

ВЛИЯНИЕ БЫСТРОМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА ПРИАРАЛЬЯ НА ФИТОМЕЛИОРАЦИЮ СОЛОНЧАКОВ¹

© 2009 г. Ж.В. Кузьмина*, С.Е. Трешкин**

**Институт водных проблем Российской академии наук
Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3, E-mail: jannaKV@yandex.ru*

***Российская академия сельскохозяйственных наук
Россия, 117218 Москва, ул. Кржижановского, д. 15, корп. 2, E-mail: biost@yandex.ru*

Реферат. На основе анализа результатов многолетних (2003-2008 гг.) экспериментов по выращиванию на солончаках в Южном Приаралье галофитных кустарников, многолетних и однолетних трав, установлены климатические закономерности, влияющие на их приживаемость, приводятся отдельные результаты посадок и зависимостей температурного режима в них.

Ключевые слова: температура воздуха и почв, относительная влажность воздуха, экосистемы, засоление почв, солончаки, галофитные растения.

Катастрофическое высыхание с 2001 года трех оставшихся от некогда единого Арала морских акваторий, привело к образованию обширных оголенных солончаков на обсохшем дне бывшего моря. В этом году на космоснимках NASA от 13 июня и 08 июля 2009 года впервые зафиксировано полное высыхание Восточной мелководной части Арала (Image Science ..., 2009). Проблема предотвращения пыльных бурь и выноса солей с обсохших оголенных территорий дна Аральского моря тесно связана с рекультивацией солончаков как морских, так и образовавшихся на бывших луговых, тугайных и/или орошаемых почвах в результате неправильного хозяйственного использования земель и ошибочной водохозяйственной политики. В настоящее время наиболее перспективным и наименее затратным способом рекультивации солончаков в Приаралье является фитомелиорация. Работы по опытному формированию растительного покрова на солончаках в Южном Приаралье проводились в 2002-2009 годах Институтом Биоэкологии Академии наук Республики Узбекистан при участии Института водных проблем Российской академии наук, Университета Бен-Гурион (Израиль) и финансовой поддержке фонда USAID (США) и Европейской комиссии (Кузьмина и др., 2004, 2006; Кузьмина, Трешкин, 2009).

Материалы, методы, условия культивирования

Работы проводились в двух районах Каракалпакстана: в Муйнакском районе – на солончаках обсохшего в 1985-1990 гг. дна Аральского моря в бывшем заливе Рыбацкий и в Нукусском районе – на слабозасоленных супесчаных почвах на берегу сильно засоленного озера Соленка. В Муйнакском районе процессы почвообразования развиваются в автоморфном режиме на полого-волнистых супесчано-суглинистых морских отложениях при залегании грунтовых вод от 5 до 8 м. Участок в Нукусском районе имел более легкий легкосуглинисто-супесчаный гранулометрический состав полуавтоморфных песчаных почв

¹ This research was supported under Program CALTER "Long Term Ecological Research Program For Monitoring Aeolian Soil Erosion In Central Asia" and Grand № TA-MOU-03-CA23-032 funded by the U.S. – Israel Cooperative Development Research Program, Bureau for Economic growth, Agriculture, and Trade, U.S. Agency for International Development.

при залегании грунтовых вод от 4 до 7 м. Участок в Муйнакском районе, размером 2 га, расположенный в 6 км севернее пос. Муйнак, использовался в основном под посадки кустарников (*Haloxylon aphyllum* и *Salsola richteri*) и травяного многолетника *Ceratoides papposa*. Небольшой участок 0.3 га в Нукусском районе использовался для посадок однолетних трав (*Kochia iranica*, *Climacoptera lanata*, *Salsola nitraria*) и многолетников (*Alhagie pseudalhagi*, *Acroptylon repens*). Посадка кустарников проводилась сеянцами 1-го года, высотой 15-40 см. Однолетние и многолетние травы высевались весной семенами, собранными в осенний период предыдущего года в районе проведения работ. Полив опытного участка в Муйнаке проводили пожарной помпой мощностью 800 л/мин. Использовалась вода из сбросного коллектора, расположенного в 300 м от участка, с минерализацией воды 1.9-2.3 мг/л. Участок в Нукусском районе поливался слабозасоленной (1.4-2.0 г/л) и незасоленной (1.0-1.3 г/л) водой из оз. Грачевка и водопровода г. Нукуса. После посадки полив, обычно, проводился два раза: в конце апреля – в середине мая и в июне – середине июля.

