

УДК. 551. 558 (574)

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО  
КАЗАХСТАНА**

А.В. Чередниченко

*Рассмотрены тенденции изменения количества осадков на Казахстанском Алтае и прилегающей территории. Показано, что тренды годового количества осадков бывают как положительные, так и отрицательные, при некотором преобладании последних. При этом большинство станций отмечает понижение количества осадков в весенне-летний, а также осенний период, и некоторый рост зимой.*

Атмосферные осадки считаются одной из наиболее изменчивых характеристик климата. Для Казахстана изучение изменения режима осадков является очень важной задачей, т.к. Республика находится в пустынной зоне и здесь практикуется принудительный полив. Задача становится актуальнее в свете изменения климата в будущем.

**Анализ трендов осадков.**

Для анализа многолетних колебаний количества осадков на территории Восточного Казахстана были взяты данные наблюдений 11 станций. Отдельно анализировались суммы осадков по сезонам и за год. Как показывают исследования других авторов, условное деление на сезоны, а также на теплый и холодный периоды, достаточно хорошо увязывается с условиями циркуляции атмосферы [3, 4, 5, 6]. Для более детального анализа используем длиннорядные станции Семипалатинска и Усть-Каменогорска.

В Восточном Казахстане различия в количестве осадков по станциям велики. Так, в Лениногорске годовое количество осадков составляет почти 700 мм, в Зыряновске оно несколько меньше - 625 мм, Усть-Каменогорске - 535, в Семипалатинске - 300 мм, а в Семиярке - всего 240 мм. Осадки на каждой станции испытывают временную изменчивость и их значения могут существенно отличаться от многолетней нормы. В табл. 1 представлены средние количества осадков и экстремальные значения в отдельные сезоны и за год, вычисленные за период в 55 лет для Усть-Каменогорска и Семипалатинска. Здесь видно, что в Усть-Каменогорске, где среднегодовое количество осадков почти в 2 раза боль-

ше, чем в Семипалатинске, изменчивость осадков тоже меньше. Подтверждается известное правило, что чем осадков меньше, тем они изменчивее [7]. Действительно, при среднем годовом количестве осадков 535 мм в Усть-Каменогорске их экстремумы не отклоняются более, чем в два раза в ту или в другую сторону. В то же время вариация годового количества осадков в Семипалатинске несколько выше.

Таблица 1

Средние и экстремальные значения количества осадков в Усть-Каменогорске и Семипалатинске по сезонам года

Статистические характеристики	Сезон				год
	зима	весна	лето	осень	
Усть-Каменогорск					
среднее	80	129	183	143	535
максимум	200	220	410	230	830
минимум	55	30	45	55	290
Семипалатинск					
среднее	53	66	96	82	297
максимум	993	118	220	142	440
минимум	20	10	30	15	160

Существенные отличия в вариациях имеют место в сезонных величинах осадков. В Усть-Каменогорске в минимуме летом количество осадков почти в три раза ниже среднего количества (55 и 143 мм соответственно). Еще больше, в 4 раза, различаются среднее и минимальное количество осадков весной, 129 и 30 мм соответственно. В сторону максимума увеличение количества осадков зимой составило 2,5 нормы от среднего количества. В остальные сезоны в Усть-Каменогорске такие отклонения в сторону повышения количества осадков не наблюдались.

В Семипалатинске минимальные количества осадков наблюдались в 2 и более раза ниже среднего во все сезоны. Весной в абсолютном минимуме за 60 лет оно в 6,6 раза было ниже среднего за сезон, а осенью – в 5,5 раза. Максимальное количество осадков превышало среднее в 2 раза только летом (220 и 96 мм соответственно). В другие сезоны максимальные суммы превышали среднее не более чем в 1,5 – 1,7 раза.

Из данных таблицы следует еще один примечательный вывод, характерный и для Усть-Каменогорска и для Семипалатинска: если сложить максимальные суммы осадков за все сезоны, то они существенно превысят максимальные количество осадков за год, а если сложить все минималь-

ные суммы осадков по сезонам, то они окажутся существенно ниже минимальной суммы осадков за год. Мы это объясняем тем, что в самые влажные годы только в отдельный сезон (или сезоны) количество осадков заметно превышает норму, в то время как в другие сезоны этого же года количества осадков близки к норме или даже ниже нее. Соответственно, в самые сухие годы только в отдельные сезоны количество осадков значительно ниже нормы, а в другие сезоны этого же года оно близко к норме. В то же время в засушливые годы количество осадков дальше отклоняется от нормы в сторону их уменьшения, чем во влажные годы – в сторону увеличения. Полученные нами закономерности подтверждают факт, что осадки формируются с большой степенью независимости от сезона к сезону, хотя определенная связь между ними существует [4]. В [1, 3, 7] для Памира получено, что зимой изменчивость осадков выше, чем летом. Мы же для Восточного Алтая получили, что изменчивость осадков выше летом и весной. Это тоже следствие различия циркуляционных процессов.

