

УДК 551.581

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В РЕГИОНЕ ПРИАРАЛЬЯ

© 2007 г. Ж.В. Кузьмина

The long-term dynamics of air temperatures in Northern and Southern Pre-Aral regions (meteorological stations – Chimbai, Samarkand, Arai Sea, Irgiz, Tamdy) indicates a reliably increased sum of mean (annual, half-yearly and seasonal) temperatures by 0,8 – 5,2°, absolute minimum by 2,1 – 9,7° and absolute maximum by 1,1 – 3,1° for the warm period of time. It means that the summer heat became appreciably increased, the warm period of the year – longer and hence the warming takes place in the winter-autumn period.

В связи с сильным увеличением количества пыльных бурь и солевого выноса с оголенных солончаков осушенного дна Аральского моря в настоящее время чрезвычайно актуальной задачей является предотвращение этого путем наиболее перспективного и наименее затратного способа – искусственного формирования растительного покрова на оголенных солончаках. Участники подобных работ, начатых с конца 2002 г. в регионе Южного Приаралья, столкнулись с существенными негативными последствиями климатических аномалий, ранее не имевших место в регионе работ: многократное увеличение количества выпадающих осадков, возникновение поздних весенних заморозков, летних ливней и др. [1]. Учитывая важную роль климата в развитии процессов современного переувлажнения и засоления почв, а также появление в последнее время большого количества работ, касающихся существенных климатических изменений, особенно в европейской части России [2–7], инициирующих изменения в динамике уровня грунтовых вод [8–11], а также почвенного и растительного покровов [1, 12–15], были выполнены исследования с целью установить наличие возможных климатических изменений в регионе Южного Приаралья. Оценке были подвержены основные для наземных экосистем параметры (осадки и температура воздуха) за многолетний период с тем, чтобы в дальнейшем появилась возможность корректировать условия и сроки проведения опытных экспериментальных посадок.

Методика

Основной статистический анализ проводился на основе суточных данных 8 метеостанций Средней Азии, наиболее приближенных к региону Приаралья, входящих в состав глобальной международной сети метеорологических данных (ВМО) Росгидромета за период с момента их открытия по май 2002 г., так как только они имеют непрерывные (суточные), длительные, выверенные и корректные ряды значений метеорологических показателей. Поскольку в ВМО входит очень ограниченный набор метеорологических станций, наиболее приближенными к региону наших работ оказались только восемь (рис. 1): Чимбай (Каракалпакия; 42.9 с.ш., 59.8 в.д.), Аральское море (Казахстан; 46.8 с.ш., 61.7 в.д.), Иргиз (Казахстан; 48.6 с.ш., 61.3 в.д.), Туркестан (Казахстан; 43.3 с.ш., 68.3 в.д.), Тургай (Казахстан; 49.6 с.ш., 63.5 в.д.), Тамды (Узбекистан; 41.7 с.ш., 64.6 в.д.), Чарджоу (Туркменистан; 39.1 с.ш., 63.6 в.д.), Самарканд (Узбекистан; 39.6 с.ш., 67.0 в.д.).

