

УДК 551.5:556

Е.А. Таланов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

E-mail: teage@mail.ru

Анализ результатов моделирования внутригодового изменения элементов водного баланса атмосферы и поверхности суши Казахстана

Аннотация. Рассмотрена взаимосвязь между элементами водного баланса для водохозяйственных бассейнов Казахстана и смоделированы возможные состояния увлажнения территории при изменении климата по сценариям В1 и А2 до 2020–2050 годов.

Ключевые слова: осадки, испарение, сток, запасы влаги в почве, внутригодовое увлажнение.

В распределении стока рек в течение года определяющую роль играют климатические факторы. Главные факторы внутригодового распределения стока – общая увлажненность бассейнов, характеризующаяся годовой суммой осадков, особенностью их выпадения в разные сезоны, включая интенсивность и продолжительность; температура воздуха, определяющая вид осадков (жидкие или твердые); испаряемость, от которой зависит верхний предел испарения с суши и которая, в свою очередь, определяется радиационным балансом; влажность воздуха. Поскольку пространственные изменения климатических характеристик подчиняются определенным закономерностям, последние должны отражаться и в водном режиме рек. Однако механизм преобразования осадков, выпавших на водосбор, в речной сток чрезвычайно многообразен и в значительной степени зависит от факторов подстилающей поверхности, к которым относятся растительный и почвенный покров, геоморфология, озерность, заболоченность и др., а также от гидрогеологических условий. В зависимости от их особенностей распределение стока конкретных водотоков может существенно отличаться от водного режима рек, характерного для региона с одинаковыми климатическими условиями.

По результатам исследований [1] в России

средний годовой уровень подземных вод в 1978–1990-х гг. находился на 15–85 см выше, чем за предшествующий период наблюдений. Увеличение запасов подземных вод привело, в свою очередь, к возрастанию подземного питания рек и значительному повышению их меженного стока, по данным водно-балансовой станции (ВБС) достигшими 50–60 %. Вывод о том, что основной причиной возрастания подземного питания рек и роста меженного стока является увеличение запасов подземных вод, хорошо подтверждается анализом зависимостей летне-осеннего и зимнего стока рек от среднего за сезон уровня подземных вод. Следует особо подчеркнуть, что эти выводы относятся к стоку рек, дренирующих основные водоносные горизонты. Что касается расположенных в лесостепной и степной зонах ЕТР временных водотоков, а также малых рек, которые не дренируют основные водоносные горизонты, то, несмотря на повышенную увлажненность, их сток во все сезоны года может снижаться.

Следующий вывод – увеличение меженного, прежде всего зимнего, стока рек является наиболее выраженной реакцией водосборов на потепление последних десятилетий. Так, повсеместное увеличение меженного стока в последние 20–25 лет выявлено на реках Украины. На всех основных реках Беларуси (Западная Двина,

Неман, Виля, Днепр, Припять) в 1988–2002 гг. очень существенно повысилась водность зимних месяцев, а также на большинстве рек возрос летний сток. Расчет и анализ трендов годового и сезонного стока по 116 рекам Дании, Норвегии, Швеции и Финляндии за 1941–2002 гг. свидетельствуют о преобладании положительных трендов в динамике зимнего стока. На основании анализа многолетних данных по стоку рек, в том числе продолжительностью более 150 лет, расположенных в различных районах Германии, показано существенное увеличение со второй половины 1960 гг. зимнего стока альпийских рек в результате потепления холодного периода. Аналогичные выводы были получены в Великобритании путем анализа изменений режима речного стока за 20-летний период с наибольшей годовой температурой воздуха. Для всех десяти выбранных для анализа водосборов годовой сток изменился незначительно, однако произошли очень большие изменения в его внутригодовом распределении. Так, в Северной Англии месячный сток уменьшился до 50% летом и увеличился до 60% зимой, при этом изменения годового стока находились в пределах $\pm 5\%$.

В.А. Семенов в результате статистического анализа длительных рядов гидрологических наблюдений пришел к выводу, что преобладание положительных аномалий межлетнего стока является ведущей тенденцией (наряду с увеличением годового стока) в изменениях водного режима рек в целом для равнинной территории Северной Евразии [1]. Полученные к настоящему времени для отдельных регионов Европы выводы об увеличении зимнего стока рек совпадают.