#### *Особенности временного хода осадков.*

Рассмотрим теперь временные ряды осадков. В [7, 8] показано, что временные ряды осадков имеют слабую автокорреляцию или не имеют ее вовсе. Поэтому такие ряды можно рассматривать как случайные функции безо всяких оговорок, чем мы и воспользуемся. Оценим сначала временные тренды для годовых количеств осадков, а затем рассмотрим временные ряды осадков по сезонам.

Во временном ходе годового количества осадков в Семипалатинске (рис. 1) просматривается значимый отрицательный тренд с коэффициентом 0,5 мм/год. Изменчивость количества осадков не остается постоянной. Начиная с 1962 г. и по 1984 г. она была незначительной (коэффициент вариации менее 0,2). В последние 15 лет она несколько увеличилась, однако наибольшие изменения количества осадков имели место в 1942-1962 гг. Если в 1962-1984 гг. экстремальные количества наблюдались по одному разу и составляли 400-160 мм, то в 1942-1962 гг. – 440-150 мм, при этом крайние значения достигались многократно. До 1942 г. изменчивость количества осадков была еще меньше, чем в 1962-1984 гг.

Цикличность в колебании осадков просматривается хорошо. Прежде всего это колебания с периодом 20-22 года. Добавим, что внутри каждого из этих периодов имеют место колебания меньших периодов – 6 и 2 года [7, 8].

