

УДК 556. 551,5. 551,58

ДИНАМИКА СТОКА РЕКИ ИРТЫШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

А.В.Чередниченко¹ д.г.н, А. В. Чередниченко² к.г.н, В.С.Чередниченко³ д.г.н, Д.М. Бурлибаева⁴ Ph.D, А.Ж. Уйсинбай³, Д.К. Кисебаев³

¹Университет «Туран» г. Алматы, Казахстан,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach г.Астана, Казахстан,

E-mail: aleksey3969@mail.ru

³КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАПЭ, г. Алматы, Казахстан

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Рассмотрена климатическая динамика температуры и влажности в регионе Казахского Алтая и её влияние на сток реки Иртыш (Ертыс). Показано, что климатические изменения в регионе в общих чертах отражают такие изменения на территории Казахстана, однако имеется ряд особенностей, заключающихся в степени выраженности экстремумов и некоторого их запаздывания по отношению к центральному Казахстану. Поверхностный сток следует за динамикой осадков и температуры в районе его формирования. Временной ход стока в верховьях и в среднем течении Иртыша существенно различен, что является результатом влияния хозяйственной деятельности, в результате которой его часть забирается безвозвратно. Выполнить количественные оценки потери стока оказалось затруднительным. Сделан прогноз ожидаемых изменений стока под воздействием климатических изменений.

Ключевые слова: Казахский Алтай, многолетние колебания климата, динамика стока реки Иртыш, прогноз

Поступила: 15.03.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-65-82

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения климата для человечества сегодня считается одной из важнейших. Термин «изменение климата» мы используем в качестве общего, включающего в себя все виды его непостоянства (тенденции, тренды, колебания, периоды, ритмы и др.) независимо от их природы (Stoker T.F. et al., 2013).

Проблема особенно важна для аграрно-промышленных стран, расположенных в аридной зоне, где сельскохозяйственная деятельность сильно зависит от погодных условий, а также для стран с ограниченными водозапасами. К таким странам относятся и Казахстан, где проблемой является даже недостаток питьевой воды (Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., 2015) В связи с этим целью данного исследования

является изучение динамики климата в бассейне реки Иртыш – крупнейшей реки Казахстана, построение сценария его возможных изменений на ближайшие десятилетия, а на этой основе - сценарий изменения стока реки Иртыш на этот же период.

Характеристика используемого материала и методы исследований

Регион исследований. Иртышский бассейн занимает территорию около 355 тыс. км². Он включает в себя Восточно-казахстанскую и Павлодарскую области и частично Акмолинскую и Карагандинскую (рис.1). Область формирования стока расположена практически полностью на территории Восточно-Казахстанской области в её старых границах (без бывшей Семипалатинской области). На реке Иртыш в единой системе задействованы три гидроузла: Бухтарминская,

и, соответственно, три водохранилища. Самым крупным является Буктырминское (Бухтарминское) водохранилище с площадью зеркала 5,5 тыс.км² и объёмом воды около 50 км³ (для сравнения: годовой поверхностный сток всего Казахстана в среднем составляет

около 100 км³). Это водохранилище создано в 1958...1963 гг. и с его помощью осуществляется межгодовое регулирование стока всего каскада ГЭС, оно играет основную роль в формировании всех попусков: энергетических, судоходных, природоохранных.

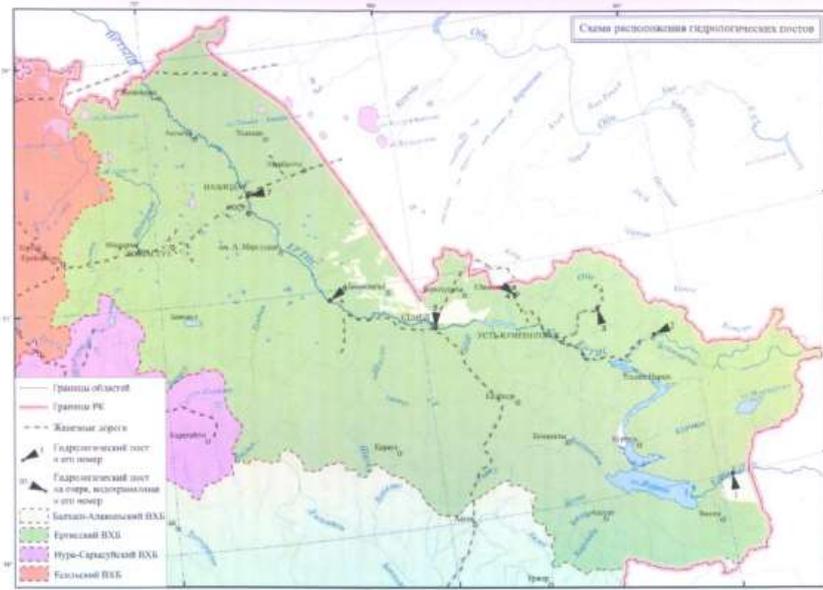


Рис. 1. Карта- схема региона исследований

Усть-Каменогорское водохранилище имеет небольшие регулирующие возможности и используется для недельно-суточного регулирования и перерегулирования попусков Буктырминской (Бухтарминской) ГЭС, основное его назначение – энергетическое.

Шульбинское водохранилище и гидроузел были построены в девяностые годы прошлого века для регулирования стока боковой приточности ниже плотины Буктырминской (Бухтарминской) ГЭС, в основном рек Убы (Оби) и Ульбы (Улби). В апреле-мае водохранилище срабатывается более чем наполовину для обеспечения орошения нижележащей поймы Иртыша, имеющей большое сельскохозяйственное значение.

Рассматриваемая территория представляет собою складчато-глыбовую горную область с абсолютными высотами от 200 до 4500 м. Для правобережья Иртыша характерно понижение хребтов и дна долин с юго-востока на северо-запад, а для левобережья – от высокогорного и среднегорного рельефа на юге до Казахской складчатой страны и холмисто-грядового мелкосопочника на севере и западе т.е. от верховьев Ирты-

ша к низовьям высота рельефа окружающей местности понижается. На северо-востоке мелкосопочник плавно переходит в Прииртышскую равнину, а на юго-западе окаймляется низкорным хребтом Чингиз тау.

Территория Иртышского бассейна характеризуется резко континентальным климатом. Из-за большой удалённости от Атлантики влажные воздушные массы доходят сюда уже потерявшими значительную часть влаги, а воздушные массы, приходящие сюда с Северного Ледовитого океана, обычно содержат мало влаги. В зимнее время регион находится большую часть времени под влиянием отрога Сибирского антициклона, который обуславливает очень низкие температуры воздуха и отсутствие осадков (Бугаев В.А., 1957). Подробные данные о климате региона можно найти в (Справочник по климату Казахстана., 2005).

В бассейне реки Иртыш (Ертыс) проживает более 2,2 млн. человек. Промышленная деятельность концентрируется в основном в двух регионах: Восточно-Казахстанской области - здесь сосредоточена значительная доля казахстанской

казахстанской горно-добывающей и металлургической промышленности цветных металлов, золота и др.; в основном это Восточно-Казахстанская область (Усть-Каменогорск, Зыряновск, Риддер); в Павлодарской области - где тоже сосредоточены предприятия металлургии и энергетики (Павлодар, Экибастуз, Аксу, Майкаин и др.). Сельскохозяйственная отрасль тоже достаточно развита в этом регионе. Все виды хозяйственной деятельности, представленные в регионе, являются потребителями воды. Это потребление, как правило, большей частью безвозвратное в отличие от энергетических предприятий и некоторых других предприятий региона. Потребителями воды являются и сами водохранилища, согласно (Анисимов О.А. и др., 2002) с их поверхности испаряется слой воды около одного метра. В то же время само существование активной экономической деятельности здесь обусловлено наличием достаточного количества воды, т.е. рекой Иртыш (Ертыс) и её притоками.

Суммарные водозаборы с реки Иртыш и её притоков огромны. По разным данным (Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., 2015) они в отдельные годы достигали 7,5 км³ или даже более.

Характеристика используемого материала и методика исследований

Исходными данными для изучения изменения климата в бассейне реки Иртыш и его влиянии на поверхностный сток были ряды средней месячной и годовой температуры воздуха и осадков за весь период наблюдений по ряду метеорологических станций и гидрологических постов бассейна. Однако особое внимание было уделено анализу рядов за период с 1930 г. по настоящее время. За этот же период были использованы данные о величине стока реки Иртыш и ряда её притоков в основном в зоне формирования стока. Однако были использованы временные ряды стока по постам вплоть до границы с Россией.