Для контроля за динамикой влажности и солей в почве из шурфов глубиной от 1.5 м до 3 м отбирались почвенные пробы, а также пробы поливных вод для дальнейшего исследования их на засоление (водная вытяжка), кислотность (рН), электропроводность и влажность (весовым методом).

С целью повышения влагосодержания в почве на участках посадок как кустарников, так и однолетних трав был опробован гранулированный гидрогель Stockosorb (производства Германии), который для посадки кустарников смешивался с почвой в пропорции 2 ведра гидрогеля на 8 ведер почвы (после его первоначального разведения водой в пропорции 150 г на 10 л) и вносился в лунки перед посадкой. При посеве однолетних трав, все количество семян смешивали с полученной по аналогичной технологии почвогелевой массой, затем выкладывали на грядки глубиной не более 2-3 см, присыпая сверху первичной почвой.

В последние два года, несмотря на все предпринимаемые усилия по посадке кустарников и однолетних трав в Муйнакском районе, результаты работ чрезвычайно слабые и неустойчивые. Не удалось вырастить однолетние травы даже при двукратном ежедневном поливе (утром и вечером) в одном из частных подсобных хозяйств пос. Муйнак, в котором повсеместно посохли все плодовые деревья. Для анализа актуальных климатических данных воздуха и почв на опытных участках были установлены автоматические приборы-регистраторы температуры и относительной влажности (iBDL – Termohygrograph DS1923-F5, Termochron DS1922L-F5, Hygrochron DS1923-F5). Для проведения сравнения получаемых нами метеорологических данных с официальными данными метеостанций (Чимбай, Кунград) один из приборов был установлен в пос. Муйнак на оголенном участке в тени навеса на высоте 1.8 м. Второй прибор был укреплен в поле на контрольном (без полива) участке наших посадок в тени кроны саксаула на высоте 0.8 м. Остальные 9 регистраторов были установлены в различные почвенные горизонты опытных участков.

Отсчеты всех приборов-регистраторов для воздуха и почв брались одновременно через каждые 4 часа ежедневно: в 00, 04, 08, 12, 16 и 20 часов Московского времени (GTM+3), что соответствовало – 01, 05, 09, 13, 17, 21 часам местного времени, в отличие от стандартных данных метеостанций Чимбай и Кунград, фиксирующих показания через каждые 6 часов (в 05, 11, 17 и 23 часа местного времени). Более частый шаг во времени измерения температуры наших исследований был вызван необходимостью получения более достоверных данных в регионе с аридным континентальным климатом. В Приаралье весной и в начале лета к 11 часам местного времени воздух еще не нагревается до своей самой высокой отметки, а к 17 часам температура воздуха уже начинает резко понижаться. Поэтому максимальные температуры воздуха могли бы остаться вне пределов регистрации наших приборов.

Таким образом, на обсохшем дне Аральского моря весной 2008 года были организованы

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2009, том 15, № 3 (39)

наблюдения за температурой (°C) и относительной влажностью воздуха (%), а также температурой почвы и влажностью воздуха в порах почвы на разных глубинах (40, 100, 150 см).

Репрезентативность полученных по приборам-регистраторам данных температуры и влажности воздуха, была подтверждена сравнением корреляционных зависимостей этих показателей между собой в течение годового цикла для стандартных данных WMO по метеостанциям Чимбай ($r=-0.74$) и Кунград ($r=-0.82$) и наших данных ($r=-0.74$ для пос. Муйнак и $r=-0.76$ для посадок саксаула) при высокой их достоверности (99.9%).