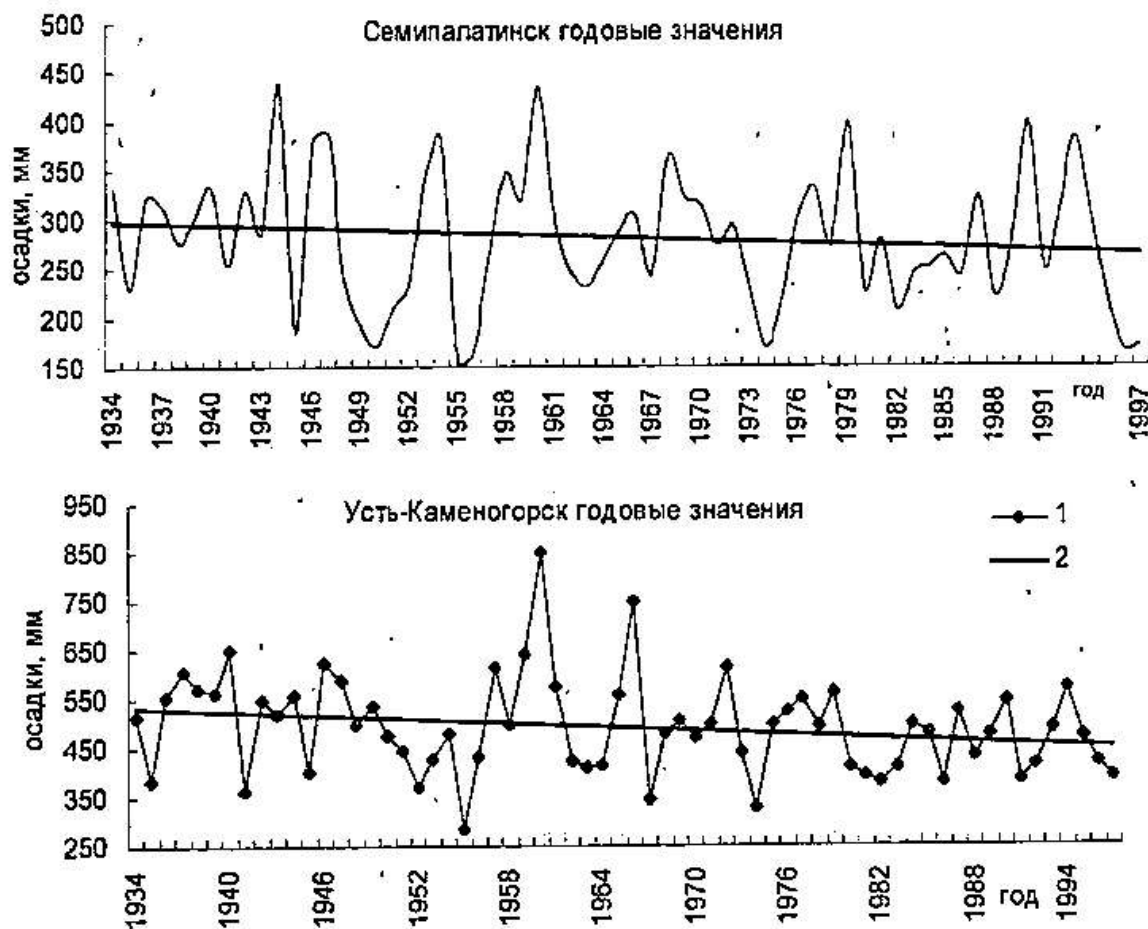


Рис. 1. Временной ход годового количества осадков на станциях региона.  
1-временной ход температуры на станции; 2- линия тренда.

В Усть-Каменогорске временной ход осадков имеет наиболее выраженный значительный отрицательный тренд в регионе. Коэффициент тренда равен  $-1,28$ , т.е. ежегодно годовое количество осадков уменьшается в среднем на 1,3 мм. В вековом ходе осадков в Усть-Каменогорске 20-22-летние циклы выражены слабее, чем в Семипалатинске, т.е. труднее различимы их границы. Однако большая изменчивость количества осадков в цикле 1942-1962 гг. тоже имеет место, как и для Семипалатинска.

Семипалатинск расположен северо-западнее Алтая и открыт синоптическим процессам практически со всех сторон. Колебания в интенсивности этих процессов и их повторяемости хорошо проявляются и в ходе количества осадков. Усть-Каменогорск находится внутри горного массива у слияния рек Иртыша и Ульбы и открыт для вторжений по сути только с запада. Горы сглаживают особенности циркуляции, особенно экстремумы. Это и объясняет меньшую выраженность циклов, а также меньшую изменчивость осадков по сравнению с Семипалатинском. В то же время 5-6 и особенно 2-летние циклы имеют место [7, 8].

В других пунктах региона – Семиярка, Кокпекты, Чалобай, Чарское и Лениногорск – тоже отмечаются отрицательные тренды осадков. Однако, значимые тренды имеют место только в Семиярке, Кокпекты, Чалобае и Лениногорске, составляя 0,4; 1,3; 0,2 и 1,1 мм/год соответственно. Следовательно, в Кокпекты и Лениногорске тренды довольно велики, они соизмеримы с трендом в Усть-Каменогорске. На фоне общего понижения количества осадков в регионе станции Шемонаиха, Кара-Аул и Зыряновск отмечают рост количества осадков. Правда, значимый рост имеет место только в Шемонаихе – 0,8 мм в год. В двух других пунктах коэффициенты тренда составляют 0,05 и 0,1, что находится в пределах естественного шума.

### *Внутригодовой ход количества осадков.*

Из чего состоит годовой тренд осадков, как он распределяется по сезонам года? Для этого рассмотрим временные тренды осадков по сезонам года. В Семипалатинске отрицательный тренд в 0,5 мм/год складывается из осеннего (-0,41 мм/год) и зимнего (-0,05 мм/год). Летом имеет место положительный тренд 0,1 мм/год. Таким образом, в разные сезоны вклад в отрицательный годовой тренд осадков различается не только по величине, но и по знаку.

В Усть-Каменогорске, где величина годового отрицательного тренда осадков почти в 3 раза больше, чем в Семипалатинске (1,28 мм/год), весной, летом и осенью, имеет место отрицательный тренд с величинами 0,4; 0,74 и 0,47 мм соответственно. Зимой, однако, тренд осадков положительный, значимый и равен 0,34 мм. Зная, что зимой большую часть времени над регионом господствует юго-западный отрог Сибирского антициклона, естественно предположить, что положительный тренд осадков зимой обусловлен снижением повторяемости гребня этого антициклона и некоторым усилением меридионального обмена, в частности, северными вторжениями. Над равниной эти вторжения не приводят к значительным осадкам (Семипалатинск), а в горах, под воздействием орорафии, прибавление осадков уже заметно.