Таким образом, анализ результатов региональных исследований современных изменений водного режима рек подтверждает вывод о существенном росте зимнего стока на значительной части Европы в результате повышения температуры воздуха холодного периода года.

Количество воды в речном бассейне в каждый момент времени складывается из запасов воды в сезонном снежном покрове, в ледниках, снежниках, в растительном и почвенном покрове, в рыхлообломочных горных породах, в озерах, прудах, болотах и лужах, в подземных геологических структурах, в русловой сети. Расход воды в за-

мыкающем створе реки Q и главная переменная состояния бассейна W – объем воды в бассейне являются координатами некоторого двухмерного абстрактного «фазового пространства» [2]. Фазовое пространство речного бассейна представлено множеством его всевозможных состояний. Изменение состояния бассейна и его производительности как генератора стока описывается кривой, называемой фазовой траекторией. Фазовое пространство, заполненное фазовыми траекториями, составляет фазовый портрет речного бассейна [2].

Рассмотрим фазовую траекторию состояния Ертисского бассейна в разные по водности годы (уравнение водного баланса имеет вид $P-E = U+\Delta W$, где «осадки минус испарение» уравновешено поверхностным стоком и изменением влагозапасов в бассейне): маловодный – 1966–1967 гг., многоводный – 1969–1970 гг. и нами смоделированный по климатическим характеристикам на период до 2020 г. по сценарию В1 (рис. 1). Изменение в течение года стокообразующего фактора $(P-E)$ в 1967 г. (линия 1) и 1970 г. (линия 2) неравномерное с общей тенденцией роста от лета к осенне-зимнему периоду. Значения $(P-E)$ в отдельные месяцы (например, в августе оно находится в правой верхней четверти – многоводный год – линия 2, а в левой нижней четверти – маловодный год – линия 1) в большинстве случаев отражают резко аномальные ситуации на территории бассейна. Эта яркая аномалия объясняется усилением потока атлантической влаги при интенсивной циклонической деятельности, обусловившей обильные осадки, а также не менее интенсивным вторжением с севера арктических воздушных масс, приведших к понижению температуры воздуха и ослаблению испарения [3]. Маловодный 1967 г. характеризовался малоснежной зимой и ранней весной. С ростом осадков в мае при малом испарении резко увеличился сток, максимум которого держался до июня. Но уже в июле при продолжающемся росте осадков резко возросло испарение и значительный сток поддерживался, главным образом, за счет сработки части запасов влаги, которые не использовались в предшествующие месяцы [3]. В июле осадки и испарение достигли максимума. В результате речной сток уменьшился до зимне-весенней межени.