Современные климатические изменения и их влияние на посадки

Поскольку в динамике почвенного и растительного покровов ведущую роль играют атмосферные осадки, а начало наших работ совпало с периодом нетипичного их выпадения в регионе Приаралья, нами был проведен анализ климатических изменений за многолетний период, который показал, что нарастающими тенденциями здесь являются: повышение температур и сокращение осадков в теплое полугодие, летом и осенью, а также потепление в годовом цикле за счет холодного полугодия и зимнего сезона (Кузьмина, 2007; Кузьмина, Трешкин, 2007; Кузьмина и др., 2004; 2006).

В разные годы проведения исследований (начиная с 2002 года) приживаемость саженцев саксаула в первый год после посадки очень сильно колебалась: от 46-59% (посадки 2003 г.) и 39-43% (посадки 2004 г.) до 2.5-3.5% (посадки 2007-2008 гг.) и 0.5% (посадки 2006 г.; табл. 1). При этом значительных отличий в засолении поливной воды (1.93-2.14 г/л) или почвенном средневзвешенном засолении (на 1 м почвенной толщи) в соответствующие сезоны посадок различных лет не наблюдалось. Максимальные изменения в годы посадок саженцев наблюдались в погодных условиях (табл. 1): в температуре воздуха (°C), в выпадении атмосферных осадков (мм), в относительной влажности воздуха (%). В последние годы в регионе Приаралья особенно сильно погода изменяется в весенний период (табл. 2), наблюдается: необычайно раннее наступление весны, отсутствие весеннего вегетационного периода из-за засухи, поздние заморозки в теплый период - в конце апреля (которые сильно повредили наши посадки кустарников в 2007 году). Поэтому основной гипотезой снижения приживаемости кустарников и слабой сохранности всходов однолетних трав была признана погодная и/или климатическая изменчивость.

Согласно принятому климатическому районированию в странах бывшего СССР, территория Южного Приаралья относится к субтропической зоне, северная граница которой проходит по 43-44° с. ш., а в ботанико-географическом отношении – к средним пустыням (Береснева, 2006; Ботаническая ..., 2003). Т.е. вся пустынная зона в таком понимании делится на полупустыни – или северные пустыни, средние пустыни и южные пустыни. Однако, характеристика геотермического режима выделяемых ранее единиц районирования (Береснева, 2006) не соответствует современному климатическому состоянию в Южном Приаралье.

Анализ трендов многолетних климатических характеристик с начала XX столетия по 2002-2005 годы (Кузьмина, 2007; Кузьмина, Трешкин, 2007), анализ климатических данных Приаралья за ближайшие 6 лет (с 01.11.2002 по 02.10.2008), собранных из различных источников (табл. 1), а также привлечение собственных данных приборов-регистраторов (с 02 мая 2008 г. по 10 мая 2009 г.; рис. 1, 2) позволили установить, что в последние годы в регионе Приаралья стали происходить процессы быстрых резких климатических изменений.

Так среднемесячные температуры самого холодного месяца в Каракалпакстане (по метеостанциям: Чимбай, Кунград, Муйнак) зимой 2005-2006 и 2007-2008 годов не соответствовали даже северным пустыням, а только степной зоне, достигая очень низких

Таблица 1. Основные характеристики климатических условий (температура, относительная влажность воздуха, осадки) и приживаемости посадок саксаула в различные годы экспериментов на участке солончаков обсохшего дна Аральского моря. **Table 1.** The basic characteristics of climatic conditions (temperature and an atmospheric humidity, rainfall) and a survival of plantings of *Haloxylon aphyllum* in various years of experiments on site of solonchaks of the drying bottom land of Aral sea.

