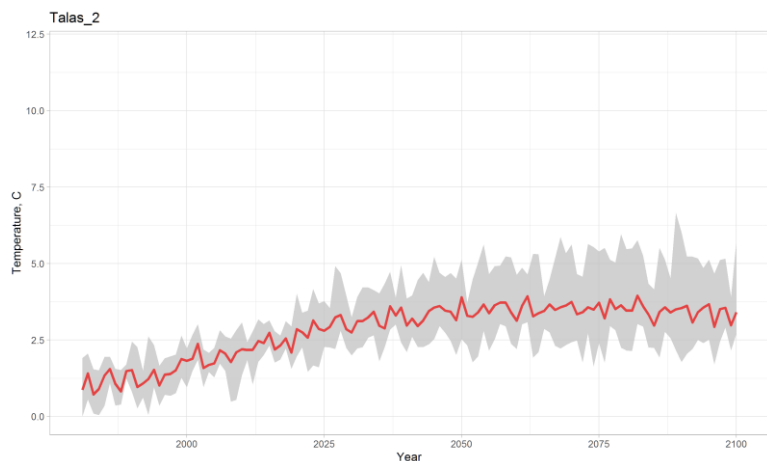




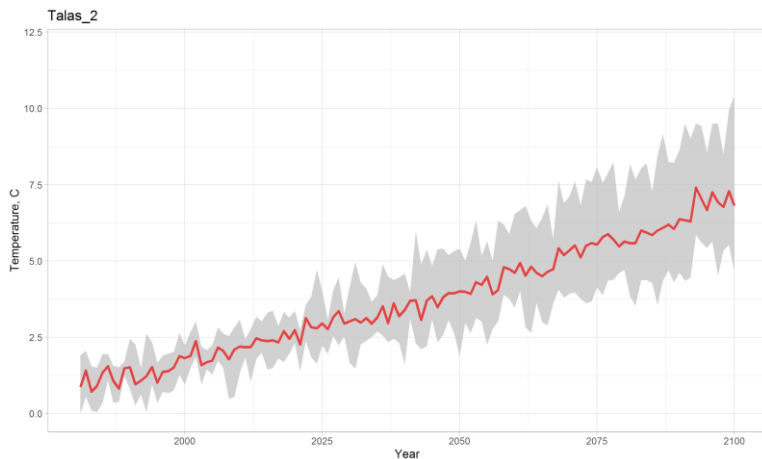
## 7) Шу-Таласский бассейн

Среднегодовая температура повышается схожим образом по сравнению с остальными объектами исследования. Для сценариев ssp370 температура повышается более стремительно. Для обоих сценариев и всех временных периодов температура повышается в течении всего года. Похожую динамику имеют и осадки как среднегодовые так и сезонные изменения. В некоторых периодах происходит уменьшение осадков в летний период.

a)



б)

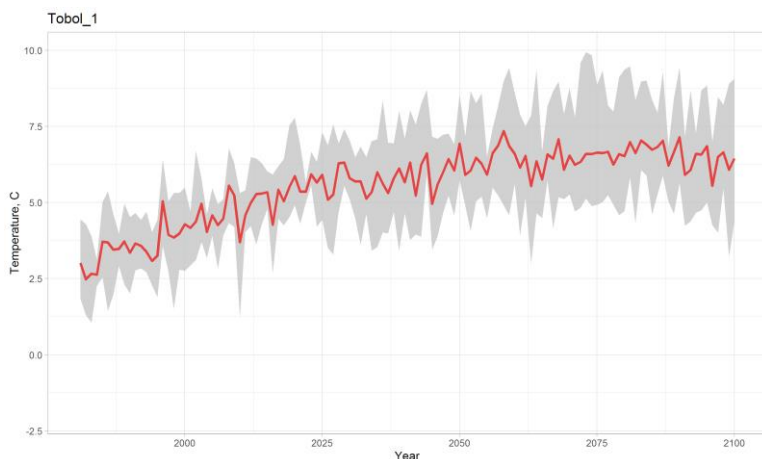


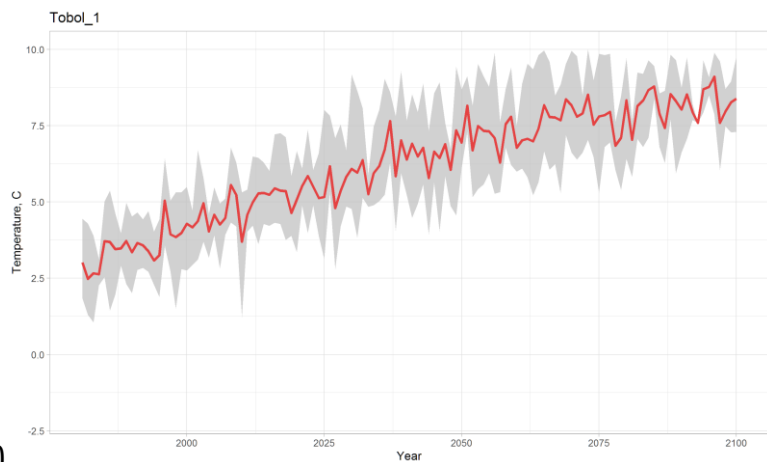
*Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.*

### 8) Тобол-Торгайский бассейн

Среднегодовая температура повышается для обоих сценариев и может достигать в среднем около 2.2 С для ssp126 и до 5.6 градусов для ssp370. Сезонная динамика представлена повышением температуры для всех месяцев. Годовые осадки для большинства будущих периодов и сценариев имеют небольшую положительную тенденцию. Сезонная динамика осадков увеличение в зимний, весенний и осенний периоды.

а)





б)

***Изменение среднегодовой температуры до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев.***

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕК ВЫБРАННЫХ УЧАСТКОВ ВХБ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ HBV

Модель HBV, разработанная Бергстрёмом в Шведском метеорологическом и гидрологическом институте, представляет собой концептуальную модель водосбора, которая преобразует осадки, температуру воздуха и потенциальное суммарное испарение либо в снеготаяние, либо в сток или приток в водохранилище.

Для адаптации модели в качестве входных данных использованы данные цифровой модели рельефа (ЦМР), данные среднесуточного расхода воды, среднесуточной температуры воздуха и количества осадков метеорологических станций. Для высотного анализа бассейнов использовались трехмерные снимки SRTM. Последующая обработка трехмерного снимка производится в модулях ESRIArcGISDesktop.

Надежность результатов работы гидрологических моделей водосбора напрямую зависит от процедуры калибрования, которая обычно является поиском одного оптимального набора параметров для исследуемой территории.

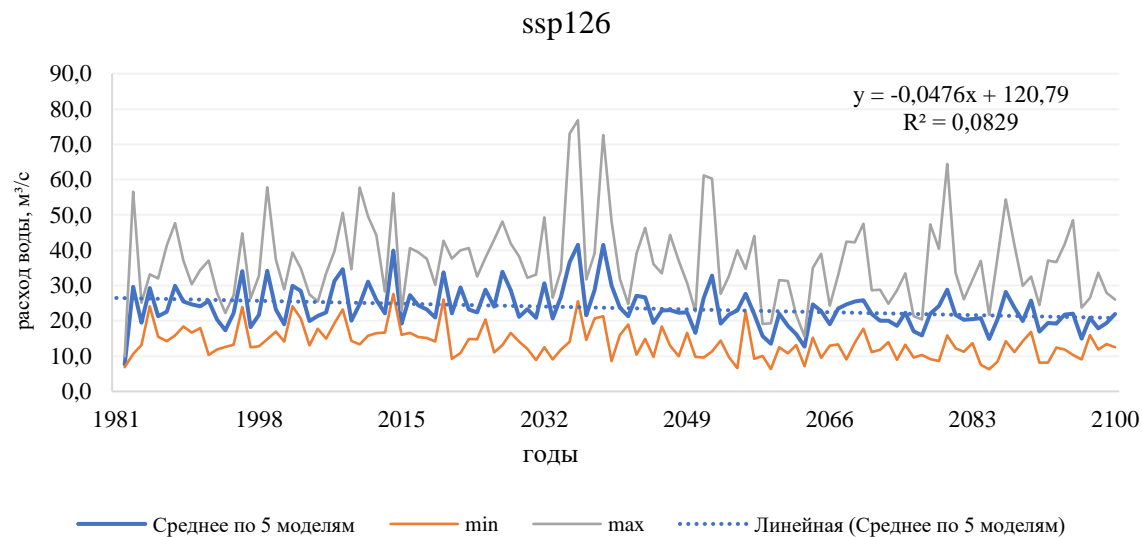
Метод автоматической калибровки для модели HBV позволяет использовать различные критерии. Значения параметров выбираются случайным образом в пределах заданного диапазона и модель запускается с использованием этих параметров.

Калибрование модели производилось автоматическим методом, основанным на большом количестве ручных калибровок (10000 генераций случайных чисел), в ходе которого соответствующие значения параметров изменяются до тех пор, пока не будет получена наилучшая связь с наблюдаемыми данными.