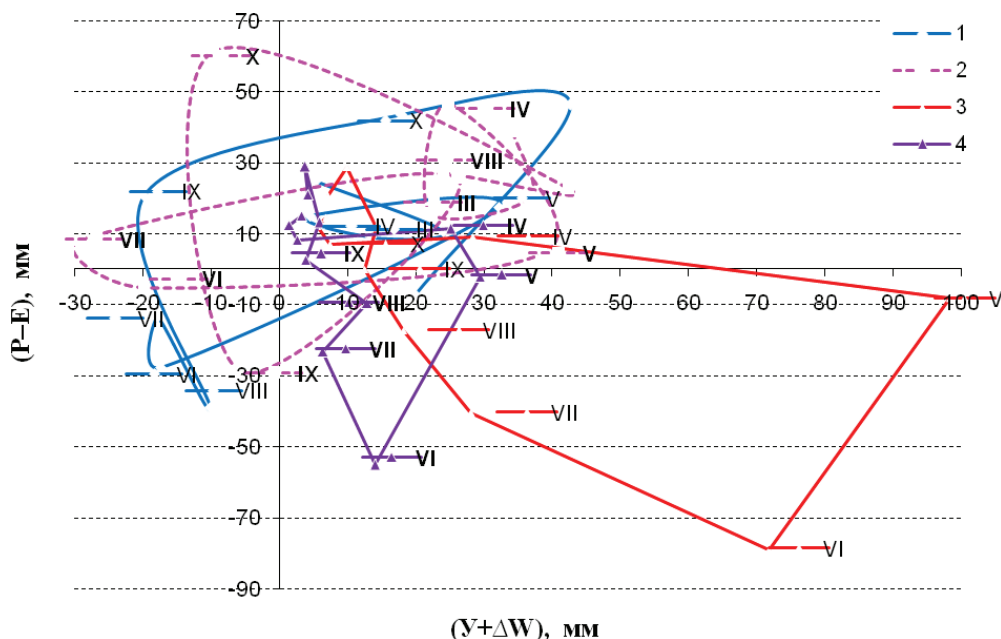


Рисунок 1 – Фазовый портрет состояния бассейна р. Ертис за характерные по водности годы и на предстоящий период до 2020 г.: 1 – маловодный (1966/1967 гг.); 2 – многоводный (1969/1970 гг.); 3, 4 – смоделированное состояние на 2020 г. по сценарию В1 для двух частей бассейна по правую и левую сторону реки в пределах Казахстана

В 1970 г. весна была поздняя, а в апреле влагозапасы еще накапливались. В мае осадки сохранялись на том же уровне, что и в апреле, но с повышением температуры воздуха резко возросло испарение. Поэтому речной сток увеличивался за счет интенсивной сработки влагозапасов. Этот процесс продолжался до августа. Различия в величинах речного стока за маловодный (1966/1967 гг.) и многоводный (1969/1970 гг.) гидрологические годы составляет примерно 45% от средней многолетней величины речного стока. Годовые суммы атмосферных осадков за рассматриваемые годы различаются существенно меньше (превышение осадков 1970 г. над осадками 1967 г. достигает 13%) [3].

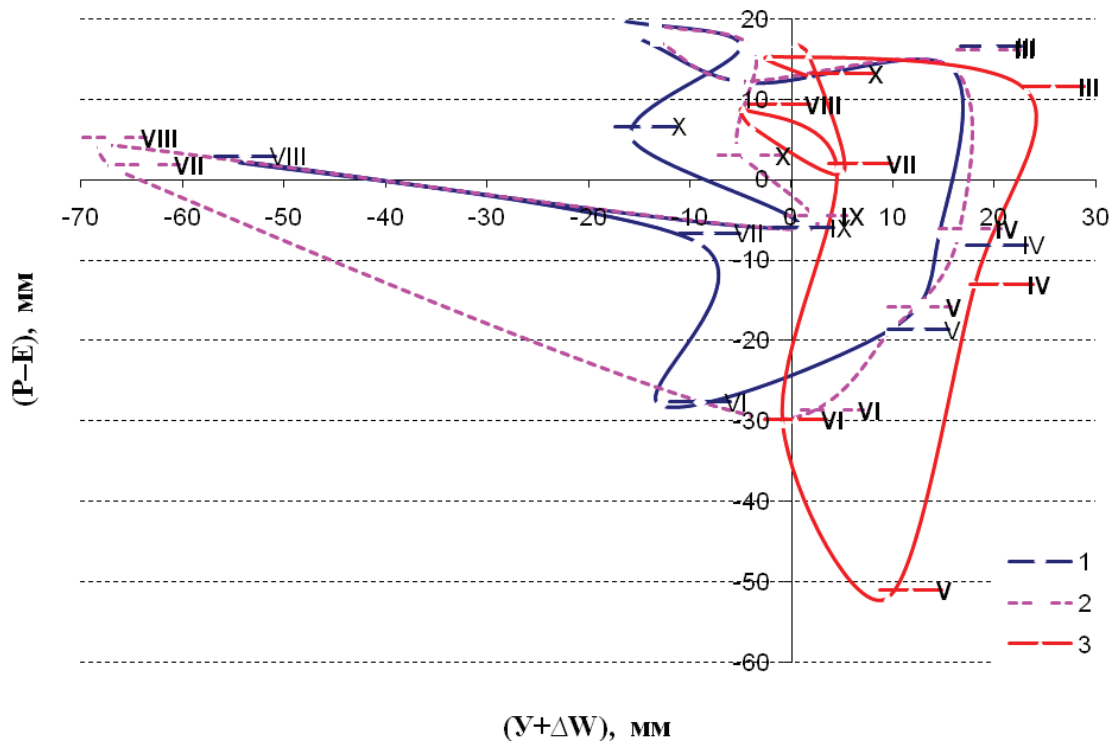
Соотношение смоделированных величин стокообразующего фактора (ось ординат – $P-E$) и водного ресурса (ось абсцисс – $Y+\Delta W$, слой воды в бассейне с учетом стока и изменения влагозапасов) по климатическим характеристикам на перспективу до 2020 г. по мягкому сценарию В1 указывает на то, что на равнинной территории (левобережье р. Ертис, рис. 1, линия 4) в теплый период увлажнение территории будет близко к норме (в пределах 5–30 мм), тогда как в горной части (правобережье, линия 3) величина испарения будет превышать

количество осадков и при этом уровень увлажнения бассейна должен быть достаточно высоким (20–90 мм).