Периоды анализа, (сезоны посадок)	Приживаемость, %		Пункт (источник данных)	R, mm	t°C					RH, %		
	1	2			абс. макс.	абс. мин.	ср.	ср _{min}	ср _{max}	абс. макс.	абс. мин.	ср.
01.11.02-31.10.03 (весна)	9-14	46-59	Чимбай (WMO)	203.6	42.1	-21.1	11.8	-8.0	28.1	100	20	58.4
01.11.02-31.10.03			Кунград (WMO)	162.2	40.0	-24.1	11.4	-7.8	27.3	100	15	57.8
01.11.02-31.10.03			Чимбай (УзГМ)	204.8	41.8	-20.3	11.5	-8.0	26.9	—*	—	—
01.11.02-31.10.03			Муйнак (УзГМ)	180	41.4	-24.0	10.7	-9.2	28.7	—	—	—
01.11.02-31.10.03			Чимбай (ККГМ)	202.9	—	—	11.1	-8.1	26.9	—	—	61.1
01.11.02-31.10.03			Кунград (ККГМ)	160.1	—	—	10.8	-8.1	27.2	—	—	59.9
01.11.03-31.10.04 (зима)	39	32-43	Чимбай (WMO)	225.4	39.0	-12.3	13.2	-1.0	26.4	100	13	59.1
01.11.03-31.10.04			Кунград (WMO)	140.9	40.0	-13.8	13.1	-1.1	26.7	100	10	55.8
01.11.03-31.10.04			Чимбай (УзГМ)	200.7	39.7	-17.5	13.1	-1.2	26.6	—	—	—
01.11.03-31.10.04			Муйнак (УзГМ)	144.3	41.0	-17.6	12.8	-2.0	27.1	—	—	—
01.11.03-31.10.04			Чимбай (ККГМ)	261.8	—	—	13.1	-1.2	26.6	—	—	63.6
01.11.03-31.10.04			Кунград (ККГМ)	121.7	—	—	13.2	-1.7	26.9	—	—	56.3
01.11.05-31.10.06 (весна)	0	0.5	Чимбай (WMO)	—	42.4	-26.2	12.6	-13.5	27.9	100	16	60.2
01.11.05-31.10.06			Кунград (WMO)	—	42.6	-28.4	12.5	-14.0	28.0	100	13	56.1
01.11.05-31.10.06			Чимбай (УзГМ)	108.1	43.3	-26.9	12.4	-13.6	28.0	—	—	—
01.11.05-31.10.06			Муйнак (УзГМ)	66.5	43.0	-32.2	13.4	-15.1	29.0	—	—	—
01.11.05-31.10.06			Чимбай (ККГМ)	108.1	43.3	—	12.4	-13.6	28.0	—	—	61.1
01.11.05-31.10.06			Кунград (ККГМ)	92.7	43.1	—	12.2	-14.1	28.0	—	—	57.3
01.11.06-31.10.07 (весна)	0.5	2.5	Чимбай (WMO)	—	40.0	-18.8	13.2	-2.1	28.0	100	5	57.9
01.11.06-31.10.07			Кунград (WMO)	—	41.2	-21.0	13.0	-2.1	27.8	100	10	57.3
01.11.06-31.10.07			Чимбай (УзГМ)	120.5	42.2	-20.7	12.9	-2.3	28.1	—	—	—
01.11.06-31.10.07			Муйнак (УзГМ)	84.3	42.0	-25.7	12.7	-3.3	28.8	—	—	—
01.11.06-31.10.07			Чимбай (ККГМ)	115.2	42.2	-20.7	12.5	-4.0	28.2	—	—	59.3
01.11.06-31.10.07			Кунград (ККГМ)	75.0	42.5	-21.2	12.7	-0.5	28.0	—	—	58.6
01.11.07-31.10.08 (весна)	0.1	3.5	Чимбай (WMO)	—	43.6	-25.6	12.3	-14.8	28.9	100	11	53.1
01.11.07-31.10.08			Кунград (WMO)	—	44.5	-26.2	12.2	-14.6	29.1	100	5	53.3
01.11.07-31.10.08			Чимбай (ККГМ)	96.3	44.5	-26.6	12.2	-15.0	29.0	—	—	—
01.11.07-31.10.08			Кунград (ККГМ)	78.8	45.1	-28.7	12.0	-14.8	29.1	—	—	—
02.05.08-02.05.09 (весна)	0.1	3.5	Обсохшее дно (регистратор)		45.9	-21.6	12.5	-7.4	29.9	100	5.2	53.4
02.05.08-02.05.09			Муйнак (регистратор)		44.6	-19.0	13.5	-6.3	30.9	100	5.3	51.2
02.05.08-02.05.09			Чимбай (WMO)	—	43.6	-20.0	12.8	-5.2	28.9	100	11	54.9
02.05.08-02.05.09			Кунград (WMO)	—	44.5	-17.7	12.5	-5.6	29.1	100	5	55.5