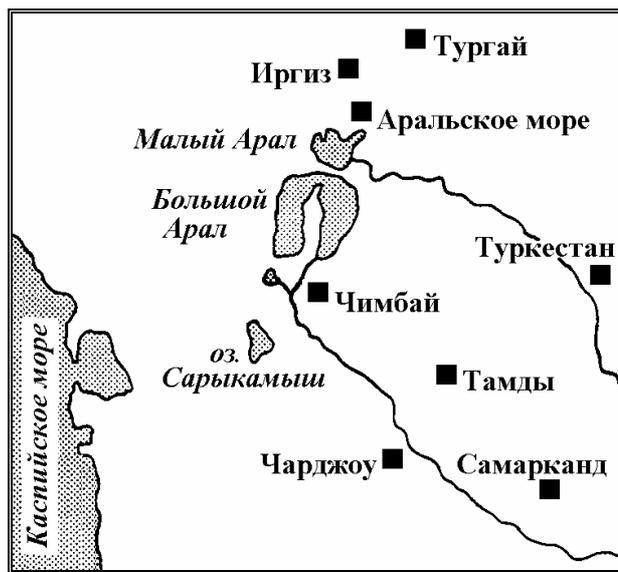


Рис. 1. Схема расположения анализируемых метеостанций, входящих в ВМО

Количество атмосферных осадков за разные периоды (месяц, сезон, полугодие, год) рассчитывалось как сумма суточного их количества за необходимые временные периоды. Средние температуры воздуха за месяц, год, сезон и полугодие рассчитывались на основании значений среднесуточной температуры путем усреднения данных для анализируемых периодов. Абсолютные минимальные и максимальные температуры воздуха за разные периоды времени устанавливались на основе суточных данных.

Годовой цикл был разбит на теплое и холодное полугодия, а также по сезонам года: весна (3–5 мес.), лето (6–8), осень (9–11), зима (1–2, 12) для каждого года в многолетнем ряду данных. Поскольку анализу были подвержены данные метеостанций, расположенных в аридных территориях, для получения более корректных результатов исследований теплое и холодное полугодия каждого года разбивались дважды: на более раннее и более позднее по срокам, так что для теплое полугодия рассчитывались показатели для 4–9 мес. и для 5–10 мес. отдельно. Аналогично анализировались и холодные полугодия.

Для каждого из полученных многолетних рядов данных (годовых, полугодических, сезонных) строились графики их многолетней динамики и высчитывались коэффициенты корреляции между фактическими данными и их линейными трендами (для осадков или

температуры воздуха). Анализу подвергались только достоверные тренды, т.е. те, значимость коэффициентов корреляции которых лежала в пределах от 90 до 99,9 % [16].

Для адекватной оценки величины тренда осадков и температуры воздуха проводился анализ их амплитуд изменений, вычислявшийся как отношение *модуля изменения трендовых значений* осадков или температуры за многолетний период к *модулю амплитуды колебания их фактических (измеренных) значений* в многолетнем аспекте: $K_{изм.} = (|F(t_n) - F(t_1)|) / (|t_{max} - t_{min}|) \times 100\%$, где $F(t_1)$ и $F(t_n)$ – начальные и конечные значения линейного тренда оцениваемой метеорологической характеристики (суммы осадков, температуры средней, минимальной или максимальной); t_{max} и t_{min} – максимальные и минимальные фактические (измеренные) значения этого параметра за многолетний период.

Для оценки совокупного действия трендов и характеристики изменения климата была выполнена оценка *индекса засушливости Д.А. Педя*, поскольку в него входят значения температуры и осадков в нормированном виде, которые позволяют объективно сравнить тенденции различных станций и сезонов. Первым рассчитывался *индекс Д.А. Педя (1)* по отношению к базовому периоду 1961–1990 гг.: $I_{Педя1} = (\Delta t_i / \sigma_t) - (\Delta p_i / \sigma_p)$, где Δt и Δp – аномалии средней температуры воздуха и осадков тренда (аномалии – отклонения от средних фактических величин базового периода 1961–1990 гг.); σ_t и σ_p – среднеквадратические отклонения средней температуры воздуха и

осадков. Также оценивались значения этого индекса по отношению к среднему уровню за полный период инструментальных наблюдений для каждой из станций, для чего был рассчитан *модифицированный индекс засушливости Д.А. Педя (2)*: $I_{Педя2} = (\Delta T_i / \sigma_t) - (\Delta P_i / \sigma_p)$, где ΔT и ΔP – отклонение от среднего уровня средней температуры воздуха и суммы осадков за весь многолетний период наблюдений. С помощью этих индексов (1 и 2) характеризовались условия как влагообеспеченности, так и теплообеспеченности, поскольку итогом являлись знакопеременные величины. Таким образом, положительным значениям индексов соответствовали засушливые периоды с повышением термического режима, а отрицательным – влажные – с усилением холодов.