Для Нура-Сарьсуского бассейна показано соотношение величины ($P-E$) с состоянием увлажнения подстилающей поверхности за базовый период 1980–1999 гг. (рис. 2, линия 3) и на перспективу до 2020 г. (рис. 2, а) и 2050 г. (рис. 2, б) с учетом того, что климатические характеристики будут соответствовать сценариям В1 (мягкий) и А2 (жесткий) в рассматриваемом регионе.

В 2006–2035 гг. с марта по август следует ожидать естественный ход уменьшения увлажнения водосбора (март–июнь), а затем значительное иссушение подстилающей поверхности Нура-Сарьсуского бассейна (до минус 60 мм) как по мягкому, так и по жесткому сценариям (рис. 2, а). В 2036–2065 гг. состояние увлажненности бассейна даже при жестком сценарии А2 будет близко к базовому уровню (1980–1999 гг.) от 5 до 20 мм. В июле может сложиться ситуация с резким увеличением увлажнения верхнего слоя почв до 15 мм (сценарий А2), по-видимому, за счет интенсивных дождей и уменьшения испарения, тогда как по сценарию В1 картина противоположная – иссушение поверхности бассейна до 2 мм (рис. 2, б).

а



б

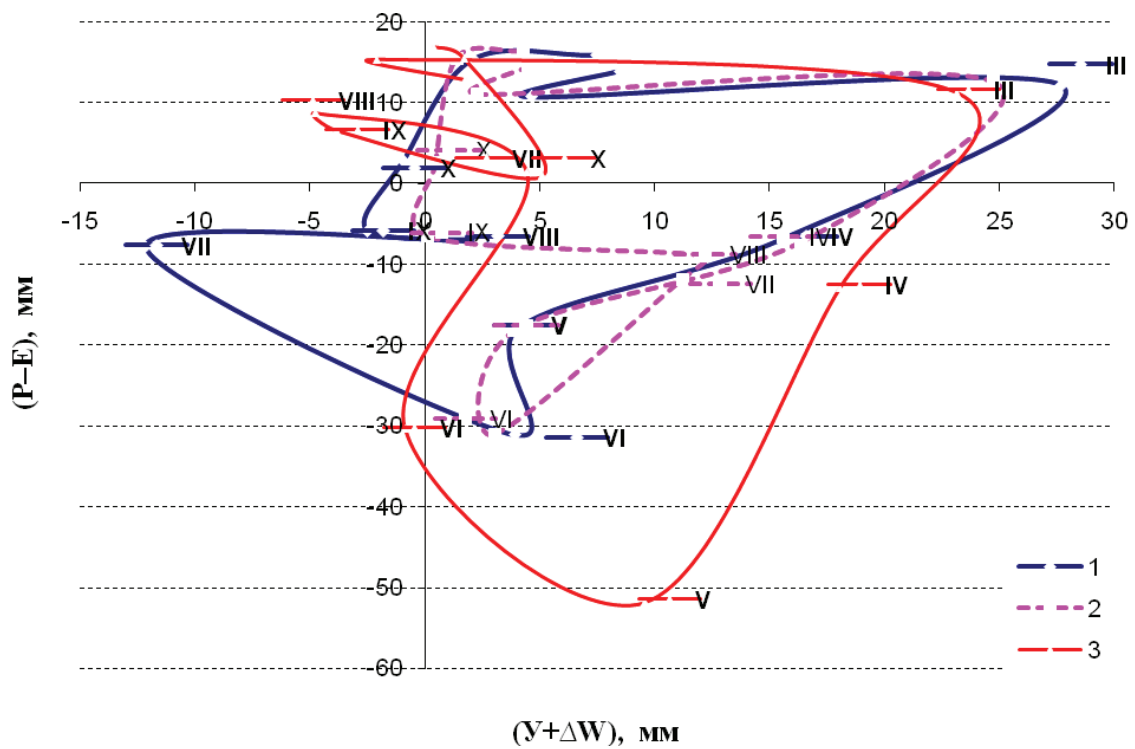


Рисунок 2 – Фазовый портрет состояния Нура-Сарысуского бассейна за разные периоды базовый – 1980–1999 гг., до 2020 г. (а) и 2050 г. (б): 1 – сценарий В1; 2 – сценарий А2; 3 – базовый