Примечания к таблице 1: «Приживаемость» – без полива – в контроле (1), с поливом (2), «R, mm» – сумма осадков за период, «t°C ср. min; ср. max» – средняя температура воздуха самого холодного и самого теплого месяцев в году, «RH, %» – относительная влажность воздуха за период, «WMO» –

всемирная метеорологическая организация, «УзГм» – Гидрометцентр Узбекистана (Ташкент), «ККГм» – Гидрометцентр Каракалпакстана (Нукус), «–*» – нет данных, «в пустых клетках» – данных не должно быть. Notes to table 1: «the survival» – on sites without watering (1), with watering (2), «R, mm» – a rainfall for the season, «t°C cp. min; cp. max» – the minimal and maximal monthly mean temperature of air of the most cold and warmest months in one year, «RH, %» – relative humidity of air for the season, «WMO» – the world meteorological organization, «УзГм» – the Hydrometeorological center of Uzbekistan (Tashkent), «ККГм» – the Hydrometeorological center of Karakalpakstan (Nukus), «–*» – data is not given, «In empty cells» – data should not be.

Таблица 2. Среднемесячные температуры воздуха в Южном Приаралье с декабря 2007 года по март 2008 года в сравнении с нормой за разные десятилетия (фрагмент таблицы). **Table 2.** Monthly average temperatures of air in Southern Priaral'e from December, 2007 to March, 2008 in comparison with norm for different decades (fragment of the table).

Метеостанции	Анализируе- мый период	Показатель t°C	Месяцы года				
			XII	I	II	III	IV
Чимбай	2004-2005	средне- месячные значения	-2.1	-4.1	-5.6	8.5	15.4
	2005-2006		0.2	-13.6	0.6	7.5	15.2
	2006-2007		-2.4	-4.0	-0.2	4.5	15.5
	2007-2008		-3.3	-15.0	-3.7	12.0	16.4
	2008-2009		-4.2	-5.2	0.7	8.5	11.1
	Разные десятилетия с 1936-1990	норма: максимальная минимальная средняя	-1.4 -5.7 (-3.4)	-3.3 -7.7 (-5.5)	-2.9 -5.5 (-4.0)	3.9 0.9 (2.8)	18.5 11.7 (12.5)
Нукус	2004-2005	средне- месячные значения	-1.4	-3.9	-6.1	9.4	15.9
	2005-2006		0.7	-13.5	1.2	8.4	15.6
	2006-2007		-2.0	1.1	0.5	4.5	15.8
	2007-2008		-2.5	-15.6	-3.7	14.4	17.5
	2008-2009		-3.8	-4.1	1.5	9.3	11.8
	Разные десятилетия с 1936-1990	норма: максимальная минимальная средняя	2.5 -2.7 (-0.4)	-3.0 -4.3 (-3.7)	1.5 -3.8 (-1.7)	5.2 3.1 (4.1)	19.2 14.5 (16.3)