Климатические изменения в Южном Приаралье

Начало экспериментальных работ (2002 г.) по выращиванию галофитов на обсохшем дне Аральского моря совпало с началом периода повышенного выпадения атмосферных осадков в Приаралье (таблица). Как видно из таблицы, особенно существенное увеличение месячного количества осадков за 2002 и 2003 гг. произошло в июне. В июне 2002 г. оно составило 13-кратное увеличение по сравнению с нормой 1937–1965 гг. (до развития Аральского кризиса), а в мае 2003 г. – 7-кратное увеличение. Близкая ситуация характерна также для апреля–мая 2002–2004 гг., а также для осенне-зимнего периода в отдельные годы (таблица).

Суммы атмосферных осадков за 2002–2006 гг. и за периоды: 1937–1965 – отсутствие Аральского кризиса; 1965–2002 – полный период существования Аральского кризиса; 1980–2002 – период активной фазы развития Аральского кризиса (по метеостанции Чимбай), мм

Годы	Месяцы												Всего за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2002	15,3	53,4	18,3	33,8	42,7	55,1	4,6	11,9	0,7	0,7	0,4	2,9	239,8
2003	5,9	17,8	35,0	21,3	72,2	31,2	н/д	0,3	н/д	15,9	45,1	69,0	313,7
2004	2,4	36,7	0,0	64,6	33,5	3,8	3,9	н/д	н/д	2,8	7,0	8,1	162,8
2005	20,8	0,0	9,4	3,8	12,1	4,4	2,5	2,0	н/д	2,4	10,1	22,5	90,0
2006	16,5	12,2	6,8										
1937–1965	8,4	11,4	13,6	13,2	10,3	4,2	3,5	2,7	3,1	7,7	5,5	7,1	90,8
1965–2002	12,2	10,4	19,8	19,4	16,6	5,5	2,5	2,9	3,5	8,7	11,3	12,6	125,3
1980–2002	12,3	9,9	21,5	16,7	19,6	6,4	2,3	3,8	3,5	7,5	12,6	12,4	130,6

В динамике почвенного и растительного покровов ведущую роль играют атмосферные осадки. Для оценки характера климатических изменений нами были построены и проанализированы климаграммы для различных временных периодов: без активного антропогенного вмешательства человека (1925–1971 гг.) и в период активного развития Аральского кризиса (1972–1990 гг.) по четырем метеостанциям: Чимбай, Тахтакупыр, Кунград, Нукус. Анализировались суммарное количество атмосферных осадков и средняя температура воздуха. Помимо этого оценивалось наличие линейных трендов и их значимость в многолетней динамике выпадения атмосферных осадков для различных временных периодов. По сменам направлений динамических тенденций и трендов оценивалась многолетняя динамика осадков.

Таким образом, за период проведения наших поле-

вых работ в распределении среднемесячной температуры воздуха (2002–2005 гг.) выявлены следующие тенденции по сравнению с периодом до активного антропогенного вмешательства: а) повышение среднемесячных температур воздуха в зимний период (с января по март) на 0,6–8 °С; б) понижение среднемесячных температур воздуха в пределах 0,9–6,6 °С в весенне-летний сезон (с апреля по июнь месяц); в) потепление в летне-осенний период с июля по ноябрь, особенно заметное осенью: в октябре (на 4,1–8,1 °С) и в ноябре (на 1,2–3,8 °С); г) похолодание в весенний период (апрель–май): на 3,1–6,6 °С в апреле и на 0,2–3,5 °С в мае.

В многолетней динамике (1937–2002 гг.) температур воздуха в регионе Южного Приаралья наблюдается существенное достоверное повышение значений: среднегодовых, средних по полугодиям и по всем сезонам гоа (на 1,3–2, °С); абсолютных минимальных

теплого (май–октябрь) периода (на 2–3 °С), летнего (на 2–3 °С) и осеннего (на 3 °С) сезонов года, а также абсолютных максимальных значений за теплое полугодие (на 2,2 °С).