Региональные особенности формирования влагооборота разнообразны и во многом зависят от характера атмосферной циркуляции и влагосодержания воздуха. В течение всего года над бассейном Волги преобладающим является западный перенос, от интенсивности которого в значительной степени зависит количество выпадающих осадков. Адвекция влаги достигает максимума осенью, а минимума – зимой. Причинами этого являются большие скорости ветра осенью и минимальное влагосодержание атмосферы зимой. Именно адвекция влаги, осадки и суммарное испарение из адвективного пара в конечном счете обуславливают распределение других компонентов влагооборота. За период 1963–1979 гг. среднее испарение составило 487 мм/год, а его стандартное отклонение равно 17 мм/год. Это свидетельствует о малой временной изменчивости испарения, осредненного для крупных территорий. Тогда как временная изменчивость осадков, осредненных для бассейна Волги, выше более чем в 2 раза. По этой причине при изучении межгодовой изменчивости увлажнения в указанном регионе можно в первом приближении пользоваться данными лишь об осадках. Для бассейна Волги сумма значений испарившейся влаги внешнего происхождения (ΔS_A) и изменение запасов влаги в почве (ΔW_M) за год не равна нулю, хотя для их суммарной величины данное условие выполняется. Это связано с тем, что летом местное испарение больше аналогичных осадков ($E_M > P_M$) на 14 мм [4]. С учетом местного речного стока (Y_M) уменьшение ΔW_M летом составит 25 мм, что не компенсируется увеличением ΔW_M в период накопления влаги в бассейне. В рассматриваемый период начало весны (март-апрель) характеризуется низким увлажнением бассейна, которое резко возрастает в мае (рис. 3, линия 1). Затем наблюдается засушливый летний сезон и постепенное осеннее увлажнение бассейна. По климатическому сценарию В1 в 2020 году на преобладающей части Жайык-Каспийского бассейна следует ожидать увеличение водных ресурсов ($Y + \Delta W$), за исключением периода август-сентябрь с минимальным стоком воды (рис. 3, а, линия 2). По жесткому сценарию А2 в 2020 году увлажнение бассейна будет устойчивым (рис. 3, а, линия 3).

В Жайык-Каспийском бассейне в 2050 году по сценарию В1 следует ожидать уменьшение влагозапасов в декабре-феврале (рис. 3, б, линия 2), а по сценарию А2 (линия 3) как в осенне-зимний период (октябрь-февраль), так и ранней весной (март) с резким переходом, начиная с мая, к истощению поверхностных водных ресурсов (в июле дефицит увлажнения достигнет 70 мм).

В Арало-Сырдарьинском бассейне очень высокая внутригодовая изменчивость стокообразующих факторов (рис. 4). С марта по май наблюдается закономерное превышение испарения над количеством атмосферных осадков в условиях достаточного увлажнения (20–35 мм) подстилающей поверхности (рис. 4, а, линия 3), в июне-августе соотношение между испарением и осадками выравнивается и устанавливается дефицит запасов воды в верхнем метровом слое почвогрунтов (минус 20–80 мм). В осенний период (сентябрь – ноябрь) при высоком потенциале испарения и относительно малом количестве атмосферных осадков пополняются запасы влаги в верхнем слое аэрации (10–120 мм) за счет, вероятно, молекулярной конденсации, скорость которой оценивается в ~ 1 мм/сут [4]. Зимой с понижением температуры воздуха количество выпавших осадков превышает величину испарения, но при этом начинает работать механизм стока по руслам рек, который несколько понижает общие запасы воды в бассейне (до 30 мм).

Под влиянием естественных и, главным образом, антропогенных факторов в 1961–1985 гг. приток речных вод к Аральскому морю в целом значительно снизился. В среднем для 1961–1970 и 1971–1980 гг. объем притока составил 43,3 и 16,7 км³/год, или примерно 77 и 30% от его среднего многолетнего значения в период квазистационарного состояния моря, а для периода 1981–1985 гг. – всего только 2,0 км³/год, или 3,6% [5]. В аномально многоводный 1969 г. отмечался максимальный за весь период наблюдений объем притока речных вод к морю, составивший 80,6 км³, тогда как за маловодные годы (1982, 1983, 1985) приток к морю уменьшался до нуля. По результатам исследований установлено, что в современный период антропогенные потери стока составляют 92–95% его суммарных потерь. С 1960 по 1980 г. уровень Аральского моря упал с отметки 53 до 46 м.