значений -14.6°C -15.1°C . В тоже время зимой 2003-2004 и 2006-2007 годов среднемесячные температуры самого холодного месяца достигали всего -1.1°C -2.3°C , что полностью соответствует южным пустыням. При этом, в последнее время, начиная с 2003 г., среднемесячная температура самого теплого месяца в Южном Приаралье всегда превышала значение, характерное для средних пустынь – $+25.6^{\circ}\text{C}$ (Береснева, 2006, с. 258). Максимальные среднемесячные летние температуры в 2003-2008 годах здесь достигали значений от $+26.9^{\circ}\text{C}$ до $+30.9^{\circ}\text{C}$ (табл. 1), что полностью характерно только для южных пустынь ($+29.2^{\circ}\text{C}$; Береснева, 2006, с.258). В 2003-2008 годах для региона исследований также были характерны повышенные средние годовые температуры: от $+10.7^{\circ}\text{C}$ до $+13.4^{\circ}\text{C}$ (табл. 1), что намного превышает годовые температуры, характерные для средних пустынь ($+8.4^{\circ}\text{C}$; Береснева, 2006, с.258), и соответствует только южным пустыням ($+13.6^{\circ}\text{C}$; Береснева, 2006, с.258). Сходная ситуация с резкими периодическими колебаниями проявляется и в увлажнении территории. Так, за полный календарный год в 2002 и 2003

годах в Чимбае по данным «ККГидромет» выпало 240 и 314 мм соответственно (Кузьмина, Трешкин, 2007), что полностью соответствует увлажнению степной зоны (300 мм; Береснева, 2006, с. 258), в тоже время в 2005 и в 2007 годах за полный календарный год здесь выпадало 90 мм и 89 мм, что почти в два раза ниже характеристик для южных пустынь (160-185 мм; Береснева, 2006, с. 258).