Для оценки репрезентативности выводов о климатических изменениях в Южном Приаралье были проанализированы климатические данные в соседних регионах Средней Азии.

Многолетняя динамика атмосферных осадков и температуры воздуха в Приаралье и сопредельных регионах

Величины значимых коэффициентов корреляции для сумм атмосферных осадков лежат в пределах от +0,17 (теплое полугодие в Туркестане) до +0,39 (зима и холодное полугодие в Иргизе, рис. 2а), а значения самих изменений колеблются в пределах от 0 до 62 мм (здесь и далее учитываются изменения величин параметров только при значимых коэффициентах корреляции).

В многолетнем распределении годовых, полугодовых и сезонных сумм атмосферных осадков значимые достоверные тренды выявлены для всех анализируемых станций, практически все они положительные. Лишь для единственной метеостанции (Аральское море) установлен отрицательный тренд для теплого

полугодия и для летнего сезона ($r = -0,24$ и $r = -0,25$). Таким образом, для 7 (из 8) метеостанций установленные достоверные положительные тренды изменения сумм атмосферных осадков за холодное полугодие, и только для двух из них (Чимбай и Туркестан) характерно одновременное повышение за оба полугодия (за теплое и холодное). Основной тенденцией в сезонном перераспределении осадков является их безусловное повышение зимой (1–2, 12) и осенью (9–11).

Анализ амплитуды изменений осадков (для всех выявленных 32 трендов совокупно: годовых, полугодовых и сезонных) показал, что для большей части установленных достоверных трендов (81 % из всех) значения изменений в выпадении осадков уже лежат в пределах от 15 до 30 % (для 89 % случаев полугодовых и для 90 % случаев сезонных трендов).

Достоверные изменения сумм атмосферных осадков для региона Приаралья лежат в пределах от 38 до 62 мм в год, что составляет от 18 до 49 % от их годовых среднемноголетних значений и от 23 до 103 % – от их средних сезонных значений за весь период инструментальных наблюдений. Таким образом, достоверные изменения в выпадении осадков в регионе Приаралья в среднем составляют около 30 % от их годовых среднемноголетних значений и свыше 53 % от их сезонных среднемноголетних значений.

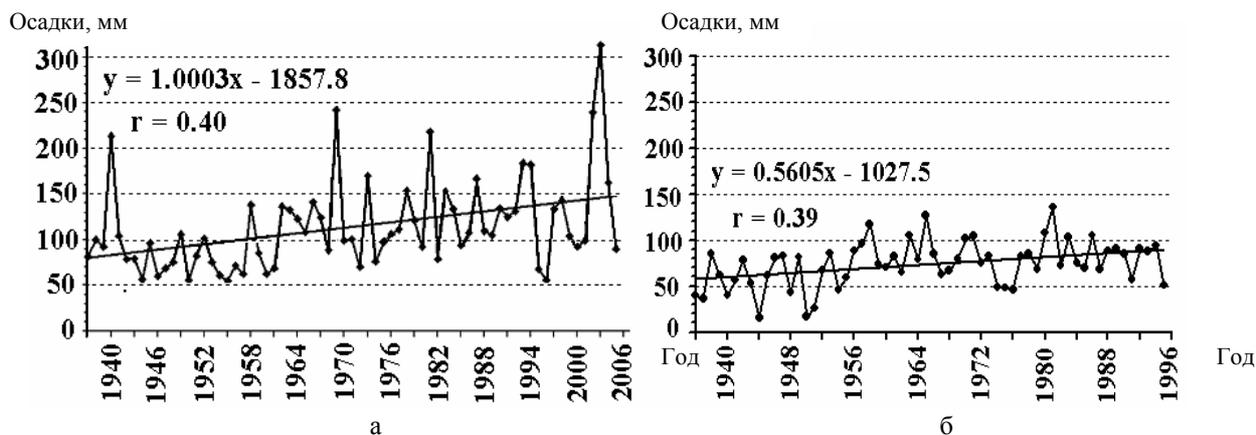


Рис. 2. Тренды увеличения сумм атмосферных осадков: а – за год по метеостанции Чимбай (1937–2005 гг.) в Южном Приаралье; б – за холодное полугодие (4–9 мес.) по метеостанции Иргиз (1936–1995 гг.) в Северном Приаралье. Здесь и далее на рисунках приводятся уравнения трендов и их коэффициенты корреляции (r)