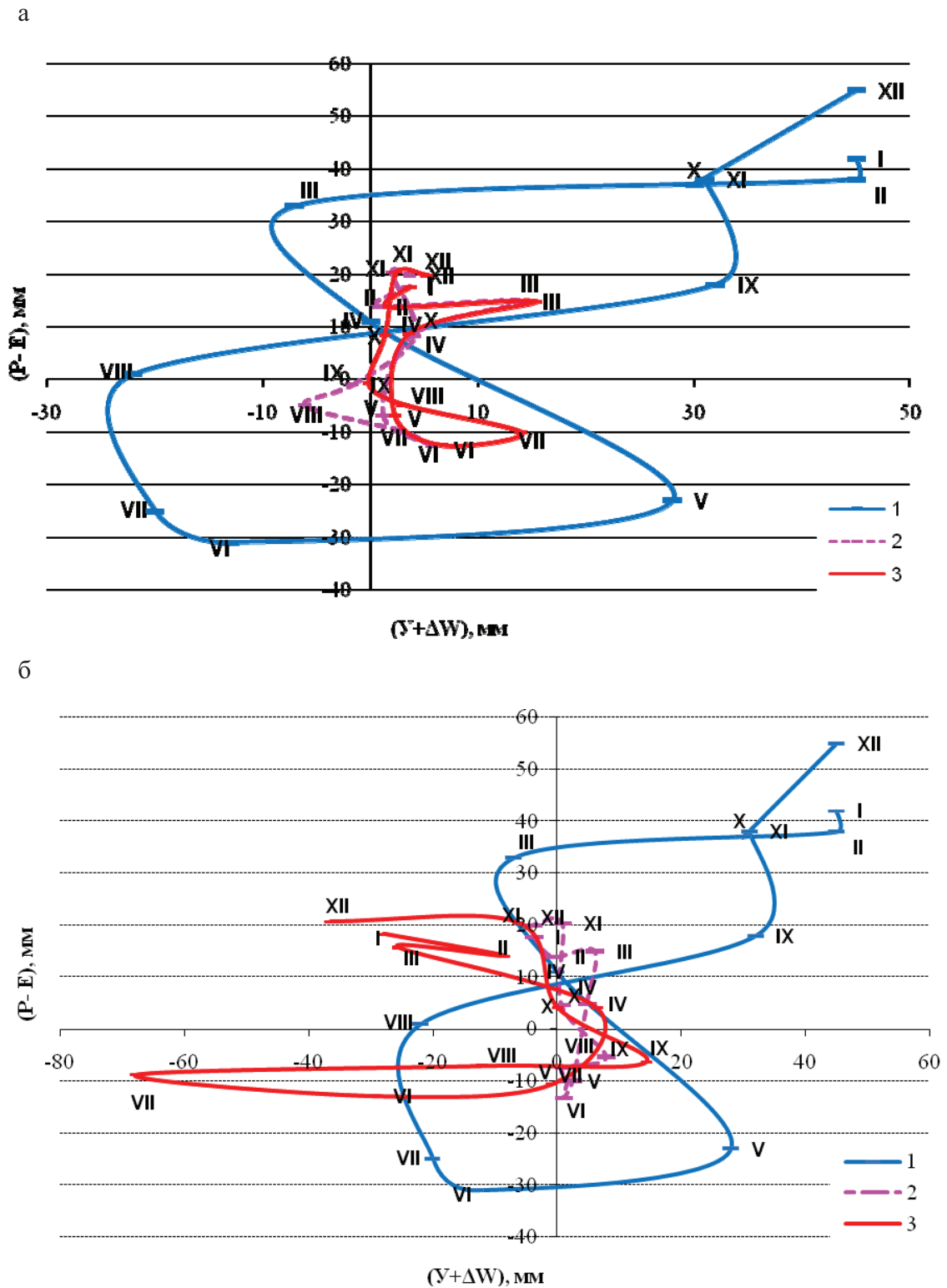