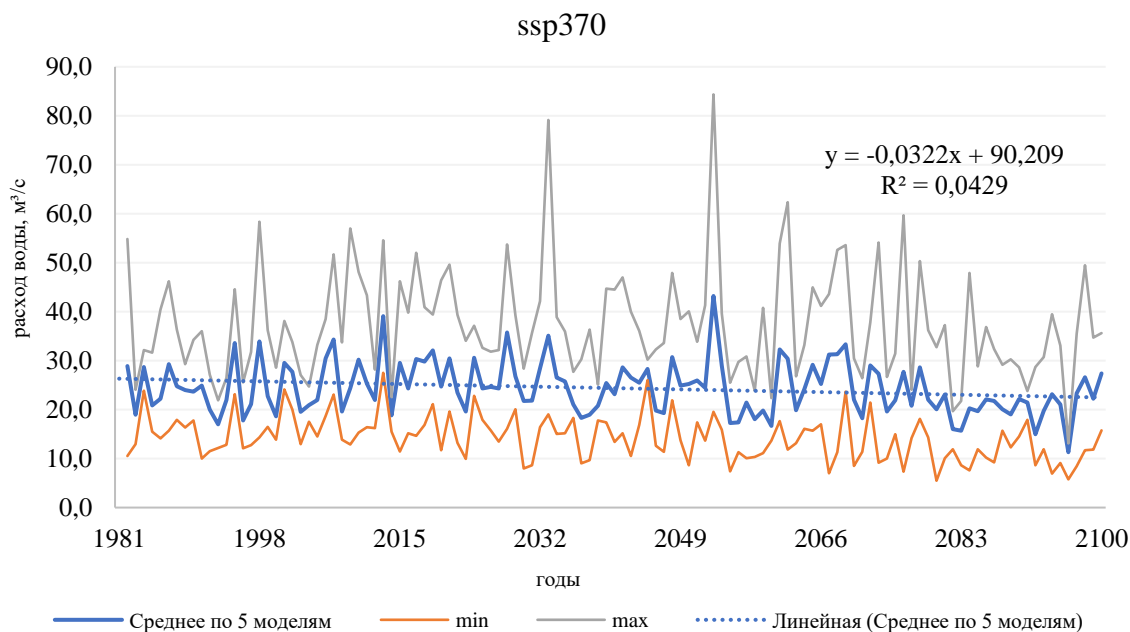
В результате автоматического калибрования модели HBV для выбранных участков ВХБ определены наилучшие наборы параметров, в зависимости от климатических, гидрологических и геологических условий.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕК ПО СЦЕНАРНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА (СУММ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА) НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2045 ГОДА, 2065 ГОДА И ДО 2100 Г.

## АРАЛ-СЫРДАРЬИНСКИЙ ВХБ



а)

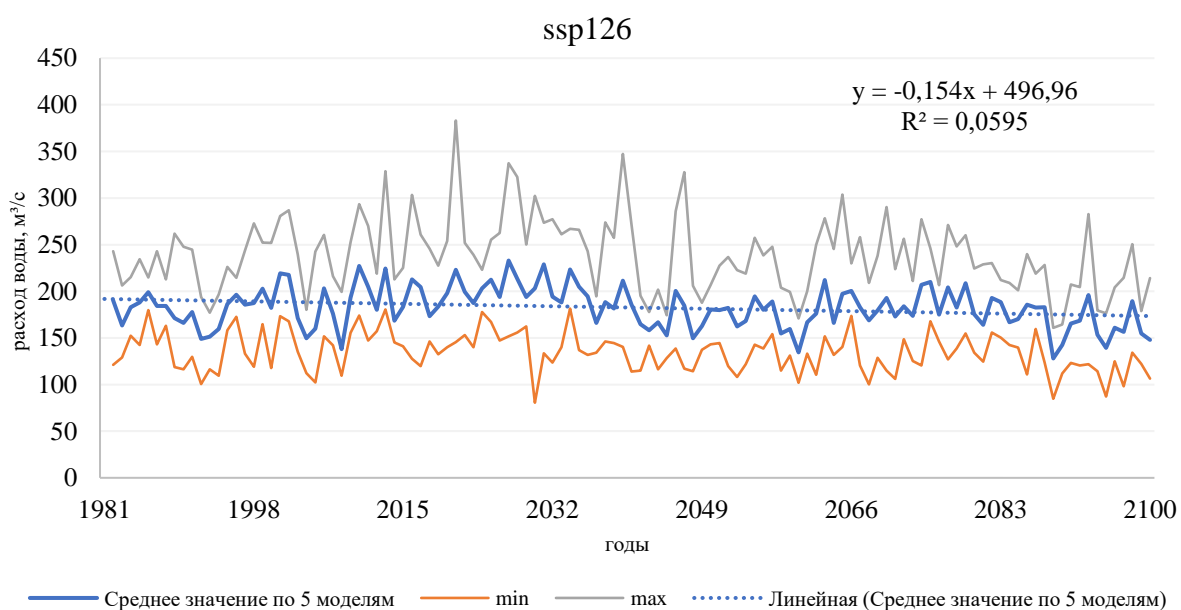


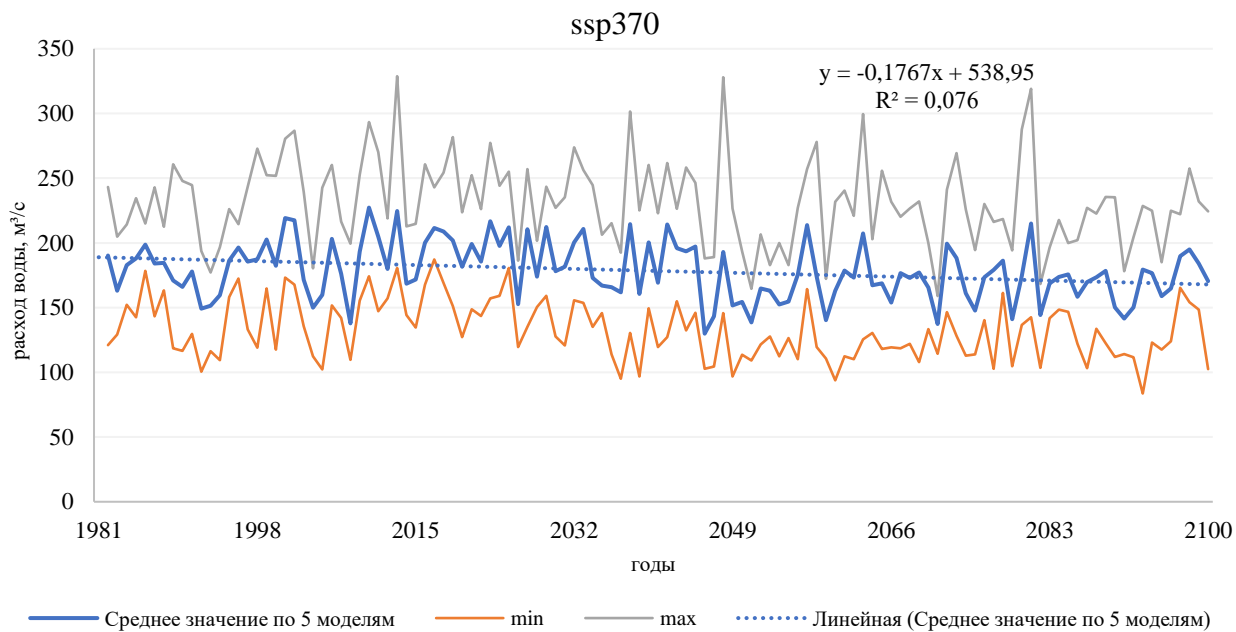
б)

Рис. 1 - Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев для Арал-Сырдарьинского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды был выбран приток реки Сырдарья река Арысь. Моделирование стока реки производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом. В результате моделирования по сценарию ssp126 для всех периодов выявлено увеличение стока на 10% (2016-2045 гг.), но для остальных периодов уменьшение стока на 3% (2036-2065 гг.) и 15% (2071-2100 гг.), по сценарию ssp370 выявлено следующие изменения стока: 2016-2045 гг. 6% увеличения, 2036-2065 гг. 1 % и 2071-2100 гг. 12 % уменьшения. На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока. Такие колебания в стоке связаны с таянием ледников, приводящим к увеличению стока в первом периоде, а также истощением ледников во втором и третьем периодах, что приводит к сокращению стока соответственно.

### ЕРТИССКИЙ ВХБ





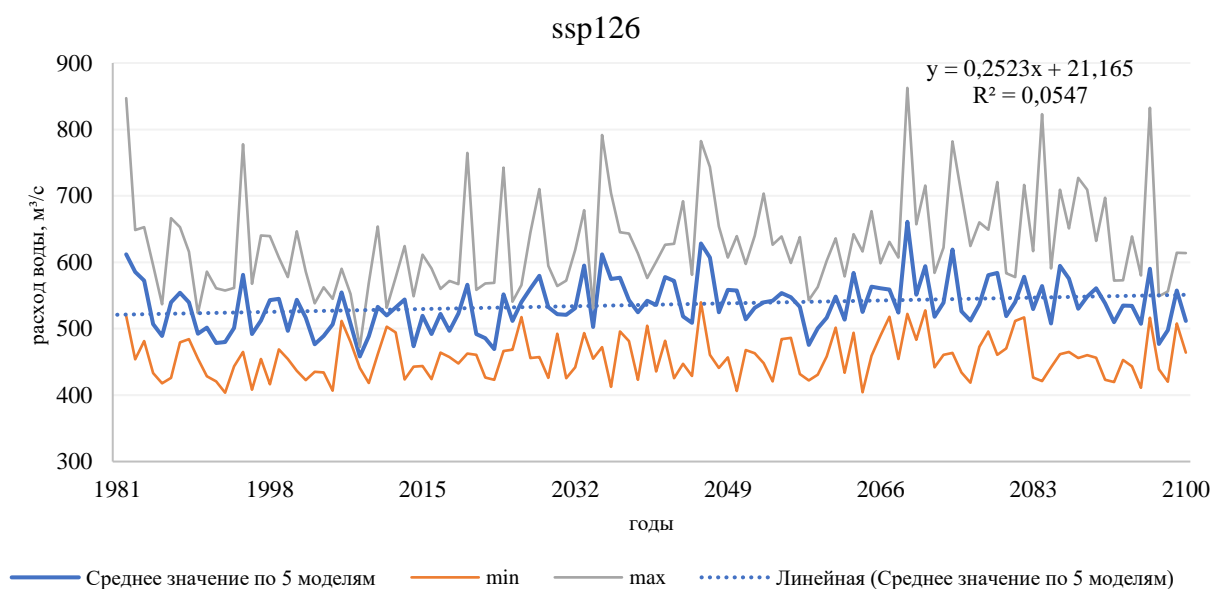
а)