Для средних температур воздуха (среднегодовых, полугодовых и сезонных) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от $-0,30$ (теплое полугодие в Чарджоу) до $+0,70$ (теплое полугодие в Чимбае), при этом минимальными по модулю значениями коэффициентов корреляции здесь являются $-0,17$ (лето в Чарджоу) и $+0,21$ (зима в Самарканде). Поскольку снижение среднегодовой температуры воздуха на 1 °С может приводить к снижению урожая зерновых на 15 ц/га для стран Западной Европы, в анализе полностью учитывались все полученные значимые коэффициенты корреляции, так как изменения среднемноголетних температур, соответствующие минимальным значениям коэффициентов корреляции, в нашем случае достигали около полградуса и

выше (0,4 °С в Чарджоу и 1,5 °С в Самарканде).

В многолетнем распределении средней температуры воздуха (среднегодовой, средней по полугодиям, а также по отдельным сезонам года) установлены как положительные (рис. 3), так и отрицательные достоверные тренды, хотя последних чрезвычайно мало. Из 45 выявленных достоверных трендов средней температуры воздуха, которые установлены для 7 из 8 метеостанций, лишь 15 % – отрицательные, последние характерны для теплого полугодия и летнего сезона двух метеостанций (Туркестан и Чарджоу). Эти снижения средних сезонных и полугодовых температур довольно незначительные и лежат в пределах 0,4–0,8 °С. В то время как достоверные повышения за многолетний период среднегодовых температур составляют от

0,8 до 3,3 °С, средних полугодовых – от 1,4 до 4,1 и средних сезонных – от 1,5 до 5,3 °С.

Для половины метеостанций (Аральское море, Чимбай, Самарканд, Тамды) повышения среднегодовых температур воздуха в многолетнем аспекте сопровождаются такими же значимыми повышениями средних температур воздуха по обоим полугодиям и по всем сезонам года с очень высокими коэффициентами корреляции (+0,38 – +0,68). Для метеостанции (Иргиз) повышение среднегодовой температуры воздуха происходит за счет холодного полугодия и зимнего сезона. Для двух метеостанций на фоне отсутствия достоверных изменений среднегодовых температур отмечается слабое снижение средних полугодовых температур (Туркестан и Чарджоу). И лишь для одной метеостанции (Тургай) вообще не установлено никаких изменений для средних температур воздуха – ни для годовых, ни по полугодиям или сезонам года.

Таким образом, преобладающей тенденцией в многолетнем распределении среднегодовой температуры воздуха в регионе Приаралья является стабильное повышение среднегодовых значений температуры воздуха, которое достоверно происходит за счет потепления воздуха как в холодное, так и в теплое полугодия. При этом в холодные периоды года (сезоны и полугодия) температуры повышаются с несколько большей амплитудой, нежели в теплые.

Амплитуды изменений средней температуры воздуха (для всех 45 трендов совокупно) лежат в пределах от 2 до 87 %, при этом для большей части установленных достоверных трендов (80 % из всех) значения этого коэффициента лежат в пределах от 15 до 50 %, а для отдельных полугодий и сезонов года он достигает более 50 %.

Для абсолютных максимальных температур воздуха (холодного/теплого полугодий, весны, лета, осени и зимы) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от +0,21 (теплое полугодие и лето в Иргизе) до +0,48 (теплое полугодие и лето в Чимбае). При этом значимые повышения величин максимальных температур воздуха достигают от 1,1 до 3,7 °С.