Широко распространённым методом аппроксимации временных рядов является линейная. Однако успешная линейная аппроксимация временного ряда на большом временном промежутке практически

невозможна из-за наличия значительных колебаний изучаемого признака. В таком случае прибегают к кусочной линейной аппроксимации, разбивая ряд на несколько относительно линейных отрезков. Однако в любом случае сохраняется главный недостаток линейной интерполяции, то что вычисленный тренд зависит от длины ряда. В этом случае чувствительность с увеличением аппроксимируемого отрезка быстро снижается. Примером заниженной чувствительности ряда могут служить данные, содержащиеся в (Долгих С.А., 2014). Авторы не смогли выделить период стабилизации климатической температуры над Казахстаном, отмеченный всем мировым научным сообществом и нами (Чередниченко А.В., 2015; Amaya D.J., and others., 2016; Rahmstorf S. 2015), хотя чисто качественный анализ тех же рядов легко позволял это выявить.

Полиномиальная аппроксимация является разновидностью сглаживания ряда. При этом, однако, смещения экстремумов не происходит, что является достоинством метода. Подбирая степень полинома, можно регулировать сглаживание. Полином шестой степени, по нашему мнению, является оптимальным при выделении климатических колебаний. Однако на краях ряда он очень чувствителен к колебаниям признака, в том числе к случайным. Поэтому результат полиномиальной экстраполяции нельзя экстраполировать на перспективу, т.е. использовать для построения сценариев ожидаемого изменения климата. Для этого наряду с полиномиальной аппроксимацией мы использовали гармонический анализ. Гармоники, как известно, трактуются как результат воздействия на метеорологическую систему некоторых факторов и оно, это воздействие, вряд ли прекратится в ближайшее время. Поэтому основные гармоники разложения временного ряда могут служить основой для построения сценария изменения климата на перспективу. В данной работе основой для таких сценариев являются именно результаты гармонического анализа.

Все исходные данные перед анализом были подвергнуты тщательному техническому и критическому контролю

в соответствии с принятыми подходами (Мишулина О.А., 2004; Чичасов Г.Н., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ряде работ было показано, что поверхностный сток очень чувствителен к динамике осадков в районе его формирования не только в аридных областях (Beek A.T., Vos F., Florke M., 2011), но также в условиях Европы (Herra P.M., Hiscok K.M., 2008) и даже в зонах большого количества осадков в бассейне реки Янцзы (Jiang T., Su B.D., Hartman H., 2007). Поэтому для прогноза количества осадков на перспективу мы выбрали именно этот путь. Сначала была изучена динамика осадков и температуры в бассейне, затем рассмотрена динамика стока, затем, найдя связи между динамикой осадков и температуры с одной стороны и величиной стока с другой, мы построили сценарий ожидаемого изменения стока на перспективу. В его основе лежит сценарий ожидаемой динамики осадков, скорректированный на ожидаемую динамику температуры.

Усть-Каменогорск находится практически в центре территории водосбора реки Иртыш. Начнём поэтому анализ изменения климата в регионе с этой станции. Временной ход температуры воздуха, аппроксимирован прямой линией и полиномом шестой степени (рис. 2).

Можно видеть, что в течение данного периода температура воздуха повышалась в среднем на $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Однако на фоне повышения имели место заметные колебания температуры с максимумами в ранние сороковые, восьмидесятые годы и в начале XXI века. Сравним температуры по линейному тренду и аппроксимированные полиномом шестой степени (рис. 2). Потепление в ранние сороковые годы было особенно значительным. Оно составило почти 1°C по отношению к линейному тренду. Соответственно имели место и похолодания в ранние шестидесятые и девяностые годы, похолодание в ранние шестидесятые годы составило около $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализ исходного временного ряда позволяет сказать, что в конце временного периода имеет место стабилизация роста температуры.

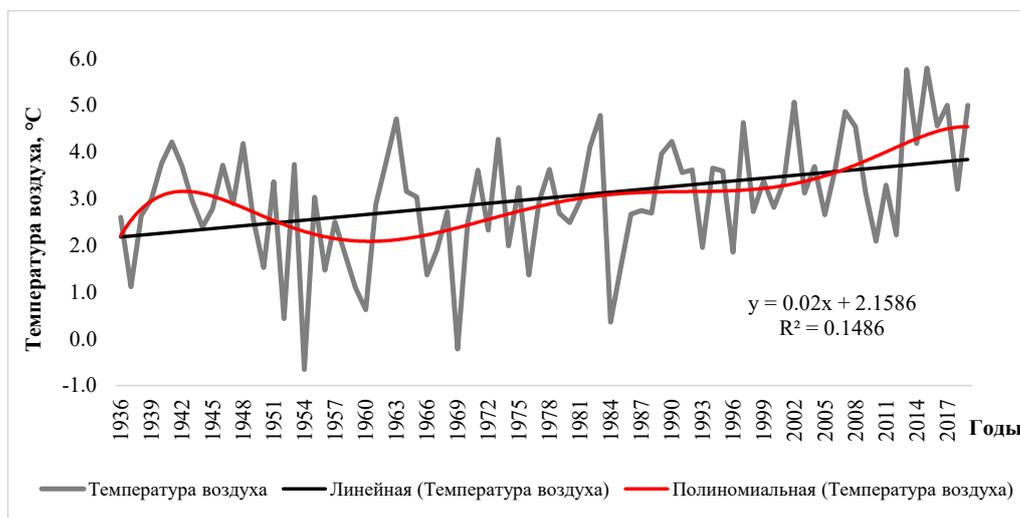


Рис. 1. Временной ход годовых величин температуры воздуха на станции Усть-Каменогорск

В исходном временном ряде годовых температур чётко выделяются особенно холодные годы: 1954, 1969, 1984 и 2010, а также особенно тёплые 1941, 1963, 1983, 2002 и 2013. Представляло интерес выяснить как формируется экстремальная годовая температура, за счет одного какого-то сезона или экстремальными являются большинство месяцев года. На рис.3

представлен годовой ход средней месячной температуры в экстремально холодные, а на рис. 4 – в экстремально тёплые годы.

Из рис.3 можно видеть, что в течение значительной части рассматриваемого зимнего периода имел место рост температуры примерно до конца XX века. После этого рост температуры прекратился и в течение первого десятилетия XXI

века температура понижалась, после этого снова появилась тенденция к росту. В летние месяцы рассматриваемого периода (рис. 3) рост температуры практически не просматривается, хотя определённые колебания вокруг нормы имели место с минимумом в восьмидесятые годы прошлого века. Сравни-

вая межгодовую изменчивость температуры в зимний и летний периоды, находим, что в летний период она близка или меньше 2°C, а в зимний - близка или больше 4°C. Это характерно для большей части Казахстана, расположенной западнее (9,15...20) и характерно в целом для умеренных широт (21 и др.).