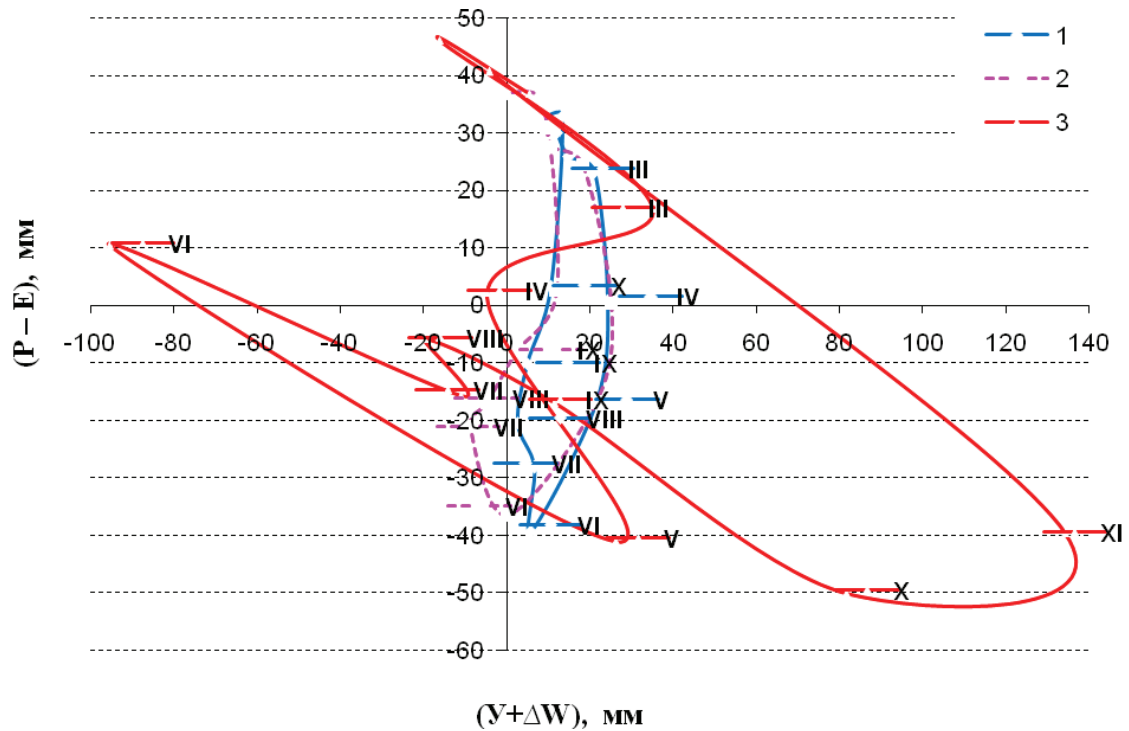