В многолетней динамике абсолютных максимальных температур воздуха по полугодиям и сезонам года в Приаралье и соседних регионах отмечаются только положительные тренды (отрицательные тренды отсутствуют), характерные для теплого полугодия, которые формируются в основном за счет летнего и отчасти осеннего сезонов года. Однако их количество не так велико – установлено лишь 13 трендов. Положительные достоверные тренды выявлены для теплого полугодия (4 станции), а также для летнего (5 станций), зимнего, осеннего и весеннего сезонов года (по 1 станции). Для трех из восьми метеостанций (Тургай, Туркестан, Чарджоу) вообще не установлено никаких изменений для абсолютных максимальных температур воздуха – ни по полугодиям, ни по сезонам года.

Амплитуды изменений максимальной температуры воздуха (для всех 13 трендов) лежат в пределах от 12 до 38 %, при чем для большей части из них (12) они достигают 15–40 %.

Для абсолютных минимальных температур воздуха (холодного/теплого полугодий, весны, лета, осени и зимы) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от –0,20 (весна в Тургае) до +0,61 (лето в Самарканде), при этом минимальным по модулю значением коэффициента корреляции здесь является +0,18 (осень в Туркестане). Значимое минимальное понижение абсолютной минимальной температуры воздуха для наших метеостанций составляет от 1,6 до 4,7 °С, в то время как значимое повышение лежит в пределах от 2,1 до 9,7 °С.

Установлено значимое повышение абсолютных минимальных температур воздуха как в теплое полугодие (для 3 станций), так и годовое (т.е. в холодное полугодие – для 5 станций), на фоне повсеместного отсутствия тенденции к их понижению, при этом в холодное полугодие изменения произошли более значительные, чем в теплое. В среднем для Приаралья заморозки в теплое полугодие снизились на 3,3 °С (в интервале от 2,1 до 5,3 °С для разных метеостанций), в то время как самые сильные морозы ослабли на 5,2 °С (в интервале от 3,6 до 7,7 °С для разных метеостанций).

Таким образом, для всех метеостанций региона Приаралья выявлены значимые достоверные тренды изменения абсолютных минимальных температур воздуха (рис. 3), большая часть из которых – положительные (95 %). Основной тенденцией в многолетней динамике абсолютных минимальных температур воздуха является их повышение осенью (7 станций) и зимой (5 станций), для половины метеостанций еще весной и летом, а также для двух полугодий сразу (холодного и теплого для 3 станций).

Амплитуды изменений минимальной температуры воздуха (для всех 39 трендов) лежат в пределах от 12 до 42 %, причем для большей части установленных достоверных трендов (35) его значения достигают выше 15 %.

Анализ значений рассчитанных *индексов засушливости Д.А. Педа* позволил выявить некоторые общие закономерности для региона Приаралья и сопредельных территорий.

Значения индекса засушливости Д.А. Педа (1), рассчитанные по отношению к базовому периоду, показали, что климат на большей части анализируемых станций (на 7 из 8) в сезонном (6 станций), полугодовом (6) и годовом (4) циклах претерпевает изменения по сравнению с периодом 1961–1990 гг., связанные с потеплением и иссушением, которое в основном происходит за счет холодного полугодия, а также осени и зимы. В меньшей степени потепление и иссушение климата встречается также в теплое полугодие (3 станции), летом (4) и весной (2). По сравнению с базовым периодом (1961–1990 гг.) похолодание, сопровождающееся повышением увлажнения в годовом (3 станции), полугодовом (4) и сезонном (5) циклах, отмечается только для станций, расположенных Южнее Аральского моря (Чимбай, Тамды, Туркестан, Чарджоу, Самарканд), где оно также происходит в основном за счет холодного полугодия и зимы.