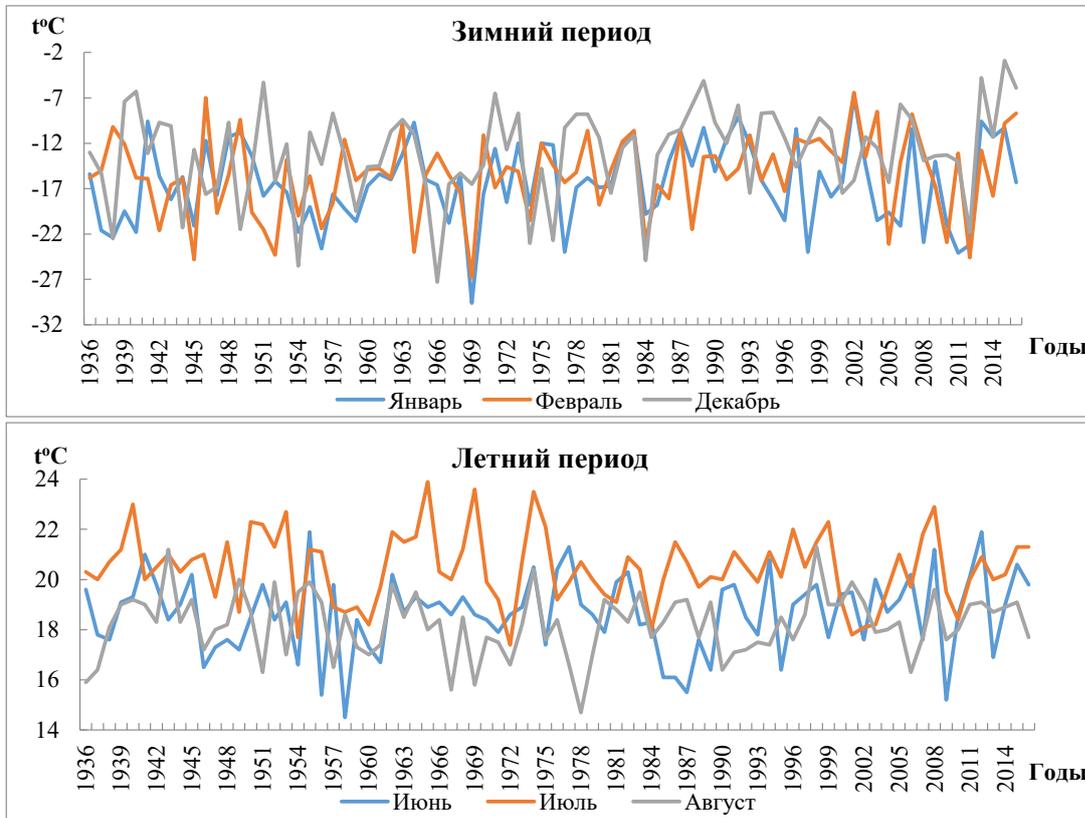


Рис. 3. Усть-Каменогорск. Временной ход температуры в зимние (а) и летние (б) месяцы

Рассмотрим далее временной ход годового количества осадков (рис.4).

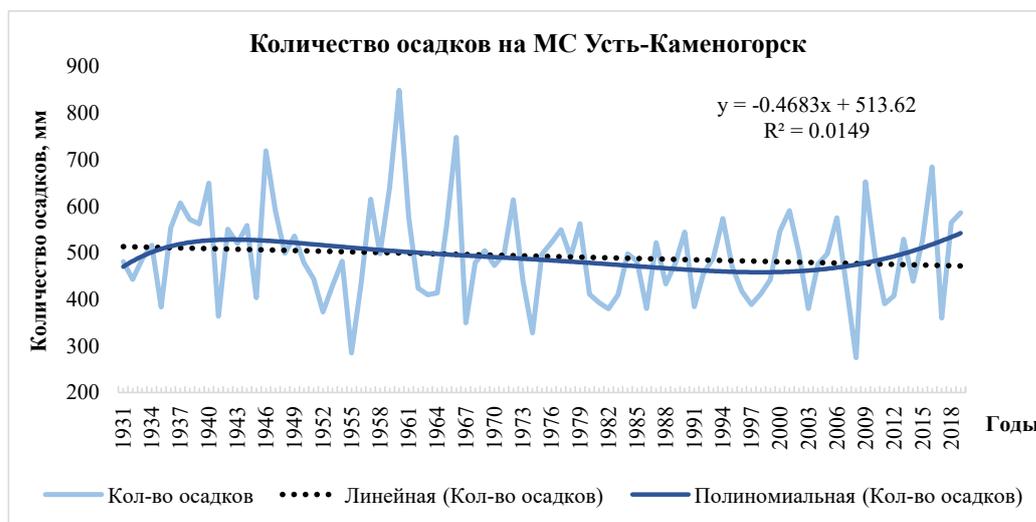


Рис. 4. Временной ход годового количества осадков. МС Усть-Каменогорск

Согласно линейной аппроксимации в течение последних восьмидесяти лет количество осадков в районе Усть-Каменогорска плавно снижалось примерно с 510 до 475 мм/год, т.е. по 3,5 мм/10лет. В исходном временном ряде осадков выделяется несколько экстремумов без выраженной периодичности. Наибольшее количество осадков имело место в 1960 г. – 849 мм, а наименьшее – в 2008

г. – 275 мм. Согласно полиномиальной аппроксимации во временном ряде всё же выделяется два слабых климатических экстремума: максимум осадков в начале сороковых годов и минимум в конце девяностых годов.

На рис. 5 показан график зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Усть-Каменогорск.

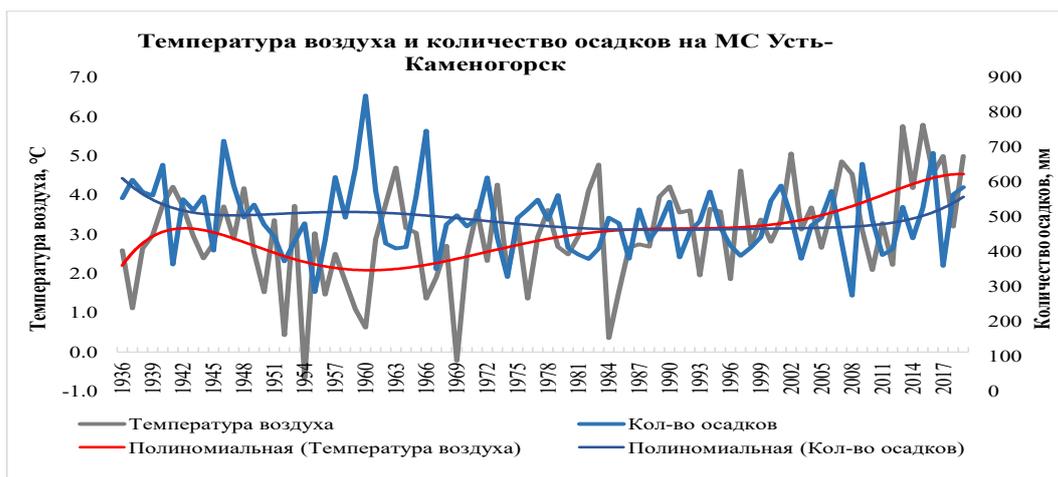


Рис. 5. График зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Усть-Каменогорск

На данном графике можно заметить, что с увеличением температуры количество осадков уменьшается, и наоборот, с уменьшением температуры воздуха количество осадков увеличивается. В пятидесятые – семидесятые годы прошлого века при снижении температуры примерно на 0,9 °C количество осадков возросло примерно на 15 мм. Существует таким образом обратная связь, что указывает на преобладающее влияние

на обнаруженную связь осадков тёплого периода, так как осадки зимой выпадают на фоне повышения температуры. Доказательство связи подтверждается коэффициентом корреляции равной минус 0,16, однако корреляционная связь слабая, что естественно. Рассмотрим временной ход годовых величин температуры воздуха на МС Семипалатинск за тот же временной период (рис. 6).

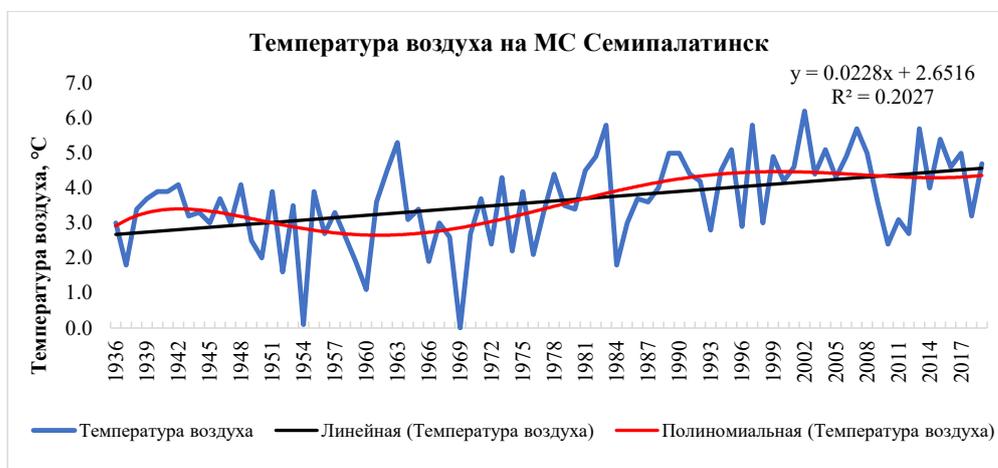


Рис. 6. График распределения годовых температур воздуха на МС Семипалатинск

Сравнивая временной ход температуры в Усть-Каменогорске и в Семипалатинске можно отметить, что в общем они сходны. Также на фоне роста температуры имеется максимум в сороковые и минимум в шестидесятые годы, и по величине линейного тренда, и по величине отклонения температуры от линейно-интерполированной, тоже примерно равны. В конце периода, как и в Усть-Каменогорске, имеет место некоторая стабилизация температуры. В то же время имеющий место в Семипалатинске небольшой максимум в конце девяностых годов, в Усть-Каменогорске отсутствует. Кроме того, исходный ряд температуры в последние годы характеризуется прекращением роста температуры, как и в Усть-Каменогорске, однако использовать результаты аппроксимации для этого участка не представляется возможным, поскольку это конец ряда, где аппроксимация даёт ненадёжные результаты.