б)

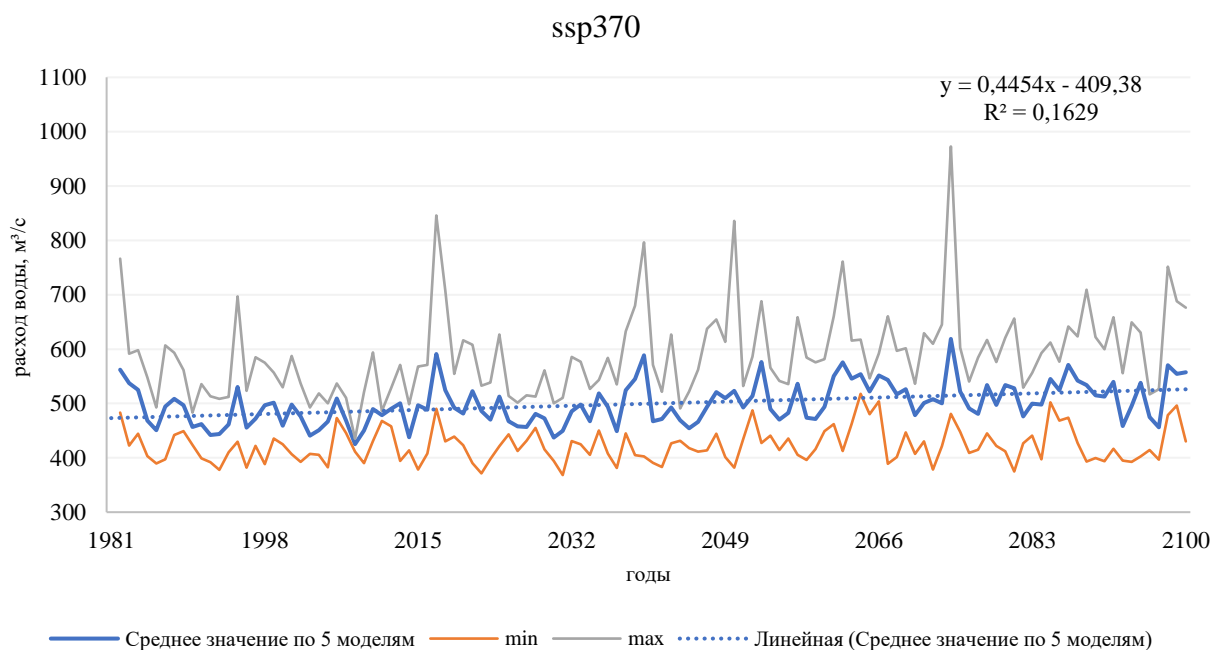
Рис. 2- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Ертисского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды в Ертисском ВХБ были выбраны следующие реки: река Ертис у села Боран, река Буктырма у села Лесная Пристань, река Оба у села Шемонайха, и река Ульби у села Ульби Перевалочная. Моделирование стока рек производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом. В результате моделирования по сценарию ssp126 для всех периодов выявлено изменение стока в среднем увеличение на 7% (2016-2045 гг.), а также уменьшение на 3% (2036-2065 гг.) и 4% (2071-2100 %), по сценарию ssp370 выявлены следующие изменения: увеличение стока 6% (2016-2045 гг.), а также сокращение 5% (2036-2065 гг.) и 6% (2071-2100 %). На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока, которые также связаны с таянием ледников и их последующей деградацией.

## БАЛХАШ-АЛАКОЛЬСКИЙ ВХБ



а)



б)

Рис. 3-Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Балхаш-Алакольского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды в Балхаш-Алакольском ВХБ выбраны следующие реки: река Иле у села Добын, река Шарын у урочища Сарытогай. Моделирование стока реки



производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом (1981-2010 гг.). В результате моделирования по сценарию ssp126 для всех периодов не выявлено изменения стока, только к концу столетия ожидается увеличение на 1%. В то же время по сценарию ssp370 выявлены следующие изменения стока: без изменений (2016-2045 гг.), 3% (2036-2065 гг.) и 6% (2071-2100), такое увеличение стока к концу столетия можно объяснить возможной деградацией ледников.

### НУРА-САРЫСУСКИЙ ВХБ.

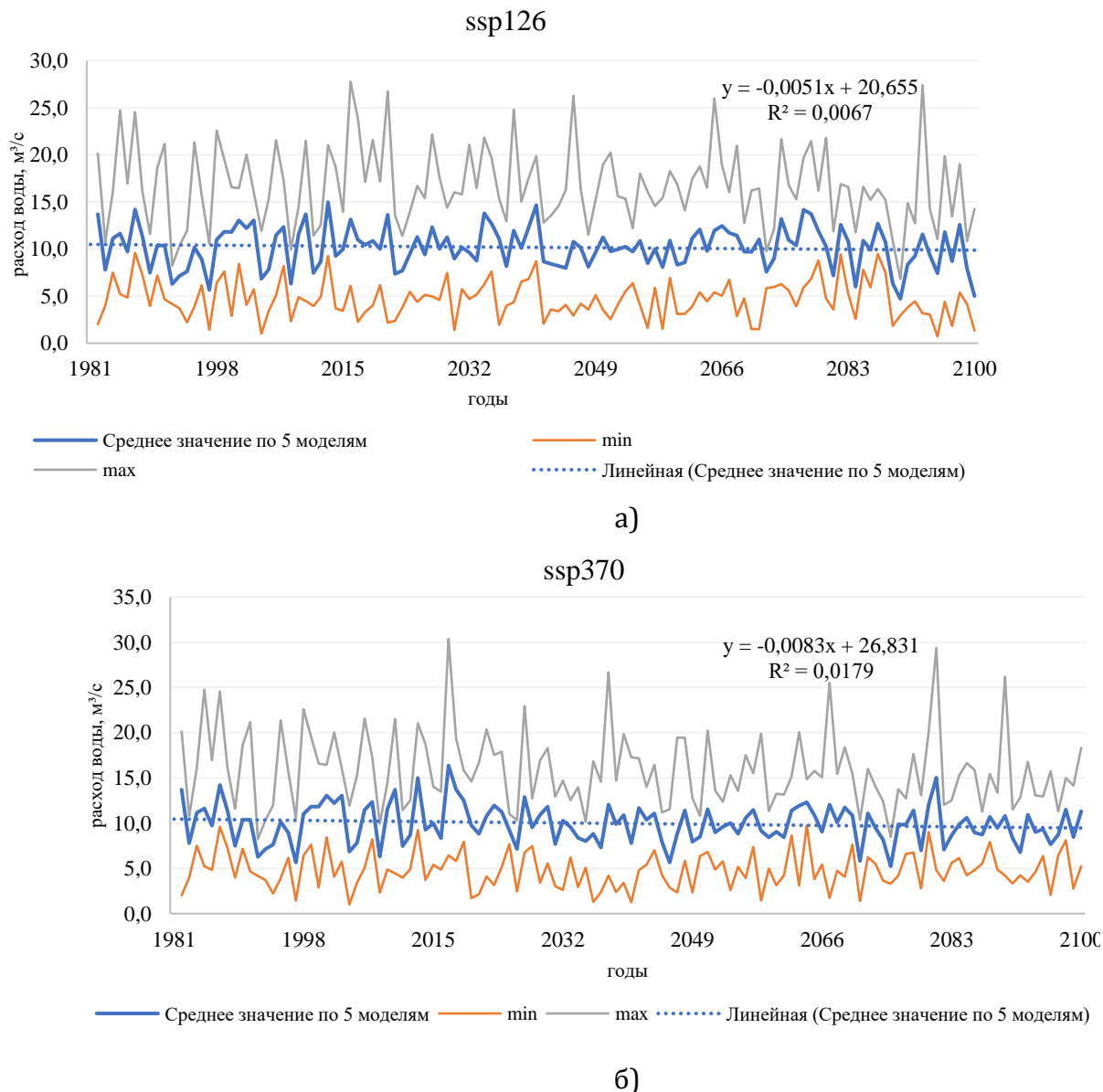


Рис. 4- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Нура-Сарысуского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды были выбраны следующие реки Нура-Сарысуского ВХБ: река Нура у ж.-д. станций Балыкты, река Сарысу у разъезда Кызылжар.

Моделирование стока реки производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом (1981-2010 гг.). В результате моделирования по сценарию ssp126 для периодов 2016-2045 гг. выявлено увеличение стока на 2,2%, но для периодов 2036-2065 гг. и 2071-2100 выявлено уменьшение стока на 1,7 % и 3,5 % соответственно, по сценарию ssp370 не выявлено изменение стока за период 2016-2045 гг., но для других периодов ожидаются сокращение стока на 5 %, 2036-2065 гг. и 8% 2071-2100 гг. Такие колебания стока возможно связано с более стремительным увеличением температуры, и более интенсивным испарением соответственно.