Положительный значимый тренд осадков имеет место летом также в Чарском (0,31 мм в сезон) и незначимый в Семиярке (0,02 мм в год) и Чалобае (0,003 мм в год). В то же время в Чалобае имеет место значимый положительный тренд осадков зимой (0,25 мм в год), а в Зыряновске зимой (0,49 мм в год) и осенью (0,56 мм в год), в то время как летом и весной он значимый и отрицательный (-0,65 и -0,29 мм в год, соответственно). Положительный тренд осадков зимой имеет место в Лениногорске



(0,05 мм в год), в Кара-Ауле (0,15 мм в год), Шемонаихе (1,04 мм в год) и Чарском (0,22 мм в год), незначимый – в Кокпекты (0,02 мм в год).

Таким образом, на большинстве станций региона зимой имеет место значимый положительный тренд осадков, а весной на всех станциях – уменьшение количества осадков. В то же время летом часть станций отмечает рост, а часть – уменьшение количества осадков. Осенью, как и летом, часть станций отмечает уменьшение, а часть – незначительный рост осадков. Следовательно, можно утверждать, что отмечаемое большинством станций региона уменьшение количества осадков происходит за счет их уменьшения в основном весной, а отмечаемый некоторыми станциями рост – за счет увеличения зимних осадков.

### *Временной ход интегральных разностей осадков "город-пригород".*

Хотя в [10] и сделан вывод о том, что временные интегральные разности не являются индикатором (тем более уникальным) изменения климата, их анализ все же представляет интерес. На рис. 2 представлен временной ход интегральных разностей "город-пригород" для Семипалатинска и станций "пригорода". Рисунок отражает выводы, которые мы уже получили из анализа временных рядов осадков. Однако представляет интерес ход самих кривых интегральных разностей осадков.

Так, отрицательная разность по станциям Семипалатинск-Шемонаиха плавно растет под влиянием факта большего количества выпадающих осадков в Шемонаихе по сравнению с Семипалатинском. Почти такой же плавный рост отрицательной разности для станций Семипалатинск-Чалобай. Однако, ход разности (тоже отрицательный) Семипалатинск-Чарское характеризуется большой неустойчивостью. Разброс значений вокруг прямой очень велик, что объясняется большой изменчивостью количества осадков от года к году на пустынной станции Чарское. В период с 1940-1960 г. эти разности были положительными, а затем перешли в отрицательные за счет заметного уменьшения количества осадков в Чарском в 20-летнем цикле 1940-1960 гг., который мы выделили ранее. Именно пустынная станция Чарское отметила в те годы самое заметное уменьшение осадков. Большая изменчивость осадков от года к году привела к значительному разбросу величин разности осадков и в последующие годы.

Разности осадков по станциям Семипалатинск-Кара-Аул и Семипалатинск-Семярка положительный и разброс данных около линии аппроксимации значителен, но не так велик как для пары Семипалатинск-Чарское. Это тоже указывает на пустынное положение станции.