Согласно рис. 6 экстремумы температуры воздуха в Семипалатинске отмечались в те же годы, что и в Усть-Каменогорске, они несколько различаются только величинами. По линейному тренду наблюдается

тенденция увеличения температуры воздуха со скоростью 0,2 °С/10 лет. На графике по полиномиальному тренду можем наблюдать, как и в Усть-Каменогорске, похолодание в начале шестидесятых годов, далее потепление к концу девяностых годов и снова некоторое похолодание в начале XXI века.

Известно, что зимние значения температуры имеют больший вес в суммарных многолетних характеристиках из-за их большей естественной изменчивости. В этом сезоне естественная изменчивость температуры в умеренных широтах в два раза больше чем летом. Зимой роль радиационных факторов ослаблена и доминирующее значение имеет общая циркуляция атмосферы, которая находится под влиянием циркуляции и состояния океана (Логинов В.Ф., Лысенко С.А., 2019) В нашем случае тоже мы видим, что в Семипалатинске, как и в Усть-Каменогорске, изменчивость зимних температур превышает 4°С, а летних – близка к 2°С

На рис. 7 представлен график временного хода годовых значений осадков на МС Семипалатинск.

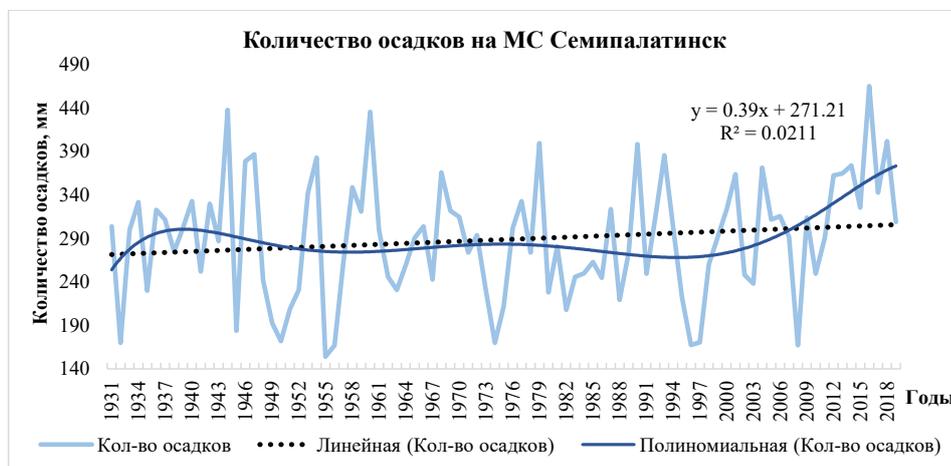


Рис. 7. График распределения годовых температур воздуха на МС Семипалатинск

При общем сходстве рядов осадков в Усть-Каменогорске и Семипалатинске, характеризующимся малой климатической изменчивостью осадков на обеих станциях, и сходством аппроксимационных кривых шестой степени, временем наступления экстремумов, имеется и различие: 1) среднее годовое количество осадков в Семипалатинске примерно на 200 мм меньше чем в Усть-Ка-

меногорске; 2) кривая линейной аппроксимации показывает положительный тренд осадков в Семипалатинске, в то время как в Усть-Каменогорске он был отрицательным.

На данном графике по линейному тренду наблюдается тенденция увеличения количества осадков со скоростью 3,9 мм/10 лет. Однако, при межгодовой изменчивости осадков, превышающей

150 мм/год при годовой сумме осадков около 300 мм (Справочник по климату Казахстана, 2005), линейные тренды, построенные для всего временного ряда (около 90 лет), которые имеют место, малозначимы. Экстремумы количества осадков отмечаются в те же годы, что и в Усть-Каменогорске – 2016 году 465 мм, в 1944 и 1960 гг. – 438 и 436 мм, соответственно. Минимум количества осадков имел место в 1955 году – 154 мм.

Совпадение экстремумов говорит о том, что они обусловлены одними и теми же крупномасштабными синоптическими процессами, однако наличие гор в регионе Усть-Каменогорска интенсифицирует процессы осадкообразования. Наличие гор сглаживает также выраженность синоптических процессов.

На рис. 8 показан график зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Семипалатинск.

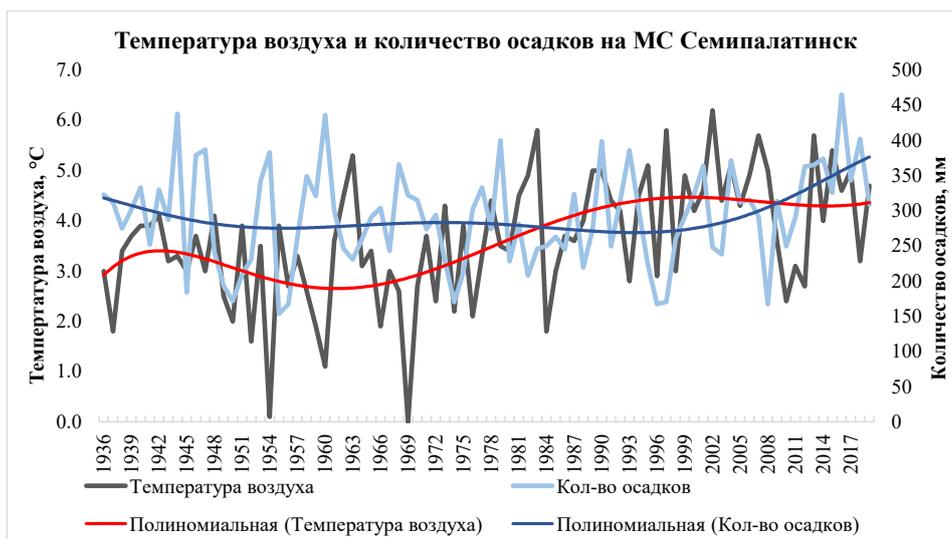


Рис. 8. Временные ряды температуры воздуха и количества осадков. МС Семипалатинск

Мы можем наблюдать, что зависимость между температурой воздуха и количеством осадков такая же, как и для Усть-Каменогорска, т.е. с увеличением температуры количество осадков уменьшается, и наоборот, с уменьшением температуры воздуха количество осадков увеличивается. Величина изменения количества осадков при понижении температуры на 1°C тоже составила примерно 10...15 мм. Коэффициент корреляции зависимости равен минус 0,09, что доказывает о том, что существует обратная связь, но она слабая, причина этого объяснена выше.

Представляет интерес рассмотреть, как временной ряд стока реки Иртыш согласуется с временными рядами осадков. Однако поскольку сток зарегулирован, при этом Буктырминское (Бухтарминское) водохранилище является объектом многолетнего регулирования, то рассчитывать на наличие согласованности в рядах осадков и стока Реки Иртыш не приходится. Рассмотрим поэтому наличие согласованности между осадками и

стоком малых рек и осадков на территории водосбора, формирующих сток реки Иртыш. При этом временной ряд осадков станции Усть-Каменогорск считаем характерным для всего бассейна водосбора реки Иртыш.

Для анализа стока в зоне его формирования мы выбрали четыре поста, на четырёх разных реках, сток которых, по нашему мнению, достаточно хорошо отражает условия его формирования. Эти посты следующие: 1) пост Боран на реке Чёрный Иртыш, 2) пост «устье реки Берёзовка» (Лесная пристань), 3) пост на реке Уба, 4) пост Шемонаиха на реке Ульба. Расположение постов показано на рис.1.