### ЕСИЛЬСКИЙ ВХБ

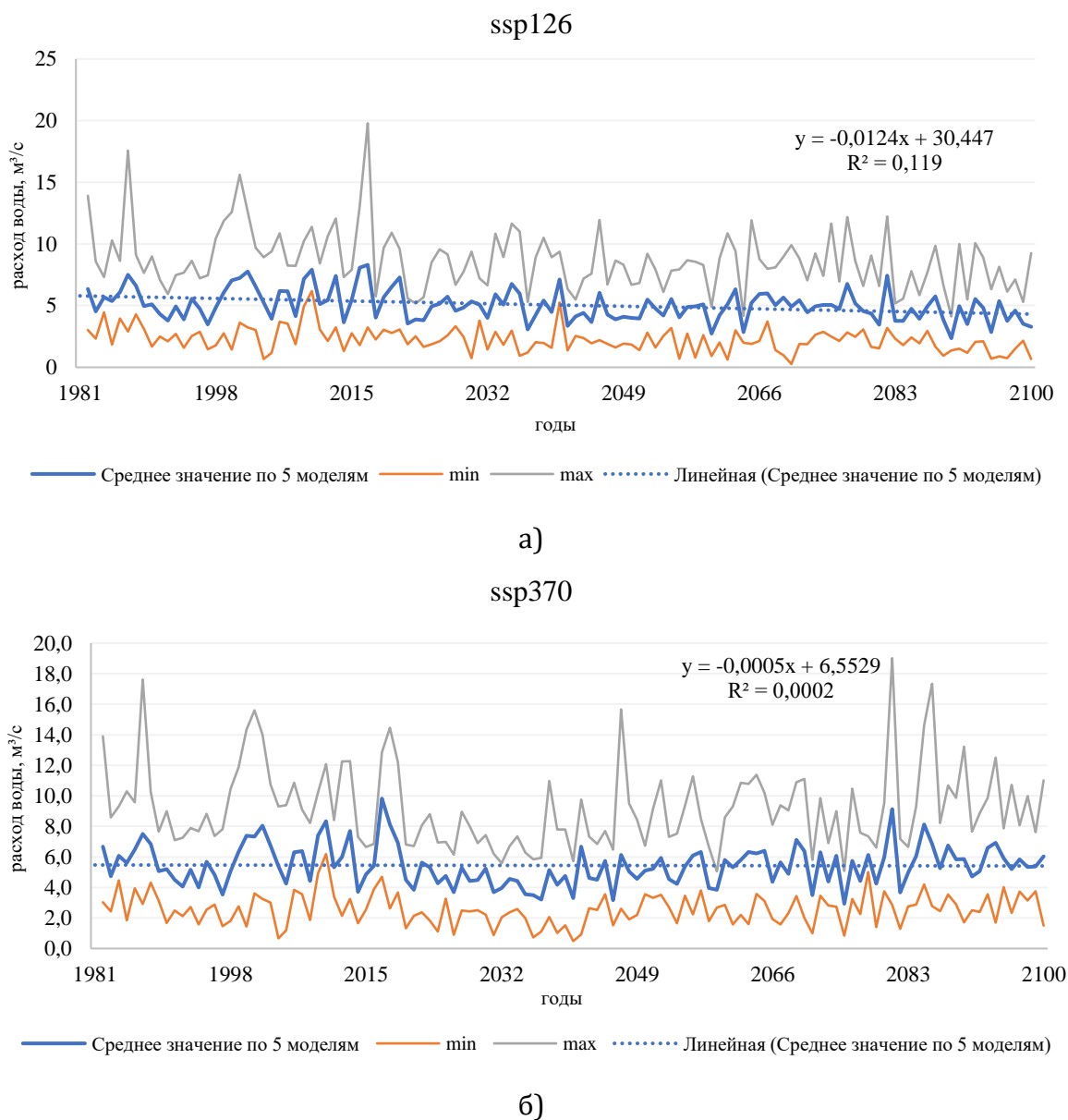
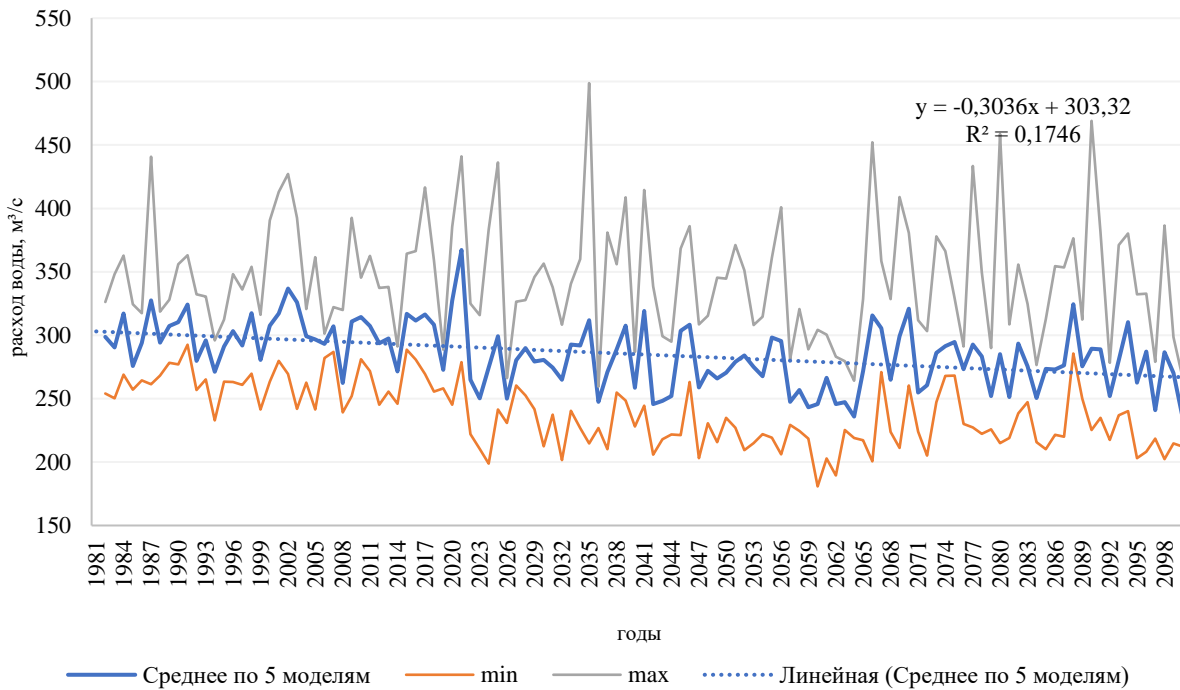


Рис. 5- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Есильский ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды были выбраны следующие реки Есильского ВХБ: река Есиль у села Турген, река Калкутан у села Калкутан и пека Жабай у города Атбасар. Моделирование стока реки производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом (1981-2010 гг.). В результате моделирования по сценарию ssp126 для периодов 2016-2045 гг., 2036-2065 гг. и 2071-2100 выявлено сокращение стока на 8,5 %, 18,5 % и 19 % соответственно, по сценарию ssp370 выявлено следующие изменения стока: 2016-2045 гг. 14,5 %, 2036-2065 гг. 12,5 % и 2071-2100 гг. 1,9 % уменьшения. На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока в сторону уменьшения, что можно связать с неизменностью количества осадков, при этом со значительным повышением температуры и интенсивным испарением в этом регионе.

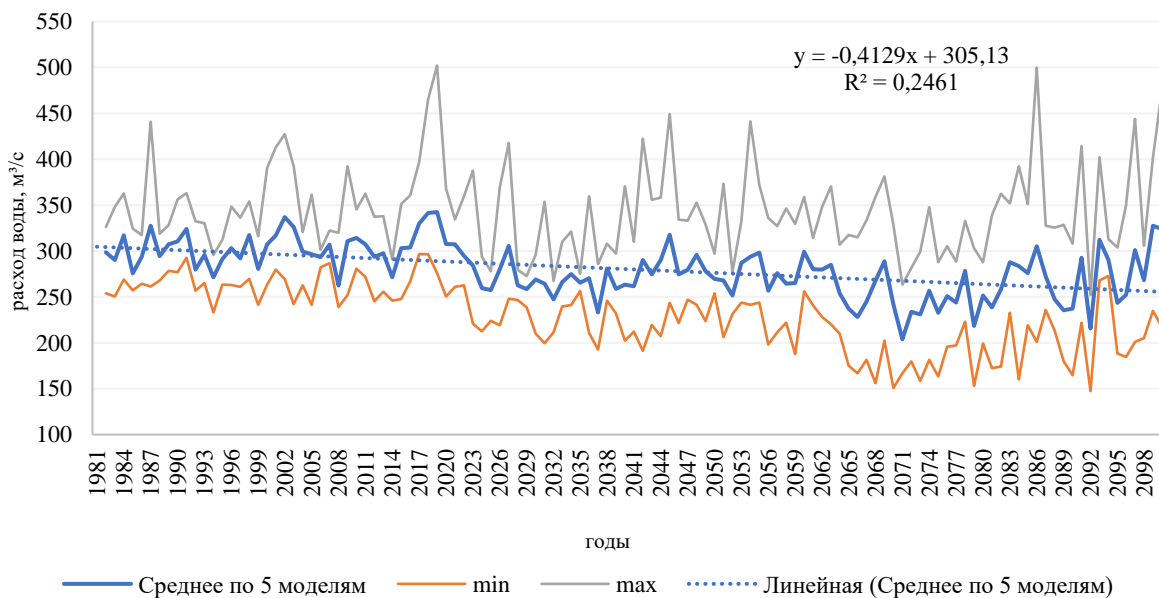
## ЖАЙЫК-КАСПИЙСКИЙ ВХБ

ssp126



а)