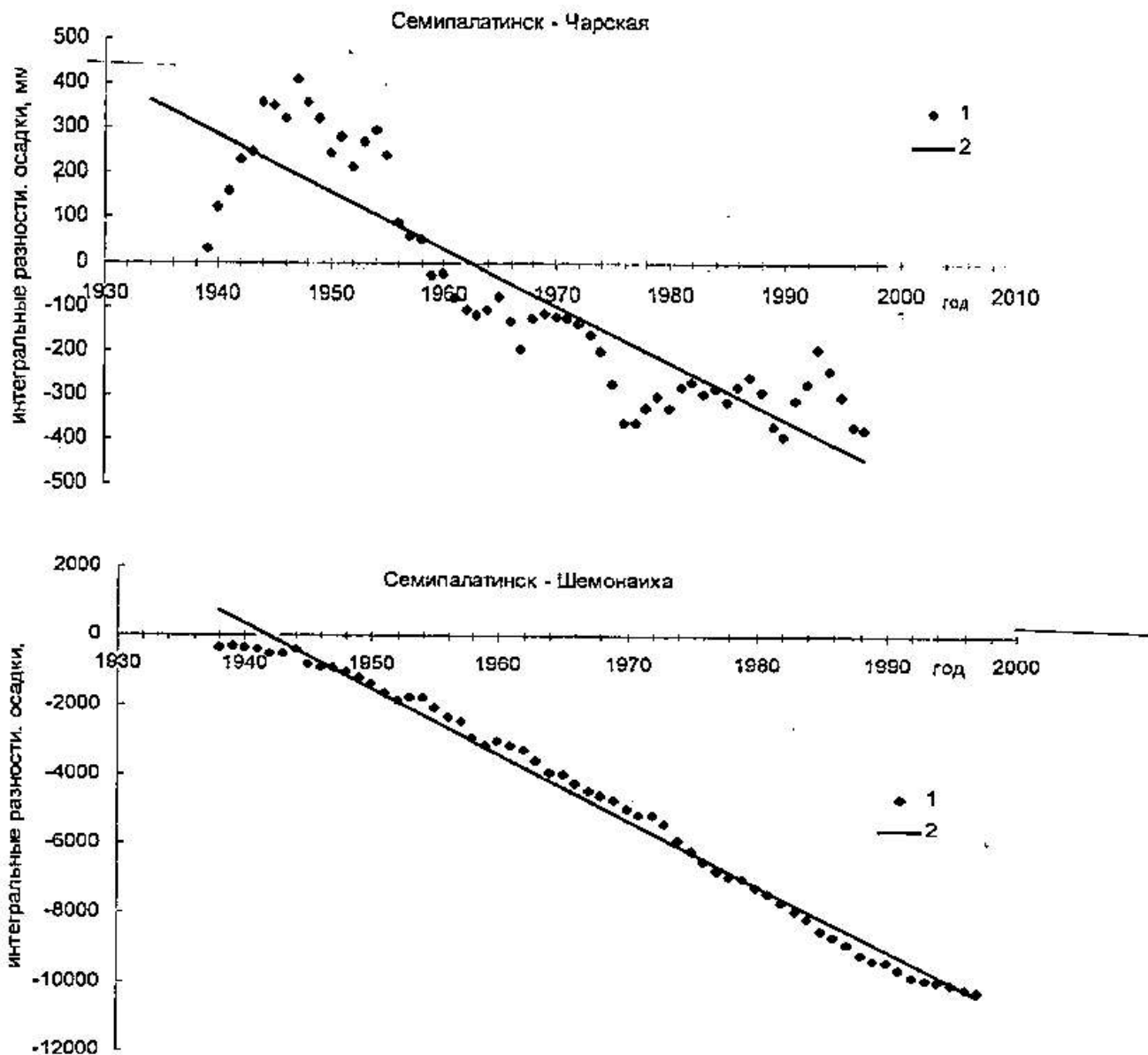


Рис.2. Временной ход интегральных разностей осадков в регионе Семипалатинска. 1- ход интегральной разности на станции Семипалатинск; 2- линия тренда.

Рассмотрим теперь интегральные разности осадков в районе Усть-Каменогорска и "пригородов" (рис 3). Чрезвычайно интересной является пара Усть-Каменогорск-Шемонаиха. С 1937 по 1970 г. положительные интегральные разности осадков увеличивались и довольно быстро. После 1970 г. величины этих разностей стали уменьшаться и тоже быстро. Собственно, ход разностей и есть парабола с верхней точкой в 1965-1970 гг., а не прямая. Такой ход разностей объясняется имеющим место заметным ростом осадков в Шемонаихе и их уменьшением в Усть-Каменогорске. Начало отмечаемых тенденций приходится на 1965-1970 гг. Примечатель-

но, что интегральные разности осадков Семипалатинск-Шемонаиха, будучи отрицательными, увеличиваются исключительно плавно, так как изменение количества осадков происходит синхронно и в Семипалатинске и в Шемонаихе.