На рис. 9 представлены временные ряды стока рек на перечисленных постах.

Можно видеть, что кривые полиномиальной аппроксимации стока на всех постах очень похожи. Они имеют практически синхронное совпадение экстремумов стока (рис. 9). Однако амплитуда климатических колебаний стока на взятых постах очень разная.

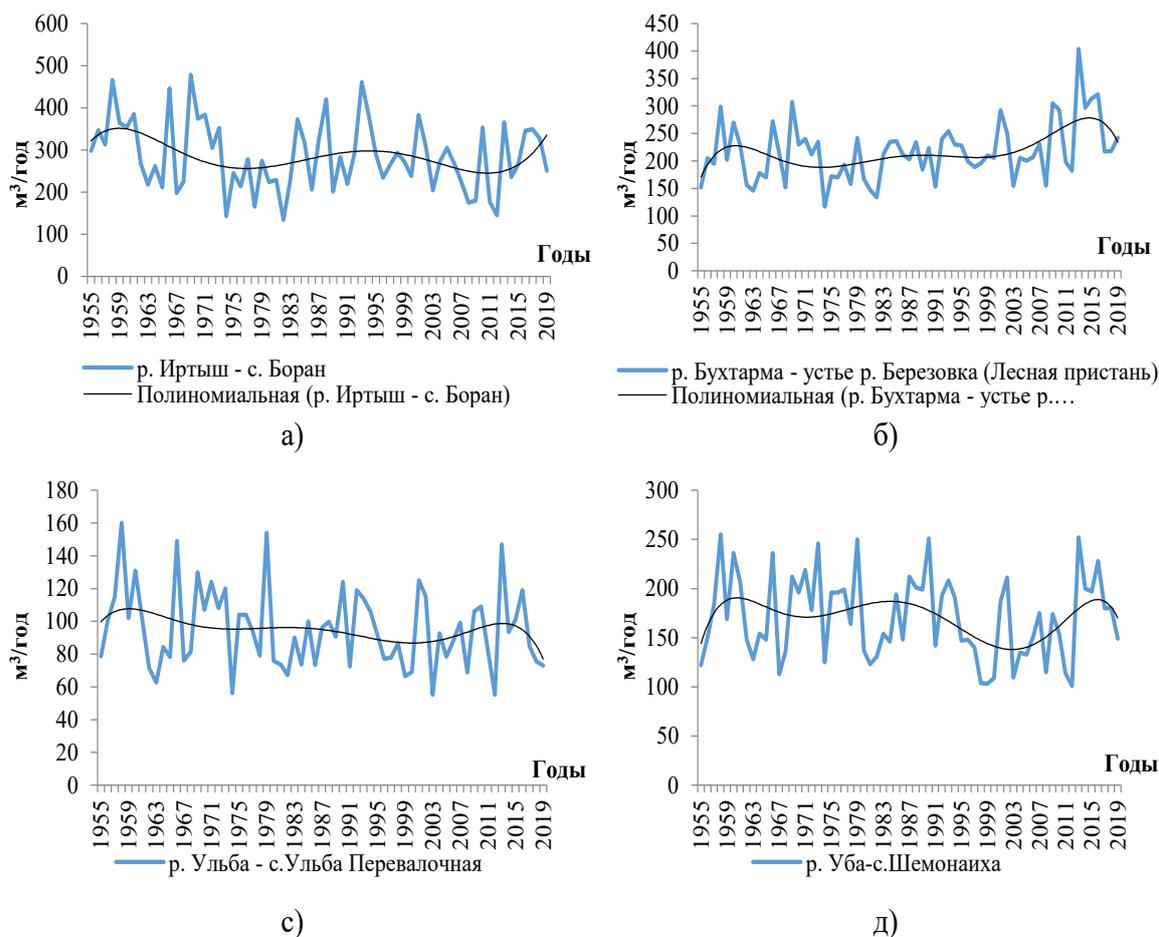


Рис. 9. Временные ряды стока рек на перечисленных постах а) пост Боран на реке Чёрный Иртыш, б) пост «устье реки Берёзовка» (Лесная пристань), в) пост на реке Уба, д) пост Шемонаиха на реке Ульба

Она максимальна на реке Уба, несколько меньше на посту Боран (река Чёрный Иртыш) и ещё меньше на реках Ульба и Бухтарма (Буктырма). Первые две реки формируют свой сток на периферии Казахстанского Алтая, а вторые (Уба и Берёзовка) внутри него, где влияние крупномасштабных синоптических процессов, определяющих климат и его динамику, существенно сглаживается. Это и определяет особенности динамики стока рассмотренных постов. В то же время временной ход стока на выбранных реках хорошо повторяет климатическую динамику осадков в Усть-Каменогорске, расположенном в центре района формирования стока, а также в Семипалатинске, отражающем динамику общей циркуляции атмосферы. Это даёт нам основание для прогнозирования стока реки Иртыш на перспективу использовать ожидаемые климатические

изменения количества осадков в регионе.

Для прогноза климатических изменений температуры возьмем её временной ряд для Семипалатинска (рис. 7) – станции, расположенной в том же регионе, но на равнине и поэтому лучше улавливающей крупномасштабные процессы, определяющие изменение климата (Гирс А.А., 1971; Бугаев В.А. и др., 1957; Чередниченко А.В., Чередниченко В.С., 2020). Результаты анализа этого ряда и прогноз на перспективу представлены на рис.10.

Из рис.10 видно, что вековая гармоника (90 лет) выбирает около 90% дисперсии (1,9°C). Поэтому мы можем для построения прогноза климатического изменения температуры на перспективу использовать только её. Величины вековой значимости гармоники находятся на нисходящей ветви около климатической нормы,



Рис. 10. Временные ряды температуры воздуха и количества осадков. МС Семипалатинск

минимум ожидается около 2050 г. и значения климатической температуры, несмотря на наличие межгодовых колебаний, понизятся по отношению к настоящему времени примерно на $1,3^{\circ}\text{C}$.

Далее подвергнем гармониче-

скому анализу как временной ряд осадков в Усть-Каменогорске, который характеризует режим осадков в районе формирования стока так и ряд в Семипалатинске, характеризующий крупномасштабные синоптические процессы (рис.11).

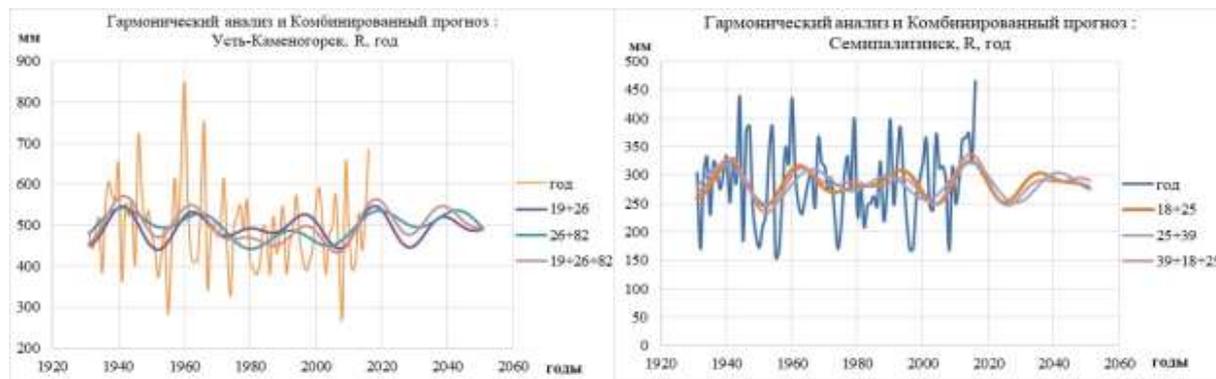


Рис. 11. Результаты гармонического анализа временных рядов осадков в Усть-Каменогорске

Можно видеть, что в обоих временных рядах осадков обнаружены практически одни и те же гармоники. Определяющими являются гармоники в 39,26 и 19 лет. Каждая из них выбирает одну и ту же величину дисперсии, до 50 мм, что характерно для гармоник в рядах осадков (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В. и др., 2013; Чередниченко А.В., 2013). Поэтому для построения сценария на перспективу используем все три гармоники (рис.12). Можно видеть, что в период примерно с 2015 г. в районе водосбора имеет место снижение годового

количества осадков, которое продолжится примерно до 2030 г. и общее снижение за указанный период достигнет 90 мм, начиная с настоящего времени – около 60 мм или 45 мм от нормы. Это безусловно значимое снижение, однако к этому времени ожидается понижение климатической температуры примерно на $0,7^{\circ}\text{C}$, что должно снизить потери на испарение в зоне водосбора примерно на 10 мм. Снижение потерь на испарение произойдет также во всём бассейне реки Иртыш. Оценим потери стока, обусловленные ожидаемым продолжением

снижения количества осадков на фоне некоторого понижения температуры.