ssp370

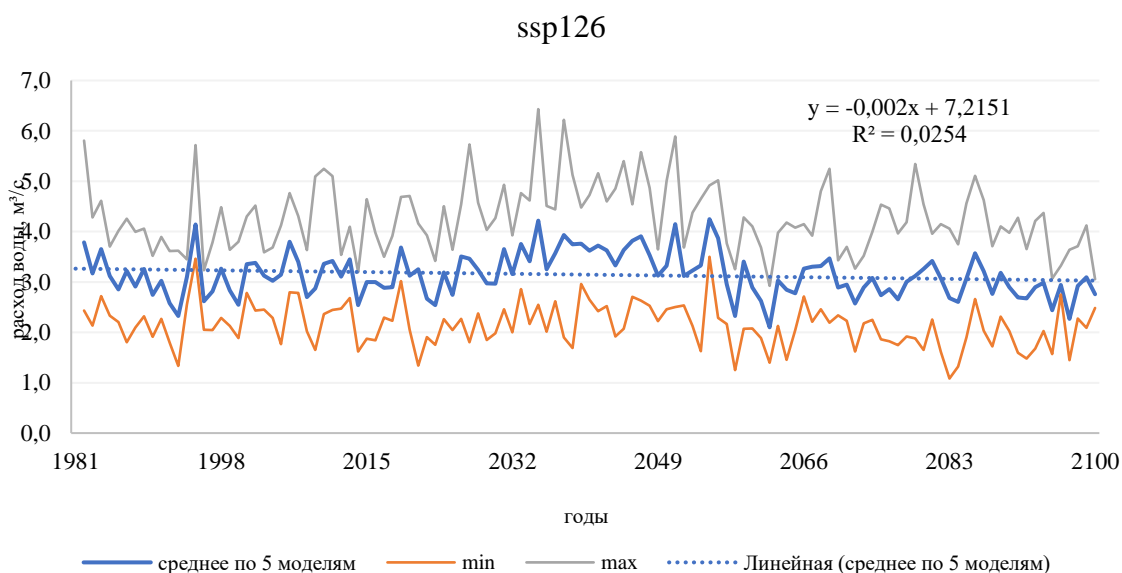


б)

Рис. 6- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Жайык-Каспийского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды был выбран следующая рек Жайык-Каспийский ВХБ: река Жайык у села Январцево. Моделирование стока реки производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом (1981-2010 гг.). В результате моделирования по сценарию ssp126 для всех периодов выявлено изменении стока к уменьшению, для периода 2016-2045 гг. на 5%, на 10% в периоде 2036-2065 гг. и на 8% в периоде 2071-2100 гг., по сценарию ssp370 выявлены следующие изменения стока 6% (2016-2045 гг.), 8% (2036-2065 гг.) и 12% (2071-2100 %) на уменьшение. На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока. Внутригодовые осадки, в частности в осенний период уменьшаются, что приводит к дефициту увлажнения почв. Таким образом, при снеготаянии большая часть запаса воды в снеге уходит в почву, что в свою очередь приводит к уменьшению стока. Увеличение температуры и интенсивное испарение, также влияют на сокращение стока в бассейне.

### ШУ-ТАЛАССКИЙ ВХБ



a)

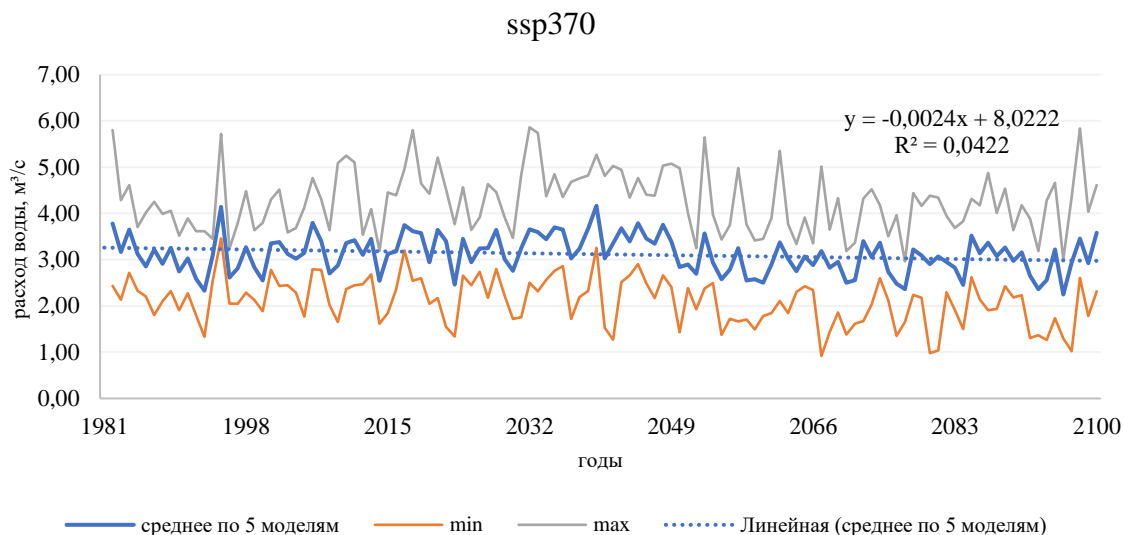
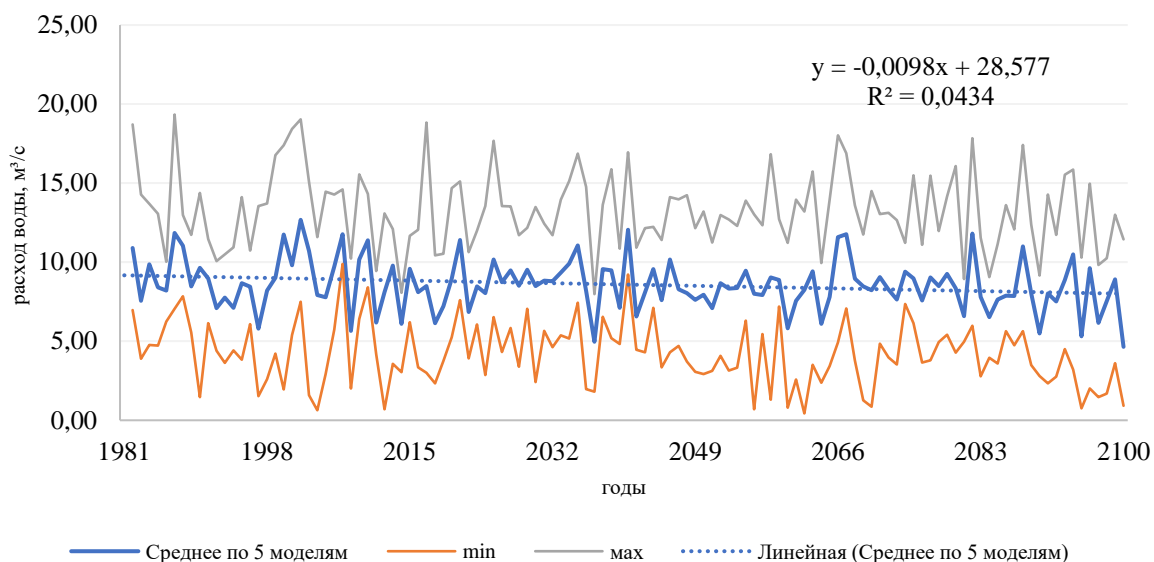


Рис. 7- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Шу-Таласского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды были выбраны следующие реки Шу-Таласского ВХБ: река Мерке у зимовки Улбутуй и река Терис у села Нурлыкент. Моделирование стока реки производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом. В результате моделирования по сценарию ssp126 для периодов 2016-2045 гг. и 2036-2065 гг. выявлено увеличение стока на 8%, в период 2071-2100 гг. ожидается уменьшение на 13%, по сценарию ssp370 также выявлены изменения стока на 9% (2016-2045 гг.) на увеличение, но для других периодов ожидается уменьшение на 6 % (2036-2065 гг.) и 7 % (2071-2100 гг.) на увеличения. На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока. Такая тенденция изменения стока возможно связано с изменением таяния ледников: деградаций и в последующем истощением.

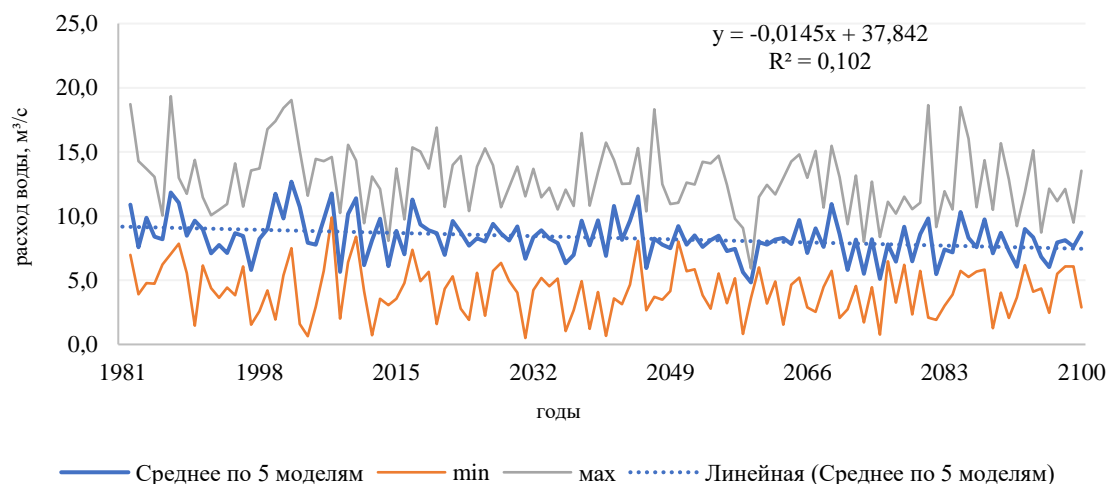
## ТОБОЛ-ТУРГАЙСКИЙ ВХБ

ssp126



а)


ssp370



б)

Рис. 8- Изменение среднегодовых расходов воды до конца столетия на основе 5 климатических моделей для ssp126 (а) и ssp370 (б) сценариев Тобол-Тургайского ВХБ.