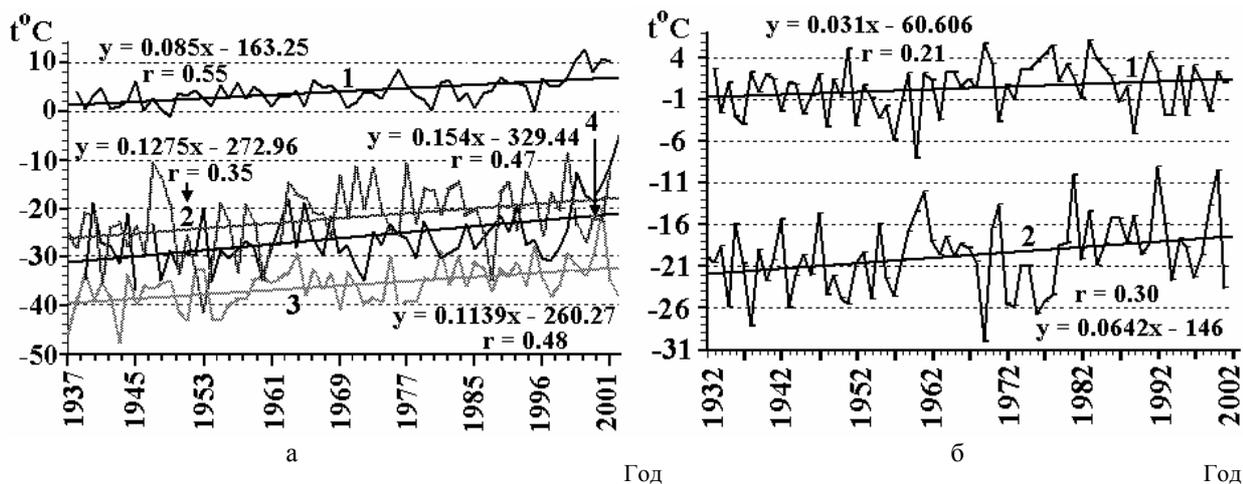


Рис. 3. Тренды повышения абсолютных минимальных температур воздуха: а – по сезонам года (1 – лето, 2 – осень, 3 – зима, 4 – весна) для метеостанции Аральское море (1937–2002 гг.) в Северном Приаралье; б – по полугодиям (1 – теплое полугодие – 4–9 мес.; 2 – холодное 1–3, 10–12 мес.) для метеостанции Тамды (1932–2001 гг.) в Южном Приаралье

На основании расчета модифицированного индекса засушливости Д.А. Педя (2) выяснилось, что за весь многолетний период потепление климата, сопровождающееся снижением увлажнения в годовом цикле, характерно всего для трех станций (Аральское море, Чимбай, Тамды), где оно происходит за счет теплого полугодия, осени и лета. При этом повсеместно в Приаралье также наблюдается увеличение засушливости и усиление термического режима в теплое полугодие, осенью и летом. Для климата же большей части метеостанций (5), расположенных как южнее, так и севернее Аральского моря, за весь период инструментальных наблюдений характерно повышение увлажнения и похолодание в годовом цикле, которое целиком связано с изменениями в холодном полугодии и зимой.

Анализ динамики значений двух рассчитанных индексов засушливости (1 – для базового периода 1961–1990 гг.; 2 – для всего периода инструментальных наблюдений) показал, что к настоящему времени в Приаралье и сопредельных регионах нарастает тенденция, связанная с увеличением увлажнения и похолоданием в годовом цикле за счет соответствующих изменений в холодном полугодии и в зимнем сезоне, в то время как для теплого полугодия, лета и осени повсеместно усиливается тенденция потепления, сопровождающаяся снижением увлажнения.

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- анализ климатических данных за длительный период позволил установить, что в районе проведения экспериментальных фиторекультивационных работ (Южное Приаралье) отмечается увеличение количества выпадения атмосферных осадков, особенно в зимне-весенний период, и удлинение периода их выпадения с марта-апреля вплоть до мая-июня, что абсолютно не наблюдалось ранее;

- в 2002–2006 гг. в Южном Приаралье продолжилось годовое увеличение атмосферных осадков за счет зимне-весеннего периода, а по температурному режиму зима (январь-март) и осень (октябрь-ноябрь)

стали более теплыми, а весна (апрель-май) и лето (июнь-сентябрь) – более холодными;