Связь между количеством осадков и величиной поверхностного стока в бассейне очень сложна. Обстоятельный анализ факторов, определяющих коэффициент стока, зависящего от интенсивности осадков, состояния поверхности почвы и др. содержится в (Alexander Cherednichenko et al., 2015). Однако в случае климатических оценок уже можно пренебречь зависимостью величины стока от влагосодержания почвы, состояния озёр в бассейне, питающих подземный сток, и др., приняв, что на данном климатическом отрезке они неизменны и постоянны. Тогда величина стока будет определяться только колебаниями количества осадков и в пределах изменчивости количества осадков в 20% связь между ними и величиной стока линейная.

Сток рек, данные которых нами проанализированы выше, изменяется примерно синхронно изменению стока, разброс величин корреляции незначителен. Можно поэтому считать, что это соотношение справедливо для всего бассейна.

Мы ожидаем, что в период до 2030 г. произойдёт дальнейшее понижение количества осадков в районе водосбора примерно на 45 мм/год (до 10% от нормы). Соответственно и общий сток по территории водосбора уменьшится на 10%. В следующее десятилетие, в период до 2040 г. осадки, увеличатся на 60...70 мм/год (10...15%). Соответственно сток тоже возрастёт на 10...15 %, вернувшись к норме.

На сколько необычно ожидаемое снижение стока? Проанализировав временной ряд стока реки Иртыш по данным поста Семиярка, т.е. ниже всех водохранилищ, мы нашли, что его межгодовая изменчивость может достигать 30 %, а усреднённая (сглаженная) за несколько лет – в пределах 15%. Приняв за норму среднего стока величину 880... 900 м³/с, мы обнаружим, что в годы строительства первых водохранилищ в ранние шестидесятые годы прошлого века она составляла 680...770 м³/с, в ранние восьмидесятые – 660...880 м³/с, т.е. сток был на 10...15% ниже нормы. Правда, в конце шестидесятых-начале семидесятых он превышал 1100 м³/с, был близок к этим значени-

ям (около 1000 м³/с) в ранние девяностые и в 2013...2015 гг. Сейчас он находится около нормы и понизится согласно нашим прогнозам к 2030 г. на 10...15%, а затем начнётся такое же увеличение стока к 2040 г., что находится в пределах его естественных колебаний.

ДИСКУССИЯ

Полученные нами результаты об изменении климата для бассейна реки Иртыш показывают, что региональные изменения климата в общем сходны с результатами, полученными нами для Казахстана в целом (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В., 2010; Чередниченко А.В., Чередниченко В.С., 2020; Чичасов Г.Н., 2017). Они также близки к официальным (Долгих С.А., 2014), за исключением того, что в последних не зафиксирована пауза в росте температуры, отмеченная многочисленными исследователями дальнего зарубежья, а также авторскими исследованиями (Медеу А.Р., и др. 2015). Метод линейной аппроксимации, который, как показано выше, реагирует на изменения с большим опозданием, и хотя из временного ряда приведённого в (Долгих С.А., 2014), уже видно, что температура в Казахстане стабилизировалась, тренд оставался положительным.

Известно, что периоды глобальных потеплений и похолоданий в разных частях земного шара не совпадают. Их продолжительность тоже может изменяться на несколько лет (Логинов В.Ф., Лысенко С.А., 2019; Чередниченко А.В., 2013; Чередниченко А.В., 2020). На территории Казахстана стабилизация температуры имела место в период с 1996 по 2012 гг. с разбросом в несколько лет в зависимости от региона (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В. и др., 2013; Чередниченко А.В., 2010; Чередниченко А.В., 2020; Alexander Cherednichenko et al., 2015).

Несмотря на важность проблемы водообеспечения в Казахстане, исследований по бассейну реки Иртыш не так много (Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., 2015; Медеу А.Р. и др., 2015; Смагулов Ж.Ж., 2019), исследований по ожидаемой динамике стока в связи с изменением климата мы не нашли.

Работа (Смагулов Ж.Ж., 2019) посвящена по прогнозу водопотребления в бассейне при разных сценариях водозабора со стороны Китая и Казахстана. Авторы разделили бассейн на четыре принципиально разных по формированию стока и водопотреблению участка, начиная от верховьев: 1) от государственной границы с КНР до нижнего бьефа Буктырминского водохранилища; 2) - до нижнего бьефа Шульбинского водохранилища; 3) - до границы Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей; 4) оставшая часть бассейна до границы с Россией. Для нас представляют интерес два первых участка, где формируется сток. Для каждого из участков составлен водохозяйственный баланс по десятилетиям, начиная с 1980 г. Баланс составлен, как сообщается, на основании данных по постам Казгидромета и отчётов бассейновой инспекции. О погрешностях расчётов, которые вряд ли ниже 10% от стока Иртыша и в несколько раз превышают некоторые составляющие баланса (потери воды при оседании льда, подземный отток), в работе (Смагулов Ж.Ж., 2019) ничего не сказано. Результаты расчётов, выполненные на основе данных постов Казгидромета о расходах действительно можно принять за основу. Что же касается других данных, то в самой работе совершенно нет никакой информации по их обоснованию. Поэтому имеется ряд важных замечаний, которые требуется учитывать, особенно при прогнозах.

Авторы работ, не ссылаются на методические источники и в этом случае не ясно, по какой методике, на основе каких данных рассчитывались русловые потери. Почему в первом горном районе, где формируется поверхностный сток, эти потери составляют 12...17 % от стока (от 3,0 до 4,7 км³), а в третьем и четвертом равнинных, где имеет место только потеря стока, эти потери оцениваются только в 1,0...1,5% (0,26...0,36 км³). Более того, в четвёртом районе, где огромная по площади заливная пойма, суммарные потери стока (русловые потери плюс потери по пойме) не превышают 1,0 км³. Правда, авторы (Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., 2015) счита-

ют, что «объём потребляемой поймой воды 1,1...2,5 км³», т.е. в несколько раз больше. Эти и другие расхождения в оценках говорят о всей условности количественных оценок нынешнего водного баланса бассейна.

Далее, в списке литературы к (Смагулов Ж.Ж., 2019) и в тексте имеются ссылки на международные правила и соглашения по трансграничным рекам, называется допустимый забор 50%, а в балансе допускается снижение притока по Чёрному Иртышу на 7,7 км³ до 2,0 км³, т.е. на 80%. Кстати, средний расход Чёрного Иртыша за период, взятый авторами (Смагулов Ж.Ж., 2019) для расчётов, составляет 275,7 м³/с или 8,7 км³/год. Тогда остаток стока после изъятия 7,7 км³ составит только 1,0, а не 2,0 км³, как указано в балансе. Международные правила (Бурлибаева Д.М., 2017, Конвенция, 1997; Конвенция, 1993, Справочник по климату Казахстана, 1957) рекомендуют не осуществлять забор воды более 50% стока. Кроме того, существует понятие экологического стока, а «экологический сток не может быть меньше минимальных расходов воды, наблюдаемых в данном створе за многолетний период» (Бурлибаева Д.М., 2017).

В последние 40 лет, минимальный средний сток имел место в 1983 г. и составлял 134 м³/с или 4,2 км³, что одновременно составляет и 50% среднего стока. Это в два раза выше, чем закладывают авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) в своём прогнозе. И хотя приведённые выше международные критерии - всего лишь рекомендации (Бурлибаева Д.М., 2017: , Конвенция, 1997; Конвенция, 1993, Хельсинкские правила, 1966) маловероятно, что Китай превысит их ещё и потому, что при существующей межгодовой изменчивости стока Чёрного Иртыша для поддержания устойчивого водопотребления потребуются большие водохранилища с большими потерями.