Для выявления изменения среднегодовых расходов воды был выбран следующая рек Тобол-Тургайского ВХБ реки Тобыл у села Гришенка и река Торгай у песков Тусум. Моделирование стока рек производилось по двум сценария ssp126 и ssp370. По выбранным трем климатическим периодам сток был сравнен на изменение с базовым периодом (1981-2010 гг.). В результате моделирования по сценарию ssp126 для всех периодов выявлено изменения стока к уменьшению, для периода 2016-2045 гг. на 6%, на 11% в периоде 2036-2065 гг. и на 12% в периоде 2071-2100 гг., по сценарию ssp370 выявлены следующие изменения стока 7% (2016-2045 гг.),



12% (2036-2065 гг.) и 17% (2071-2100 %) на сокращения. На приведенных графиках можно наблюдать ежегодные колебания стока в сторону уменьшения, что связано со стремительным повышением температуры и интенсивным испарением.



## ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И СТОКА ВОДЫ В РЕКАХ НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Основную долю водопотребления в Республике Казахстан по отраслям экономики составляет сельское хозяйство – 66%. При этом, использование воды в орошаемой земледелии включает потребности регулярного и лиманного орошения. Остальные приходятся на промышленность, коммунально-бытовое хозяйство – 30% и 4% соответственно (Всемирный Банк, 2015).

По данным земельного баланса, в 2020 году в стране числится 2,251 млн га орошаемых земель (Официальный сайт Премьер Министра РК, 2021), из которых 1,779 млн га находятся в составе земель сельскохозяйственного назначения, и представляют 40,5 % используемых земель<sup>1</sup>. В целом в сравнении с 2017 годом, наблюдается тенденция увеличения площадей орошаемых земель с 2,181 млн га. К 2030 году согласно поручению Президента РК планируется доведение орошаемых земель сельскохозяйственного назначения до 3 млн га., что повлечет за собой увеличение водопотребления на сельскохозяйственные нужды.

Для рационального использования воды в сельском хозяйстве также планируется проведение работы по диверсификации посевных площадей сельхозкультур путем снижения доли водоемких и монокультур, а также увеличения площадей высококорентабельных альтернативных культур (овощебахчевые, кормовые, масличные культуры). Это позволит сократить количество потребляемой воды на орошение, в частности в южном (засушливом) регионе Республики, где применяют регулярное орошение и возделывают влаголюбивые культуры (рис, хлопчатник) (Официальный сайт МСХ РК, 2021).

Стоит отметить, что эффективность использования водных ресурсов в орошаемой земледелии во многом определяется состоянием оросительных и коллекторно-дренажных систем. В Казахстане на сегодняшний день только на 14% орошаемых земель применяются современные капельное и дождевальное орошение. Остальные площади обводняются устаревшими неэкономными методами – сплошным затоплением и поверхностным орошением. (Официальный сайт МСХ РК, 2021). Согласно Национальному проекту развития АПК в РК 2021-2025 запланировано увеличение площадей земель с применением водосберегающих технологий (капельное орошение, дождевание): в 2021 до 235 тыс. га; в 2022 до 281 тыс. га; 2023 до 327 тыс. га; в 2024 до 373 тыс. га; в 2025 до 420 тыс. га. (Национальный проект развития АПК РК на 2021-2025 годы). Применение водосберегающих технологий значительно сократит водозабор на орошение сельскохозяйственных угодий в стране. С целью стимулирования фермеров к применению современных водосберегающих методов орошения, государство планирует предоставлять субсидии фермерам путем возмещения половины затрат на оросительные системы.

Однако, увеличение количества орошаемых земель с текущих 1,7 млн. га до 3 млн. га к 2030 году соответственно увеличит количество потребляемой воды. Более того, при критическом состоянии оросительных систем 19% водозабора на сельскохозяйственные нужды составляют потери воды при транспортировке (Целевые показатели к Протоколу по проблемам воды., 2017).

В 2020 году водозабор на сельскохозяйственные нужды составил 13,3 км<sup>3</sup>, что на 1 км<sup>3</sup> больше, чем в предыдущем 2019. Согласно расчетам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК при сохранении текущей тенденции водопотребления, прогнозируемый дефицит к 2030 году

<sup>1</sup> [http://cawater-info.net/bk/land\\_law/files/kz-land2019.pdf](http://cawater-info.net/bk/land_law/files/kz-land2019.pdf)

составит 11,7 км<sup>3</sup>. Поэтому, применение вышеуказанных методов по увеличению водосберегающих технологий, а также переход на засухоустойчивые культуры является ключевым для более эффективного использования водных ресурсов в стране. Так, например, переход на капельное орошение может сократить расход воды до 20-50% в зависимости от вида культуры (UNECE, 2015), реконструкция оросительных сетей с цифровизацией на основных магистральных каналах сэкономит до 2 км<sup>3</sup>, уменьшение посева риса в южном регионе позволит сэкономить 1 км<sup>3</sup> воды (Официальный сайт Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК, 2021).

Большая часть орошаемого земледелия с регулярным орошением сосредоточено в южных областях страны, которая потребляет 97% водозабора – это Южно-Казахстанская, Алматинская, Жамбылская и Кызылординская области<sup>2</sup>. В этих областях забор воды осуществляется из рек трех водохозяйственных бассейнов: Арало-Сырдарьинский и Шу-Таласский.

Согласно прогнозам изменения водности рек в вышеуказанных бассейнах, сток воды увеличивается до середины века в результате интенсивного таяния ледников, и сокращается к концу века ввиду истощения ледников. Такие колебания воды должны быть учтены в планировании орошаемого земледелия, в частности при внесении новых видов культур, а также методов орошения.

Важно также отметить увеличение температуры и изменение количества осадков, которые повлияют на нормы полива определенных культур. Так, например во всех ВХБ наблюдается значительное увеличение температуры воздуха по обоим сценариям, что потребует более интенсивного орошения определенных культур.

## **Прогноз водопотребления в сельском хозяйстве**

### **Зависимый показатель**

Для целей прогнозирования объема водопотребления в сельском хозяйстве Казахстана в качестве зависимой переменной использовался соответствующий показатель, имеющийся в общем доступе на сайте Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому развитию и реформам. Показатель отражает годовые объемы потребления пресной воды в сельском хозяйстве с 2000 по 2019 годы в млн. кубических метрах.

### **Методология построения прогнозов**

В качестве ключевого инструмента для прогнозирования объема водопотребления использовалась многофакторная регрессионная модель стационарных временных рядов, оцененная по методу наименьших квадратов.

Как уже отмечалось, зависимой переменной в модели определен объем водопотребления в сельском хозяйстве Казахстана, в качестве объясняющих переменных выбраны площади орошаемых земель сельскохозяйственного назначения и среднегодовая температура воздуха наиболее репрезентативного метеорологического пункта южного региона Казахстана (Ауыл Турара Рыскулова), на который приходится наибольшая часть орошаемых площадей в разрезе регионов страны.

Так, техническая интерпретация модели предполагает, что объем потребления воды в сельском хозяйстве линейно зависит от площади земель сельскохозяйственного назначения, где используется

<sup>2</sup> <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/press/news/details/138615?lang=ru>

пресная вода, а также от температуры воздуха, с повышением (понижением), которой требуется больше (меньше) воды для орошения земель.

Исторический период ретроспективной оценки модели охватил 2010-2019 года, так как именно за этот период времени были обнаружены статистические значимые связи между зависимой и объясняющими переменными.

В свою очередь, прогнозный период был ограничен 2030 годом ввиду отсутствия официальных и доступных данных по планам Правительства РК, связанные с расширением площади орошаемых земель, которая является ключевой объясняющей переменной в модели.

### **Многофакторная модель**

В таблице 1 отражены результаты оценки теоретической модели зависимости объема потребления воды в сельском хозяйстве от площади орошаемых земель сельхоз назначения и среднегодовой температуры воздуха. Для целей приведения временных рядов в стационарный вид, показатели были преобразованы в первые разности.

Как видно из таблицы по t-статистике Стьюдента большую статистическую значимость (по модулю больше 2) среди двух объясняющих переменных имеет площадь орошаемых земель в сельском хозяйстве. В свою очередь, коэффициент детерминации, равный 26%, демонстрирует, что в целом качество модельной зависимости позволяет получать стабильные и несмещенные прогнозные оценки потребления воды в сельском хозяйстве.