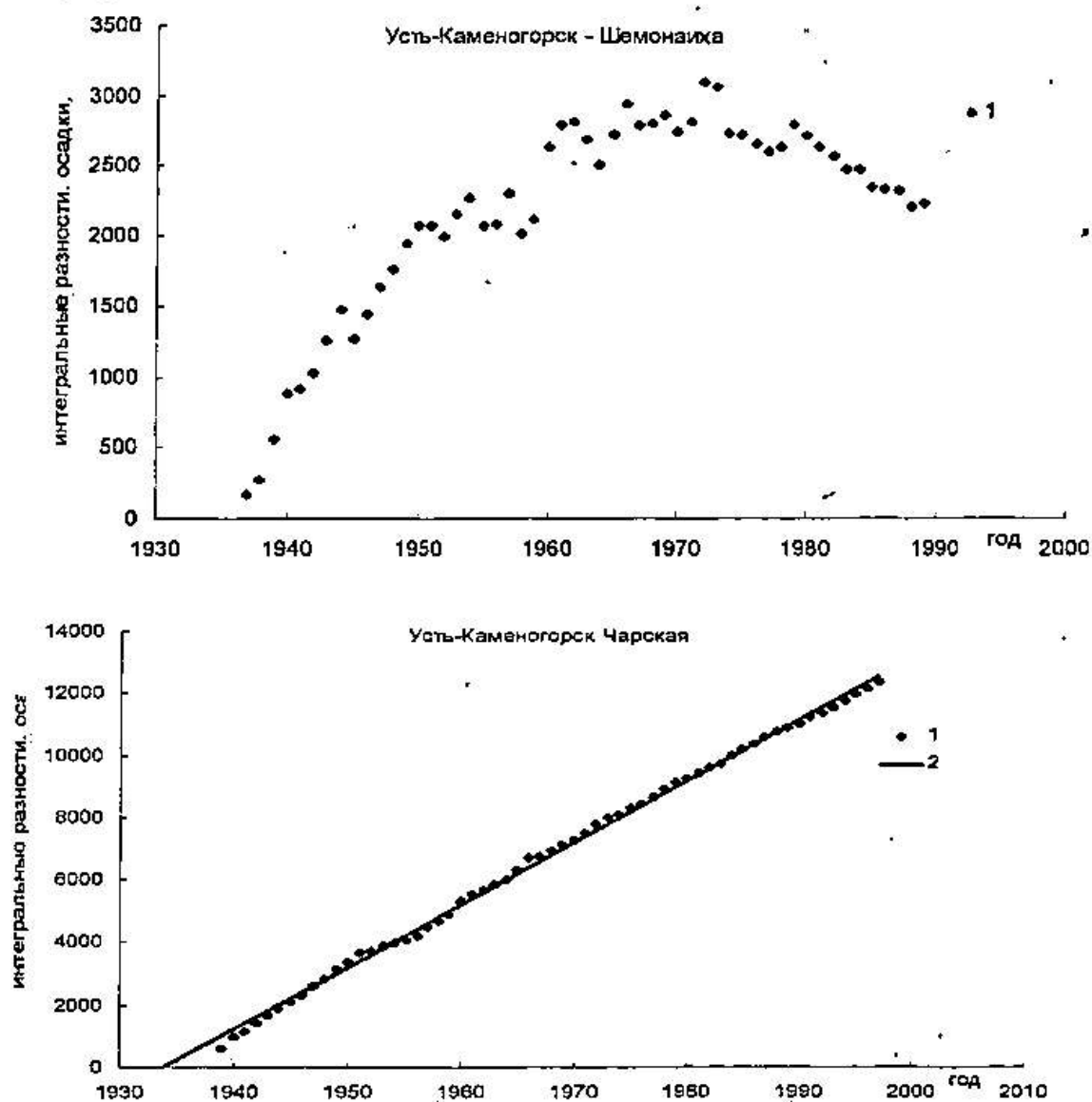


Рис.3 Временной ход интегральных разностей осадков в регионе Усть-Каменогорска. 1- ход интегральной разности на станции Усть-Каменогорск; 2- линия тренда.

Из других пар станций района Усть-Каменогорска можно выделить Усть-Каменогорск - Лениногорск. Здесь происходит накопление отрицательных разностей почти по линейному закону. Ход интегральных разностей обычно ровный и указывает на постоянство факторов, определяющих его, которые мы назвали ранее в [10]. Здесь добавим, что, несмотря на непоказательность интегральных разностей, как индикатора изменения климата, анализ этих разностей позволяет оценить устойчивость свя-



зей или степень "одинаковости" процессов, формирующих осадки в двух выбранных точках.

### *Совместный анализ трендов температуры и осадков.*

Из теории общей циркуляции следует, что между температурой и осадками должна существовать определенная связь. Для умеренных широт эта связь обратная: в годы с более высокой температурой обычно выпадает осадков меньше нормы, а в годы с температурой ниже нормы осадков выпадает больше нормы [1, 3, 4, 7, 10]. Закономерность имеет простое объяснение: в годы с температурой выше нормы преобладает вынос на регион сухого тропического воздуха, а в годы, когда температура ниже нормы, преобладает вынос холодного влажного воздуха, в том числе с Атлантики.