Имеются и другие менее значимые комментарии.

а) осадки суммарные на перспективу даются с увеличением по десятилетиям, на основе чего?

б) по первому району даётся подземный отток, как он рассчитывался?

в) осталось не выясненным, как при

прогнозируемой потере почти 8,0 км³ стока (более 25%) в первом районе авторам удалось сделать баланс положительным в четвертом районе на все десятилетия вперед.

Не хочется думать, что ответ на этот вопрос, как и на первый, содержится в конце статьи.

Согласно (Медеу А.Р., 2015) за период с 1958 по 1975 г. средний водозабор в бассейне составлял 1,318 км³, а в 1993 г. уже 7,614 км³. В последующие годы водозабор варьировал от 2,5 до 4,3 км³. Безвозвратный водозабор варьировал от 65 до 45%. При этом неучтенный водозабор по некоторым данным достигал 1,0 км³.

Проблема бассейна Иртыша, следовательно, не в ожидаемом уменьшении стока в связи с глобальным потеплением, даже авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) закладывают на перспективу рост осадков, а во всё увеличивающемся водопотреблении и отсутствии должного его учёта, необходимости поиска путей его оптимизации, отсутствии серьёзного научного обоснования всех составляющих водохозяйственного баланса, ожидаемых его изменениях на перспективу.

ВЫВОДЫ

Сток реки Иртыш составляет 25...30% от общего поверхностного стока республики Казахстан. Естественно поэтому, что прогноз его возможных изменений под воздействием глобального изменения климата, изменений, связанных с хозяйственной активностью китайской стороны, нашими собственными проблемами в организации прозрачного водопользования в бассейне очень важен. Наша задача заключалась в оценке возможных изменений стока под влиянием климатических изменений.

Ввиду того, что в бассейне расположено несколько крупных водохранилищ, в т.ч. Буктырминское водохранилище многолетнего регулирования, установить прямую связь между стоком Иртыша и осадками в бассейне его формирования оказалось невозможным. Нами было показано, что сток малых рек, формирующих суммарный сток

реки Иртыш, в общем хорошо согласуется временным рядом осадков на территории водосбора. Это позволило нам на основе гармонического анализа осадков и температуры построить сценарии их изменения на ближайшие 20...30 лет, а затем на основе связей между осадками и поверхностным стоком – сценарий ожидаемого изменения стока реки Иртыш, не подверженного антропогенному воздействию, на тот же период.

Получено, что в настоящее время сток реки Иртыш находится около нормы и в период до 2030 г. произойдёт понижение количества осадков в районе водосбора примерно на 45 мм/год (до 10% от нормы). Соответственно и общий сток по территории водосбора уменьшится на 10%. В следующее десятилетие, в период до 2040 г. осадки, увеличатся на 60-70 мм/год (10...15%). Соответственно сток тоже возрастет на 10...15 %, вернувшись к норме.

Относительно ожидаемого забора воды китайской стороной можно отметить, что минимальный средний сток (экологический сток) имел место в 1983 г., расход составлял 134 м³/с или 4,2 км³, что одновременно составляет и 50% среднего стока. Это в два раза выше, чем закладывают авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) в своём прогнозе. И хотя приведённые выше международные критерии – всего лишь рекомендации, маловероятно, что Китай превысит их ещё и потому, что при существующей межгодовой изменчивости стока Чёрного Иртыша для поддержания устойчивого водопотребления потребуются большие водохранилища с большими потерями.

Проблема бассейна Иртыша, следовательно, не в ожидаемом уменьшении стока в связи с глобальным потеплением, а во всё увеличивающемся водопотреблении и отсутствии должного его учёта, необходимости поиска путей его оптимизации, отсутствии серьёзного научного обоснования всех составляющих водохозяйственного баланса, ожидаемых изменений этих составляющих на перспективу. Перечисленные выше вопросы ожидают своего решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов О.А. Последствия изменений климата в регионах северного полушария//Изменения климата и их последствия. СПб:Наука. 2002.-С.239-250.
2. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Анализ влияния весенних обводнительных попусков реки Ертис на состояние речной экосистемы//Сб. «Некоторые аспекты гидроэкологических проблем Казахстана», 2015, вып. 2. С.145-158.
3. Бурлибаева Д.М. Гидроэкологические основы деления вод на трансграничных реках Казахстана. Монография.-Алматы: изд. «Каганат»-2017.-340с.
4. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л., Гидрометеиздат, 1971. 488 с
5. Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков ООН [Электронный ресурс] / (Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses) 1997 г. – Режим доступа свободный: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml, – Загл. с экрана.
6. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр ЕЭК ООН [Электронный ресурс]/(Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Laces). Режим доступа свободный: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml. – Загл. с экрана.
7. Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Современные изменения глобального и регионального климата. Минск: Белорусская наука, 2019.315 с.
8. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан; проблемы устойчивого водообеспечения. Алматы, 2015-582с.
9. Мишулина О.А. Статистический анализ и обработка временных рядов.-М.: МИФИ. 2004.-180с.
10. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана./Отв. Исполнитель Долгих С.А. Астана. 2014.-87с
11. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио и др. Ташкент, изд. АН Узбекской ССР, 1957, 447 с
12. Смагулов Ж.Ж., Сапарова А.А., Загидуллина А.Р., Баспакова Г.Р. Водохозяйственные исследования и разработка сценариев развития водопотребления в трансграничном бассейне реки Ертис (казахстанская часть)//Гидрометеорология и экология-2019, №3,-С.114-128.
13. Справочник по климату Казахстана. // Многолетние данные. Атмосферные осадки. Вып.1-14. - Алматы: Казгидромет, 2005
14. Хельсинкские правила использования вод международных рек [Электронный ресурс] / (ILA Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers) 1966г. Режим доступа свободный: <http://docs.cvntrd.ru/document/1900698> – Загл. с экрана.
15. Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания.-Алматы.-2015-237с.
16. Чередниченко А.В. и др. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ. – Алматы, 2013.–366 с.
17. Чередниченко А.В. Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счёт доступных водозапоров облачности.-Бишкек.-2010.- 259с.
18. Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Динамика изменения климата Казахстана. - Алматы. - 2020-499 с.
19. Чичасов Г.Н. Численные методы обработки и анализа гидрометеорологической информации. М.: ООО «БОРГЕС». 2017.-235с.
20. Шкляев А.С. Особенности распределения осадков и стока на среднем и южном Урале и их связь с атмосферной циркуляцией. // Ученые записки Пермского государственного университета им. А.М. Горького - № 112. - 1961. - 108с.
21. Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko, E.N. Vilesov. 2015. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years. // Quaternary International journal // homepage: www.elsevier.com/locate/quaint.
22. Amaya D.J., Siler N., and others The interplay of internal and forced modes

of Hadley Cell expansion: lessons from the global warming hiatus/ *J Geophys Res Ocean* 120:6782–6798 CrossRefGoogle Scholar

23. Beek A.T., Vos F., Florke M. (2011) Modelling the impact of global change on the hydrological system of the Aral sea basin/ *Physics and Chemistry of the Earth* 36: 684-695.

24. Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, V.S. Scenario of expected climate and change of surface drain in north Kazakhstan \IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 321(1), 012011, 2019

25. Herra P.M., Hiscock K.M. (2008) The effects of climate change on potential ground water recharge in Great Britain. *Hydrological processes* 22: 73-86.

26. Houghton J.T. Meira Filho L. C., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Masked K. *Climate Change 1995: The science of climate change.* – Cambridge, Cambridge Univ. press, 1996, 572 p

27. IPCC, 2013: *Climate C: the change 2013: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*/T.F. Stoker et al. New York: Cambridge Univ. Press, 2013. 222p.

28. Jiang T., Su B.D., Hartman H. (2007) Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961-2000/ *Geomorphology* 85: 143-154.

29. Rahmstorf S. Box J.E, and others. Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation/ *Nature Climate Change* volume 5, pages 475–480 (2015)doi:10.1038/nclimate2554

REFERENCES

1. Anisimov O.A. *Posledstviya izmenenij klimata v regionah severnogo polushariya/Izmeneniya klimata i ih posledstviya.* SPb:Nauka. 2002.-S.239-250.