**Таблица 1. Результаты оценки теоретической модельной связи в статистическом пакете EViews**

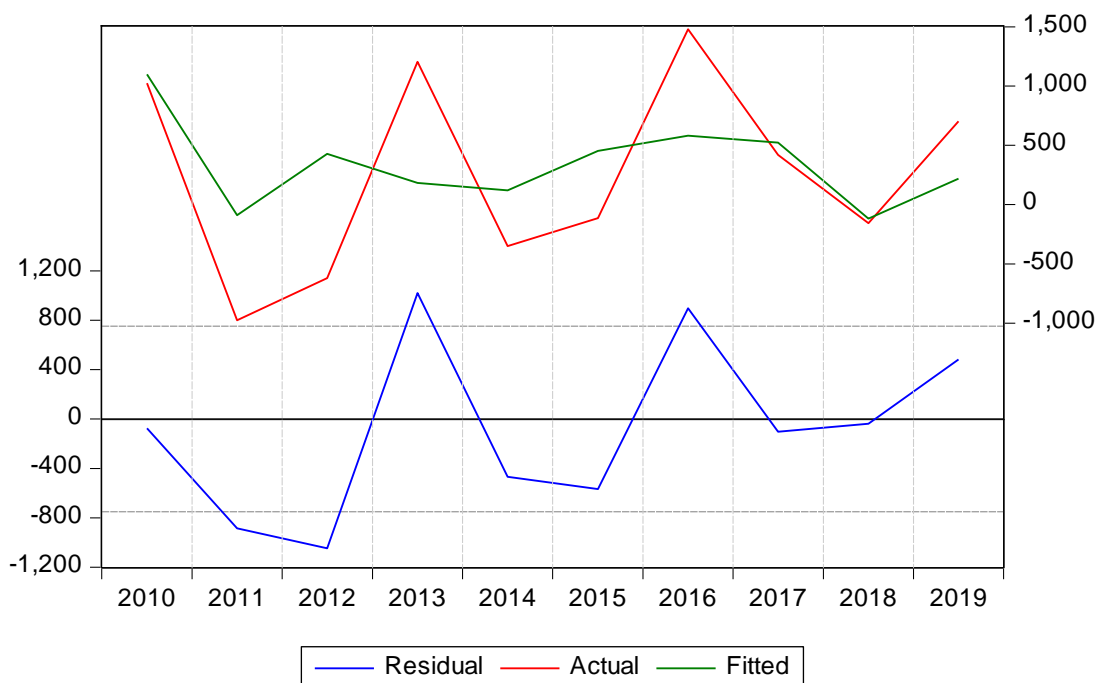
Dependent Variable: D(WATER\_CONSUMPTION)  
 Method: Least Squares  
 Date: 30/11/21 Time: 22:04  
 Sample: 2010 2019  
 Included observations: 10

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(IRRIGATED_LAND)	21.12457	10.41981	2.027347	0.0772
D(AVER_TEMP)	176.3225	1251.963	0.140837	0.8915
R-squared	0.266782	Mean dependent var	261.5000	
Adjusted R-squared	0.175130	S.D. dependent var	827.5967	
S.E. of regression	751.6427	Akaike info criterion	16.25926	
Sum squared resid	4519734.	Schwarz criterion	16.31977	
Log likelihood	-79.29628	Hannan-Quinn criter.	16.19287	
Durbin-Watson stat	2.346948			

D(WATER\_CONSUMPTION) – годовое абсолютное изменение объема потребления воды в сельском хозяйстве, млн.куб.м

D(AVER\_TEMP) – годовое абсолютное изменение средней температуры воздуха, гр. Цельсия

D(IRRIGATED\_LAND) – годовое процентное изменение площади орошаемых земель в сельском хозяйстве, тыс. га



**Рис 9. Фактическая и модельная динамика годового абсолютного изменения объема потребления воды в сельском хозяйстве, млн.куб.м**

Таким образом, из оцененной модели можно привести следующую интерпретацию:

- рост площади орошаемых земель в сельском хозяйстве на 1 тыс. га увеличивает объем водопотребления в сельском хозяйстве на 21 млн. куб. м
- рост среднегодовой температуры воздуха на 1 гр. по Цельсию увеличивает объем водопотребления в сельском хозяйстве на 176 млн. куб. м

### Прогнозные оценки

Для расчета итоговых прогнозов водопотребления в сельском хозяйстве согласно полученной модели была определена соответствующая динамика объясняющих переменных. Так, на прогнозном периоде до 2030 года были выбраны планы Правительства РК по увеличению площади орошаемых земель сельхоз назначения с текущих 1,8 млн. до 3,0 млн. га. В свою очередь, значения среднегодовой температуры воздуха до 2030 года были получены из данных реанализа (повышение с 7,4 до 7,8 градусов по Цельсию). В результате прогнозные значения объема водопотребления в сельском хозяйстве Казахстана с 2020 по 2030 годы продемонстрировали рост с 16366 млн. до 41575 млн. куб. метров. Ожидается повышение водопотребления в результате увеличения площади орошаемого земледелия с 1.8 млн га до 3 млн к 2030 году, при этом ввиду роста среднегодовой температуры также будет увеличиваться водопотребление в расчете на 1 га земли