Представляло интерес проверить, соблюдается ли отмеченная выше закономерность в вековых изменениях температур и осадков. Для этого проанализируем качественно временной ход температур и осадков по каждой станции, отмечая такие факты как совпадение или несовпадение знака тренда, наличие одних и тех же циклов в колебаниях, совпадение экстремумов.

Временные тренды температур и осадков по станциям региона за год и по сезонам представлены в табл. 2.

Таблица 2

Временные тренды температур ( $t$ , °C) и осадков ( $Q$ , мм) по станциям региона

Станция	Характеристики									
	год		зима		весна		лето		осень	
	t	Q	t	Q	t	Q	t	Q	t	Q
Семипалатинск	0,024	-0,51	0,141	0,05	0,020	-0,15	-0,049	0,10	-0,016	-0,41
Семиарка	0,021	-0,39	0,49	-0,09	0,035	-0,19	0,038	0,02	0,033	-0,12
Чарское	0,015	-0,08	0,143	0,23	-0,035	-0,11	0,011	0,31	0,053	0,1
Шемонаиха	0,034	0,80	0,211	1,05	0,069	-0,02	0,053	-0,19	0,072	0,08
Чалобай	0,038	-0,20	0,235	0,25	0,048	-0,16	0,073	0,00	0,120	-0,22
Кара-Аул	0,021	0,05	0,153	0,15	-0,009	0,14	0,048	-0,11	0,064	0,22
Усть-Каменогорск	0,007	-1,28	0,116	0,34	-0,012	-0,42	-0,03	-0,74	0,012	0,47
Лениногорск	0,016	-1,06	0,109	0,05	0,013	0,50	0,017	0,78	0,057	0,17
Кокпекты	0,014	-1,28	0,097	0,02	0,022	-0,44	-0,005	-0,33	0,058	-0,53
Зыряновск	0,043	0,10	0,225	0,49	0,139	-0,65	0,046	-0,29	0,104	0,56

Можно видеть, что для подавляющего большинства станций характерны отрицательные тренды осадков при положительных трендах температуры,

т.е. отмеченный нами рост температуры в регионе сопровождается уменьшением количества осадков. Исключение составляет Шемонаиха, где на фоне роста температуры имеет место заметный рост количества осадков, а также Зыряновск и Кара-Аул с совсем незначительным ростом количества осадков.

По сезонам распределение более пестрое, тем не менее основные закономерности видны. Для зимы характерен рост количества осадков на фоне роста температуры, т.е. зависимость прямая, что объяснимо для зимы центральных районов континента: вторжения приносят не только влагу, но и более высокие температуры по сравнению со сложившейся в результате радиационного выхолаживания.

Весной практически на всех станциях, где имеет место рост температуры, тренд осадков отрицательный. На трех станциях — Чарское, Кара-Аул и Усть-Каменогорск имеет место отрицательный тренд температуры, но только в Кара-Ауле это сопровождается положительным трендом осадков.

Летом на 7 станциях региона отмечаются положительные тренды температуры, которым соответствуют отрицательные тренды осадков. На трех станциях в этом сезоне имеют место отрицательные тренды температуры, которые в двух случаях сопровождаются и отрицательными трендами осадков (табл. 2).

Осенью на пяти станциях тренд температуры положителен, которому только в трех случаях соответствует отрицательный тренд осадков. В Семипалатинске отрицательному тренду температуры соответствует и отрицательный тренд осадков.

Таким образом, в годовом ходе температуры и осадков в регионе просматривается закономерность, когда положительному тренду температуры в общем соответствует отрицательный тренд осадков. Однако, эта закономерность имеет сложную внутреннюю структуру: зимой (и в значительной мере — осенью) росту температуры в общем соответствует рост осадков и это перекрывается тем, что летом на большинстве станций росту температуры соответствует уменьшение количества осадков, дополняемое такими закономерностями по ряду станций и весной.

Задача установления согласованности циклов в колебаниях температуры и осадков оказалась чрезвычайно сложной, во-первых, из-за неоднозначности связей, а, во-вторых, из-за сдвига в экстремумах и неодинаковости по амплитуде отклика в колебаниях сравниваемых параметров. Так, для Семипалатинска в экстремально теплом в 1940 г. осадков выпало около нормы, а в холодный 1946 г. в ходе осадков имел место минимум

экстремально холодному 1964 г. соответствовало только некоторое понижение количества осадков и т.д.