- для проведения опытных посадок кустарников и трав на обсохшем дне Аральского моря повышение зимних температур, наряду с увеличением осадков зимой, можно рассматривать как положительный фактор, в то время как существенное снижение весенних температур наряду с многократным повышением сумм весенних атмосферных осадков и возникновением летних ливней в Южном Приаралье является препятствием, затрудняющим проведение посадочных работ в связи с заморозками и образованием значительной солевой корки на почве;

- в Приаралье и соседних регионах Средней Азии (метеостанции: Чимбай, Чарджоу, Самарканд, Туркестан, Иргиз) отмечается достоверное (значимое) годовое увеличение количества выпадения атмосферных осадков за период 70–100 лет, а для двух метеостанций Тургай и Тамды увеличение выпадения осадков достоверно зафиксировано пока только для холодного полугодия, а также летнего и осеннего сезонов года;

- из восьми метеостанций лишь на одной (Аральское море) происходит достоверное снижение осадков за теплое полугодие (с мая по октябрь) и за летний сезон (с июня по август), причем суммарное годовое их количество не изменяется;

- в многолетней динамике температур воздуха региона Приаралье и соседних территорий (Чимбай, Самарканд, Аральское море, Иргиз, Тамды) наблюдается существенное достоверное повышение их средних (годовых, полугодовых и сезонных) значений на 0,8–5,2 °С, их абсолютных минимальных годовых, полугодовых и сезонных значений на 2,1–9,7 °С (рис. 3), а также повышений их абсолютных максимальных значений за теплое полугодие и по отдельным сезонам года на 1,1–3,1 °С;

- многолетние изменения в распределении осадков и температуры воздуха в Южном Приаралье и соседних с ним регионах Средней Азии, выявленные на основании анализа их трендов, оказались чрезвычайно сходными: они направлены на ощутимое усиление летней жары,

удлинение теплого времени года, а также потепление и повышение годового атмосферного увлажнения, в большей степени за счет холодного полугодия (рис. 2), а также зимнего и осеннего сезонов года;

– совокупный анализ индексов засушливости Д.А. Педа (1 и 2) показал, что нарастающими тенденциями в регионе Приаралья и сопредельных территорий являются увеличение увлажнения и похолодание в годовом цикле за счет холодного полугодия и зимы, а также повышение температур и сокращение осадков в теплое полугодие, летом и осенью.

Работа выполнена при поддержке гранта INCO-SEC «Long Term Ecological Research program for Monitoring Aeolin Soil Erosion in Central Asia» № 516721 Project CALTER.

Литература

1. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. // Аридные экосистемы. 2004. Т. 9. № 21. С. 1–12.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. М., 2003.
3. Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М., 2000.
4. Кононова Н. К., Харламова И. В. // Материалы метеоролог. исследований. М., 1982. № 6. С. 6–56.

5. Онуфрениа М.В., Горянцева О.В. // Влияние изменения климата на экосистемы. М., 2001. С. 32–38.
6. Титкова Т.Б. Изменение климата переходных природных зон русской равнины: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2006.
7. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. // Тез. докл. Всерос. конгр. работников водного хозяйства. 9–10 декабря 2003. М., 2003. С. 18–19.
8. Ковалевский В.С., Клиге Р.К. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2003. № 3. С. 10–17.
9. Кузьмина Ж.В. // Метеорология и гидрология. 2005. № 8. С. 89–103.
10. Назаренко О.Г. // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 4. С. 504–510.
11. Соколова Т.А. и др. // Экологические процессы в аридных биогеоценозах: Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М., 2001. С. 113–132.
12. Мяло Е.Г., Левит О.В. // Аридные экосистемы. 1996. Т. 2. № 2–3. С. 145–152.
13. Неронов В.В. Динамика растительности и населения грызунов на Юге Калмыкии в изменяющихся условиях среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2002.
14. Неронов В.В. // Аридные экосистемы. 1997. № 5. Т. 3. С. 82–94.
15. Kouzmina J.V. // Ecological Engineering and Environment protection. 2004. № 2. P. 5–15.
16. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М., 1995.