2. Burlibaev M.ZH., Shenberger I.V., Burlibaeva D.M., *Analiz vliyaniya vesennih obvodnitel'nyh popuskov reki Ertis na sostoyanie rechnoj ekosistemy*//Sb. «Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazahstana», vyp. 2. S.145-158.

3. Burlibaeva D.M. *Gidroekologicheskie osnovy deleniya vod na transgranichnyh rekah Kazahstana.* Monografiya.- Almaty: izd. «Kaganat»-2017.-340s.

4. Girs A.A. *Mноголетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидrometeorologicheskie prognozy.* – L., Gidrometeoizdat, 1971. 488 s

5. *Konvenciya o prave nesudohodnyh vidov ispol'zovaniya mezhdunarodnyh vodotokov OON [Elektronnyj resurs] / (Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses) 1997 g. – Rezhim dostupa svobodnyj: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml, – Zagl. s ekrana.*

6. *Konvenciya po ohrane i ispol'zovaniyu transgranichnyh vodotokov i mezhdunarodnyh ozyor EEK OON [Elektronnyj resurs] / (Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Laces). Rezhim dostupa svobodnyj: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml.- – Zagl. s ekrana.*

7. Loginov V.F., Lysenko S.A. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata.* Minsk: Belorusskaya nauka, 2019.315 s.

8. Medeu A.R., Mal'kovskij I.M., Toleubaeva L.S., Alimkulov S.K. *Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazahstan; problemy ustojchivogo vodoobespecheniya.* Almaty, 2015-582s.

9. Mishulina O.A. *Statisticheskij analiz i obrabotka vremennyh ryadov.-M.: MIFI. 2004.-180s.*

10. *Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata na territorii Kazahstana./Otv. Ispolnitel' Dolgih S.A. Astana. 2014.-87s*

11. *Sinopticheskie processy Srednej Azii / V.A. Bugaev, V.A. Dzhordzhio i dr. Tashkent, izd. AN Uzbekskoj SSR, 1957, 447 s*

12. Smagulov ZH.ZH., Saparova A.A., Zagidullina A.R., Baspakova G.R. *Vodohozyajstvennye issledovaniya i razrabotka scenarijev razvitiya vodopotrebleniya v transgranichnom bassejne reki Ertis (kazahstanskaya chast')//Gidrometeorologiya i ekologiya-2019, №3,-S.114-128.*

13. Spravochnik po klimatu Kazahstana. // Mnogoletnie dannye. Atmosfernye osadki. Vyp.1-14. - Almaty: Kazgidromet, 2005
14. Hel'sinkskie pravila ispol'zovaniya vod mezhdunarodnyh rek [Elektronnyj resurs] / (ILA Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers) 1966g. Rezhim dostupa svobodnyj: <http://docs.cvntrd.ru/document/1900698> – Zagl. s ekrana.
15. Cherednichenko A.V. Dinamika klimata Kazahstana. Nachalo epohi pohlodaniya. - Almaty. - 2015-237s.
16. Cherednichenko A.V. Dinamika klimata Kazahstana. Nachalo epohi pohlodaniya. - Almaty. - 2015-237s.
17. Cherednichenko A.V. i dr. Vremennye ryady temperatury i osadkov. Statisticheskij analiz. – Almaty, 2013.–366 s.
18. Cherednichenko A.V. Izmenenie klimata Kazahstana i vozmozhnosti adaptacii za schyot dostupnyh vodozapasov oblachnosti.-Bishkek.-2010.- 259s.
19. Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S. Dinamika izmeneniya klimata Kazahstana. - Almaty. - 2020-499 s.
20. Chichasov G.N. CHislennye metody obrabotki i analiza gidrometeorologicheskoy informacii. M.: OOO «BORGES». 2017.-235s.
21. Shklyayev A.S. Osobennosti raspredeleniya osadkov i stoka na srednem i yuzhnom Urale i ih svyaz' s atmosfernoj cirkulyaciej. // Uchenye zapiski Permskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.M. Gor'kogo - № 112. - 1961. - 108s.
22. Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko, E.N. Vilesov. 2015. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years. // Quaternary International journal // homepage: www.elsevier.com/locate/quaint.
23. Amaya D.J., Siler N., and others The interplay of internal and forced modes of Hadley Cell expansion: lessons from the global warming hiatus/ J Geophys Res Ocean 120:6782–6798 CrossRefGoogle Scholar
24. Beek A.T., Vos F., Florke M. (2011) Modelling the impact of global change on the hydrological system of the Aral sea basin/ Physics and Chemistry of the Earth 36: 684-695.
25. Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, V.S. Scenario of expected climate and change of surface drain in north Kazakhstan \IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 321(1), 012011, 2019
26. Herra P.M., Hiscok K.M. (2008) The effects of climate change on potential ground water recharge in Great Britain. Hydrological processes 22: 73-86.
27. Houghton J.T. Meira Filho L. C., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Masked K. Climate Change 1995: The science of climate change. – Cambridge, Cambridge Univ. press, 1996, 572 p
28. IPCC, 2013: Climate C: the change 2013: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/T.F. Stoker et al. New York: Cambridge Univ. Press, 2013. 222p.
29. Jiang T., Su B.D., Hartman H. (2007) Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961-2000/ Geomorphology 85: 143-154.
30. Rahmstorf S. Box J.E, and others. Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation/ Nature Climate Change volume 5, pages 475–480 (2015)doi:10.1038/nclimate2554

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ АҒЫС ДИНАМИКАСЫ

А.В.Чередниченко¹ д.ғ.н, А. В. Чередниченко² к.ғ.н, В.С.Чередниченко³ д.ғ.н, Д.М. Бурлибаева⁴ Ph.D, А.Ж. Уйсинбай³, Д.К. Кисебаев³

¹Тұран университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach Astana, Қазақстан,

E-mail: aleksey3969@mail.ru

³әл-Фараби ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАРЕ, Алматы, Қазақстан

E-mail: diana.burlibeva@yandex.kz

Қазақстанның Алтай аймағындағы температура мен ылғалдылықтың климаттық динамикасы және оның Ертіс (Ертіс) өзенінің ағынына әсері қарастырылған. Аймақтың климаттық өзгерістері жалпы алғанда Қазақстан аумағындағы осындай өзгерістерді көрсететіні көрсетілген, алайда орталық Қазақстанға қатысты төтенше жағдайлардың ауырлық дәрежесінен және олардың кейбір кешігуінен тұратын бірқатар ерекшеліктер бар. Жер үсті ағыны оның пайда болу аймағындағы жауын-шашын мен температура динамикасын бақылайды. Ертістің жоғарғы және орта ағысындағы ағын судың уақыт ағымы айтарлықтай ерекшеленеді, бұл шаруашылық әрекеттің әсерінің нәтижесі болып табылады, нәтижесінде оның бір бөлігі қайтарымсыз алынады. Ағынды шығынды сандық бағалау қиынға соқты. Климаттың өзгеруі әсерінен ағынды сулардың күтілетін өзгерістеріне болжам жасалады.

Түйін сөздер: Қазақстан Алтайы, ұзақ мерзімді климаттық ауытқулар, Ертіс өзенінің ағынының динамикасы, болжам

RUNOFF DYNAMICS OF THE IRTYSH RIVER UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

A.V. Cherednichenko¹ PhD, A.V. Cherednichenko² PhD, V.S. Cherednichenko³, Burlibaeva⁴ PhD, A.Zh. Uysinbay³, D.K. Kisebaev³

¹Turan University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach Astana, Kazakhstan,

E-mail: aleksey³⁹⁶⁹@mail.ru

³al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАРЕ, Almaty, Kazakhstan

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

The climatic dynamics of temperature and humidity in the region of Kazakhstan Altai and its influence on the runoff of the Irtysh (Ertys) river are considered. It is shown that climatic changes in the region generally reflect such changes in the territory of Kazakhstan, however, there are a number of features, consisting in the degree of severity of extremes and some of their delay in relation to central Kazakhstan. Surface runoff follows the dynamics of precipitation and temperature in the area of its formation.

The time course of the runoff in the upper and middle reaches of the Irtysh is significantly different, which is the result of the influence of economic activity, as a result of which part of it is irretrievably taken. It has proven difficult to quantify runoff loss. A forecast is made of expected changes in runoff under the influence of climate change.

Key words: Kazakhstan Altai, long-term climate fluctuations, runoff dynamics of the Irtysh River, forecast