Для Усть-Каменогорска в экстремально теплые 1961 и 1962 гг. осадки были существенно выше нормы. В экстремально теплый 1982 г. осадков было около нормы, а в экстремально холодный 1985 г. – тоже около нормы. Аналогичная ситуация имеет место и при сравнении сезонных значений температуры и количества осадков.

Трудность выявления согласованных циклов в ходе температуры и осадков объяснима. Она частично объяснена при сравнительном анализе годового и сезонного хода температуры [10]. Причина, прежде всего, в том, что между количеством осадков и температурой может быть как прямая, так и обратная связь. Зимой, например, экстремально низким температурам соответствует малое количество осадков, т.к. низкие температуры обусловлены влиянием Сибирского антициклона. Летом же, низкие температуры обусловлены частыми вторжениями из Атлантики и Баренцева моря, которые приносят много влаги, и связь между температурой и осадками обратная. В переходные сезоны эта связь может быть как прямой, так и обратной, что дополнительно усложняет анализ. Осадки, кроме того, явление. Они могут за несколько дней в сезон выпасть в количестве нормы, а на среднюю температуру сезона это не повлияет, она может оказаться зимой ниже, а летом выше нормы.

Совместный анализ временного хода температуры и осадков, видимо, следует выполнять иначе, привлекая для этого спектральный анализ к заранее рассчитанным автокорреляционным функциям температуры и осадков (т.е. к сглаженным временным рядам). Необходимо выделять не отдельный год, а периоды в несколько лет с пониженным и повышенным количеством осадков и увязать их с ходом температуры [1 и др.]. Это предполагается сделать в дальнейших исследованиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Священников П.Н. Естественная изменчивость характеристик климата Северной полярной области и северного полушария. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 157 с.
2. Афанасьева Н.А., Бондаренко Л.И., Русанова Т.С. Тенденции естественного и антропогенного характера в режиме местной погоды г. Алма-Аты за последние 50 лет //Материалы метеорологических исследований, 1980. №2. - С.-52.

3. Багдасарян А.А. Влияние города Ереван на режим некоторых метеорологических элементов. // Физические основы изменения современного климата. М.: Гидрометеиздат, 1980. С. 104 - 106.
4. Байдал М.Х., Неушкин А.И. Глобальные атмосферно-циркуляционные факторы климата и их тенденции на ближайшие десятилетия. // Физические основы изменения современного климата. - М.: Гидрометеиздат, 1980. - С. 46 - 49.
5. Бакиров К.Б. Режим температуры воздуха и атмосферных осадков внутреннего Тянь-Шаня (статистические исследования) // Дисс. к.г.н. Бишкек. - 1994. - 240 с.
6. Бакиров К.Б., Хейфец М.Н. Многолетние изменения климата на Тянь-Шане (статистический анализ временных рядов температуры воздуха и атмосферных осадков) // Перспективные методы планирования и анализа экспериментов при исследованиях случайных полей и процессов // Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции. -М.: МЭИ. - 1991.- С. 122 - 123.
7. Дроздов О.А. О связи многолетних колебаний температуры и увлажнения // Физические основы изменения современного климата. - М.: Гидрометеиздат. - 1980. - С. 49 - 53.
8. Курс климатологии/ Под ред. Е.С. Рубинштейн. - Л.: Гидрометеиздат, 1940. - 435 с.
9. Рубинштейн Е.С., Полозова А.Г. Современное изменение климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 268 с.
10. Чередниченко А.В. Тенденции изменения температуры воздуха над востоком Казахстана // Вестник Киргизско - Российского Славянского университета, серия метеорологическая, № 2. - Бишкек. 2000. - С. 24 - 35.

Казахский научно исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## **ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ЖАУЫН- ШАШЫНДАРДЫҢ ӨЗГЕРМЕЛІЛІГІ**

А.В. Чередниченко

*Қазақстандық Алтай мен оның маңындағы аумақта жауын-шашын жауын-шашындар мөлшерінің өзгеру тенденциялары қарастырылған. Жылдық жауын-шашын мөлшері трендерінің оң және теріс әрі соңғылары басымдау болатындығы көрсетілген. Және де станциялардың көбінің жауын-шашындардың көктем және жаз кезеңдерінде, сонымен қатар күзде азайып, қыс кезеңінде біраз көбейетіндігін атап көрсететіндігіне назар аударылған.*