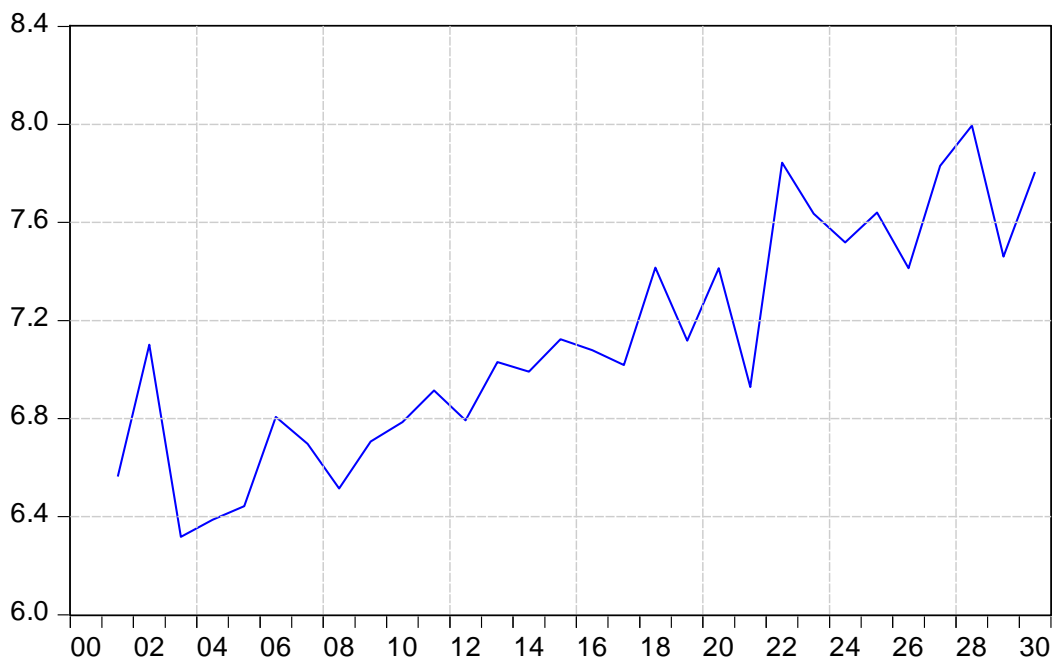


Рис 10. Среднегодовая температура воздуха, гр. по Цельсию

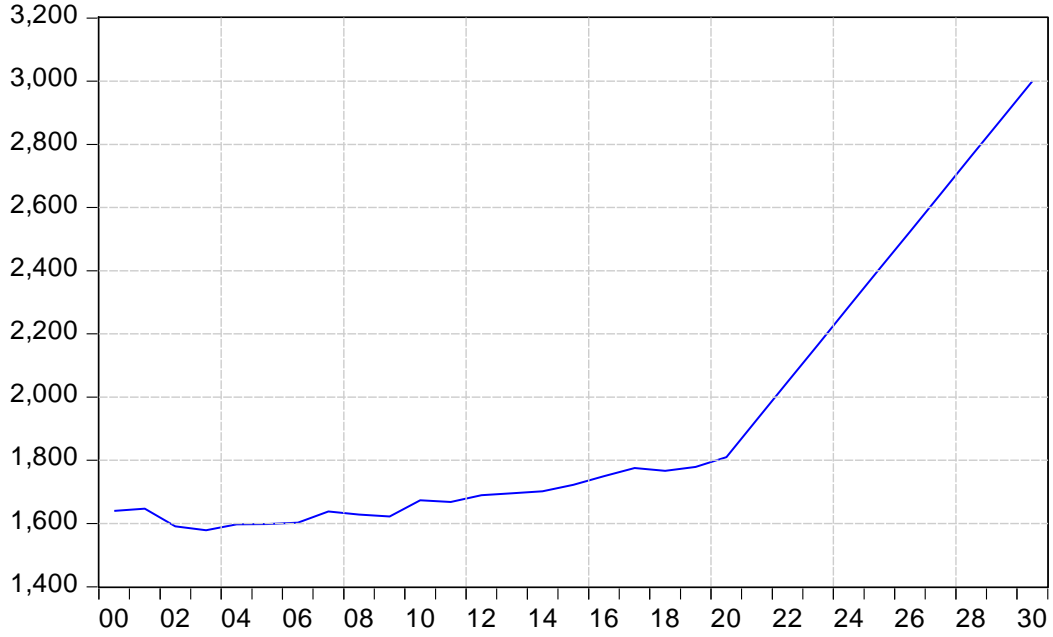


Рис 11. Площадь орошаемых земель в сельском хозяйстве, тыс. га

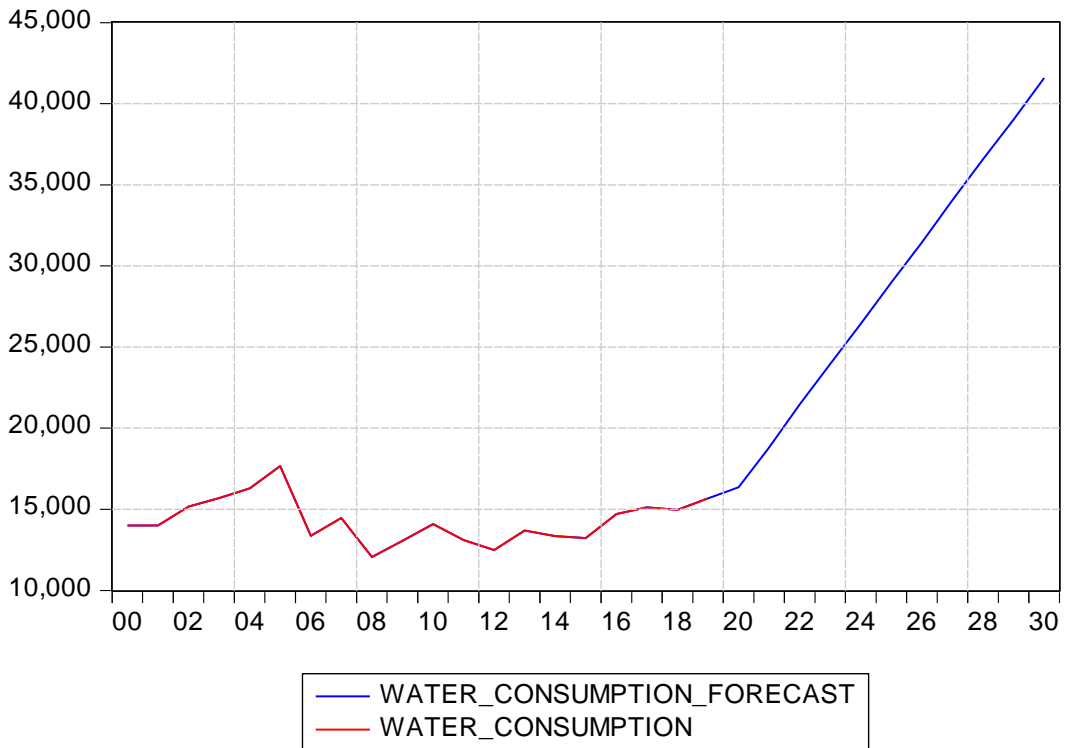


Рис 12. Объем потребления воды в с/х, млн. куб. м.

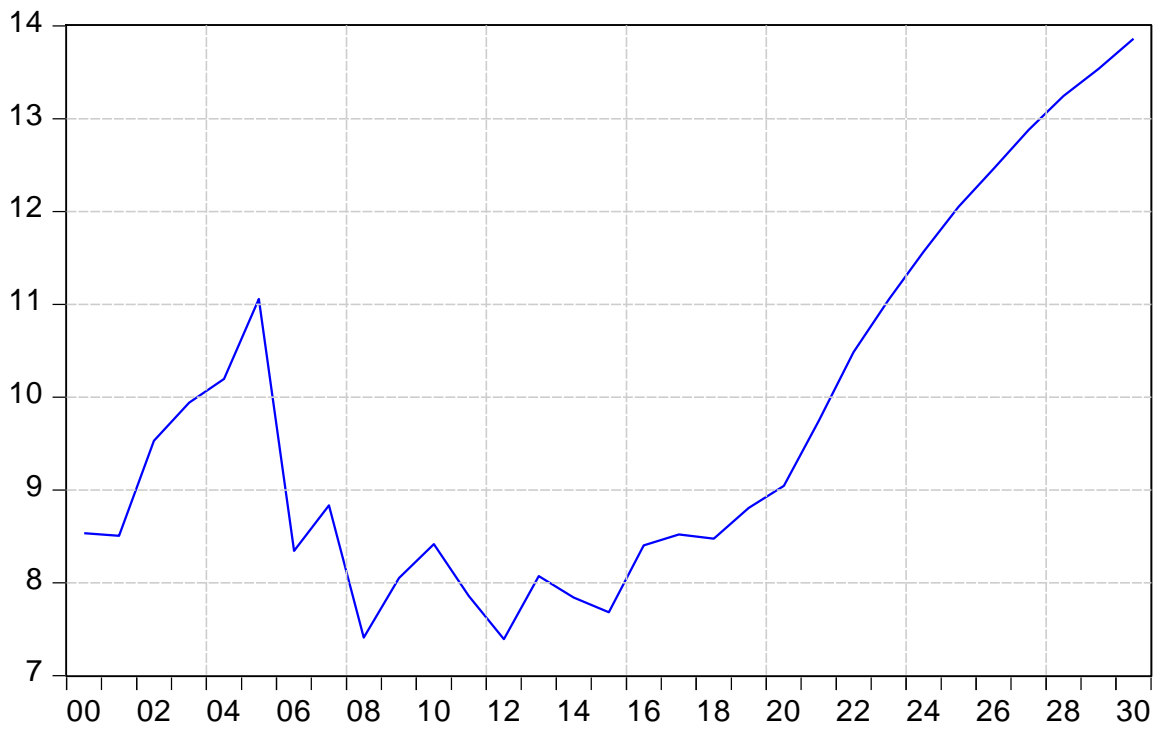


Рис 13. Водопотребление на тыс. га, млн. куб. м.

## КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате прогнозирования климатических параметров и стока рек выбранных участков ВХБ были выявлены следующие изменения: во всех водохозяйственных бассейнах ожидается повышение температуры воздуха, а также повышение сумм осадков в разной степени в зависимости от бассейна. Повышение температуры оказывает влияние на таяние ледников, что приводит к увеличению стока в горных реках до середины века, и к его уменьшению до конца столетия в результате уже истощения ледников в горах. В частности, такая тенденция изменения стока характерна для следующих ВХБ: Арал-Сырдарьинский, Ертисский, Шу-Таласский. Однако, для Балхаш-Алакольского ВХБ характерно увеличение стока к концу столетия, что можно объяснить возможной более продолжительной деградацией ледников.

Все равнинные ВХБ, в частности Нура-Сарысусский, Есильский, Жайк-Каспийский, и Tobол-Торгайский имеют тенденцию сокращения стока воды к концу столетия, что связано с увеличением температуры воздуха, высокой испаряемостью и незначительным повышением количества осадков.

Так, согласно результатам моделирования по двум сценариям *ssp 126* и *ssp 370* к концу столетия предполагается сокращение стока во всех водохозяйственных бассейнах, за исключением Балхаш-Алакольского ВХБ, где модель показывает увеличение стока воды до 2100 года.

Также согласно прогнозным оценкам, ожидается повышение водопотребления в результате увеличения площади орошаемого земледелия с 1.8 млн га до 3 млн к 2030 году, при этом ввиду роста среднегодовой температуры также будет увеличиваться водопотребление в расчете на 1 га земли

Попринимая во внимание планируемое увеличение орошаемых земель сельскохозяйственного назначения в стране, необходимо отметить возможный дефицит воды, в частности, на равнинных реках, и к концу столетия в горном регионе. Поэтому, при увеличении орошаемого земледелия, необходимо принимать во внимание вышеописанные результаты прогнозирования климатических параметров, а также стока воды в реках для каждого ВХБ отдельно.



Техническое состояние оросительных и сбросных каналов

(Данные КВР на 2017 год)

Название каналов	Общая протяженность по формам собственности, км	Состояние, км		
		удовл.	неудовл.	
			км	%
<b>Республиканская собственность</b>				
Магистральные каналы	7343,5	5801,37	1542,13	21
Межхозяйственные каналы	2811,1	1869,38	941,72	33,5
Внутрихозяйственные каналы	3489,24	1793,47	1695,77	48,6
Коллектора	35059	876,47	2629,43	75
<b>Коммунальная собственность</b>				
Магистральные каналы	2440,023	1046,349	1393,947	75
Межхозяйственные каналы	7050,016	2805,766	4244,25	80
Внутрихозяйственные каналы	8191,631	2411,047	5780,584	80
Коллектора	4855,79	1489,854	3365,936	92
<b>Частная собственность</b>				
Магистральные каналы	93,8	62,0	31,800	40
Межхозяйственные каналы	217,42	39,136	178,284	82
Внутрихозяйственные каналы	6532,813	321,052	6211,761	95
Коллектора	44,7	44,7		
<b>Бесхозная</b>				
Магистральные каналы	30,3	30,3		
Межхозяйственные каналы	117,75	30,63	87,12	90
Внутрихозяйственные каналы	1319,68	700,225	619,755	50
Коллектора	5292	176,2	353	85

## Список литературы

1. Всемирный Банк, 2015 <http://wdi.worldbank.org/table/3.5>
2. Национальный проект развития АПК РК на 2021-2025 годы  
<https://admin.primeminister.kz/assets/media/prilozhenie-k-natsproekt-apk.pdf>
3. Об утверждении Государственной программы развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017 – 2021 годы, Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 июля 2018 года № 423.  
<https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000423>
4. Официальный сайт Премьер Министра Республики Казахстан 2021:  
<https://www.primeminister.kz/ru/news/reviews/sohranenie-pozicii-zernovoy-derzhavy-orientir-na-importozameshchenie-i-vozmozhnosti-agropromyshlennogo-kompleksa-itogi-proshlogo-goda-i-plany-na-2021-god-1015314>
5. Официальный сайт Министерства Сельского Хозяйства Республики Казахстан 2021:  
<https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/205412?lang=ru>
6. Официальный сайт Министерства Сельского Хозяйства Республики Казахстан 2021., выступление Министра СХ РК:  
<https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/53111?lang=ru>
7. Официальный сайт Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК, 2021).  
<https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/press/news/details/138615?lang=ru>
8. Целевые показатели к Протоколу по проблемам воды и здоровья Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Республика Казахстан) 2017;  
[https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water\\_Convention/2016/Projects\\_in\\_Central\\_Asia/Baseline\\_study\\_and\\_target\\_indicators\\_to\\_the\\_Protocol\\_on\\_Water\\_and\\_Health\\_May\\_2017\\_RUS.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Baseline_study_and_target_indicators_to_the_Protocol_on_Water_and_Health_May_2017_RUS.pdf)
9. UNCE, 2015:  
[https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/03Mar\\_17\\_Bishkek/KG\\_12SC\\_Lev\\_RU.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/03Mar_17_Bishkek/KG_12SC_Lev_RU.pdf)