Рисунок 3 – Фазовый портрет состояния Жайык-Каспийского бассейна за разные периоды: до 2020 г. (а) и 2050 г. (б):

а



б

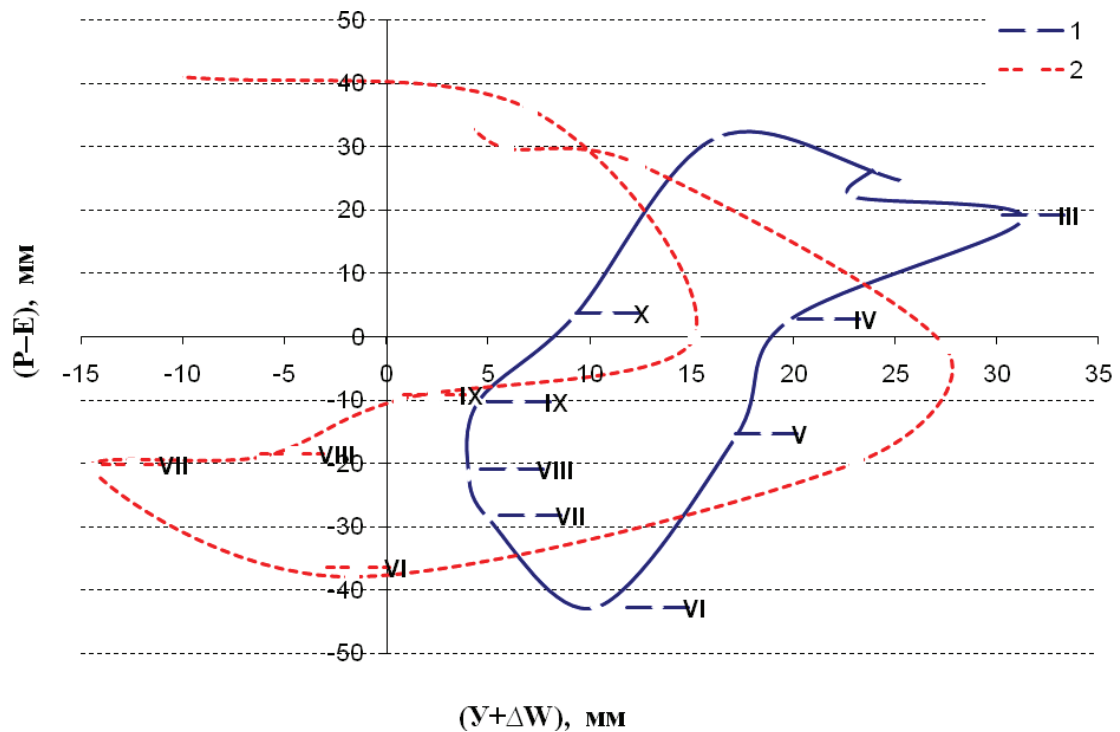


Рисунок 4 – Фазовый портрет состояния Арало-Сырдарьинского бассейна за разные периоды: базовый – 1980–1999 гг., до 2020 г. (а) и 2050 г. (б):
1 – сценарий В1; 2 – сценарий А2; 3 – базовый

Годовая величина испарения с Аральского моря оценивалась до 1980 г. примерно в 60–65 км³ [3], а в современных условиях величина испарения с него должна быть существенно меньше (около 50 км³) из-за сокращения акватории. В атмосфере же над Аральским морем проносится около 950 км³ влаги, и, таким образом, его испарение составляет 5–8% от суммарного влагопереноса над акваторией (на лето приходится 10–12%). С акватории Каспийского моря испаряется приблизительно 10% от суммарного влагопереноса над Средней Азией [3]. Около 60–70% испарившейся с Каспия влаги выносится в Казахстан и Среднюю Азию. Часть влаги (25–50%) оседает на склонах среднеазиатских гор в виде атмосферных осадков и трансформируется в речной сток.

В 2006–2035 гг. по сценариям В1 и А2 для Арало-Сырдарьинского бассейна следует ожидать размах стокообразующего фактора «осадки минус испарение» от 30 до минус 40 мм, при этом увлажнение бассейна будет положительным и изменяться в пределах 1–30 мм (рис. 4, а, линии 1–2). В 2036–2065 гг.

состояние увлажненности бассейна практически сохранится по сценарию В1, а при жестком сценарии А2 будет изменяться в сторону иссушения подстилающей поверхности от 30 мм до минус 15 мм (рис. 4, б, линия 2).

Литература

- 1 Водные ресурсы России и их использование / под ред. проф. И.А. Шикломанова. – СПб., 2008. – 506 с.
- 2 Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с.
- 3 Кузнецова Л.П. Атмосферный влагообмен над территорией СССР. – М.: Наука. 1983. – 173 с.
- 4 Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. – СПб.: Гидрометеоздат, 2004. – 630 с.
- 5 Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Т. VII. Аральское море. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 195 с.

Е.А. Таланов

Қазақстандағы атмосфера мен құрлық беткейінің су балансы элементтерінің ішкіжылдық өзгерулерін жобалау нәтижелерін сараптау

Қазақстанның сушаруашылық бассейндері үшін су баланстары элементтері арасындағы байланыстары қарастырылған және 2020-2050 жылдарға дейін В1 және А2 сценарийлары бойынша, климат өзгерулері кезінде территорияның мүмкін болатын ылғалдану жағдайлары жобаланған.

Түйін сөздер: жауын-шашын, буланғыштық, ағын, топырақтағы яғни ылғалдылық қоры, жылдық ылғалдану.

E.A. Talanov

The analysis of results of modelling of intraannual change elements of water balance of atmosphere and catch land of Kazakhstan

The interrelation between elements of water balance for catch land of Kazakhstan is considered and possible conditions of humidifying of territory are simulated at climate change under scenarios В1 and А2 till 2020-2050.

Keywords: precipitation, evaporation, surface run-off, moisture reserve in the soil, intraannual humidifying.