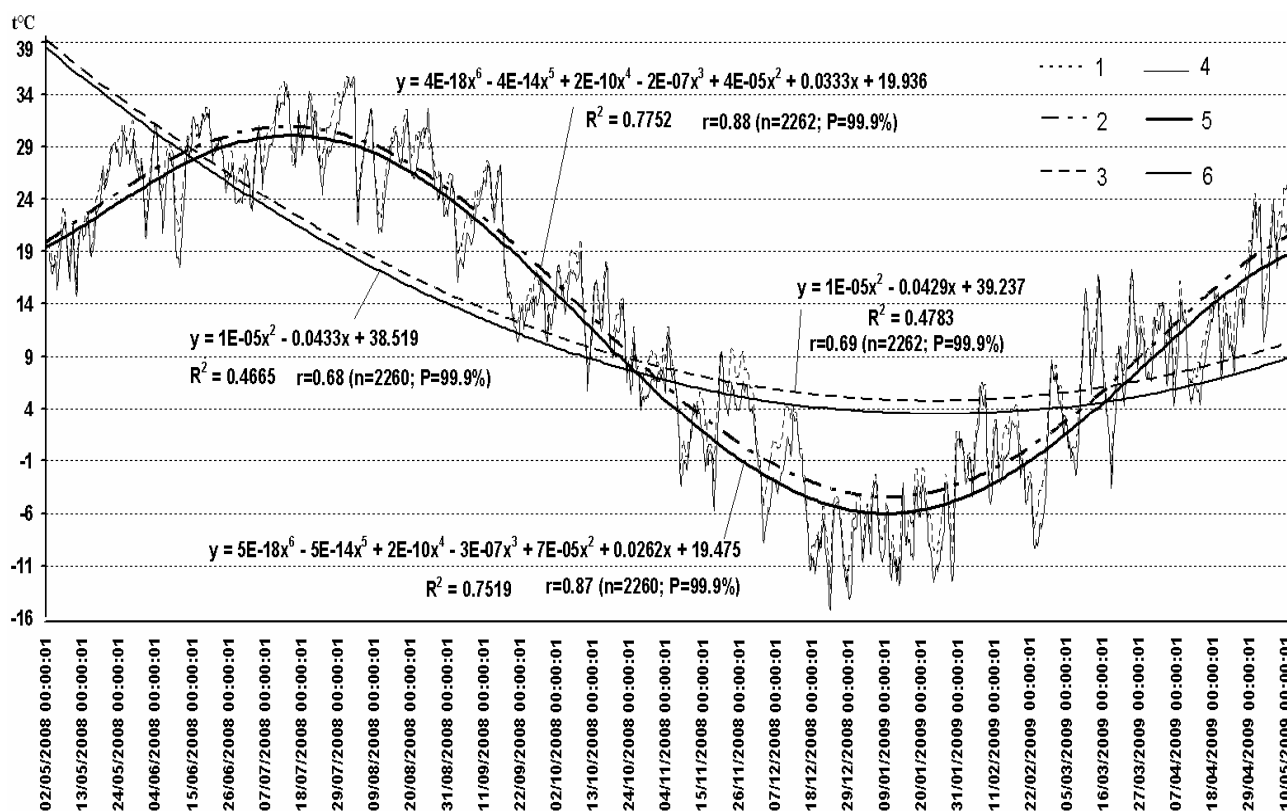


Рис. 1. Сравнение кривых температуры воздуха ($t^{\circ}\text{C}$) ежедневного осреднения (скользящих средних 6 периода) и полиномиальных трендов (второго и шестого порядка) на участках без растительности в Муйнаке (кривые 1, 2, 3) и на контрольном участке (без полива) в посадках саксаула *Haloxylon aphyllum* на обсохшем дне Аральского моря (кривые 4, 5, 6) в период со 02 мая 2008 года по 10 мая 2009 года (на рисунках 1, 2 и 3 – осреднение по данным ежедневных измерений через каждые 4 часа).
Fig. 1. Comparison of curves of daily averaging trend-line (6-period Moving Average) and polynomial trend-lines temperatures of air ($t^{\circ}\text{C}$) on plots without vegetation (curves 1, 2, 3) and on key site with vegetation *Haloxylon aphyllum* (curves 4, 5, 6) in a period from May, 02nd, 2008 till May, 10nd, 2009 (In a figures 1, 2 and 3 – averaging trendline till the data of daily measurements in each 4 hours).

Контрольный прибор-регистратор в пос. Муйнак показал, что наши данные имеют высокую корреляцию с официальными данными метеостанций Чимбай и Кунград.

Сравнение наших метеорологических данных в пос. Муйнак и на нашем экспериментальном участке обсохшего дна Аральского моря с данными метеостанций Чимбай и Кунград показало, что в вегетационный период (со 02 мая по 02 октября 2008 г.) в поле на участке отмечалось: повышение среднесуточных температур воздуха по сравнению с метеостанциями (на 1.3°C и 0.9°C); повышение максимальных температур воздуха (на 1°C и 1.4°C ; табл. 1); увеличение частоты регистрации максимальных (в 8 и 12 раз) и минимальных (ниже $+10^{\circ}\text{C}$) температур воздуха в 4.5 раза; увеличение дневной амплитуды колебания температур воздуха в среднем на $3.1-3.3^{\circ}\text{C}$; увеличение амплитуды колебания средней суточной влажности воздуха на 19-20%.

Было установлено, что средняя суточная температура воздуха на участке посадок саксаула в течение всего годового цикла была ниже на 1°C, чем на контрольном участке без растительности в пос. Муйнак (рис. 1), при чем достоверное повышение относительной влажности воздуха на участке с растительностью отмечалось только для холодного полугодия (рис. 2). Выявленные изменения можно объяснить только влиянием жизнедеятельности растений на окружающую среду.

Сопряженный анализ температуры почвы и относительной влажности воздуха в порах почвы верхних горизонтов солончаков показал, что эти кривые имеют достаточно высокую значимую ($P=99.9\%$) отрицательную корреляцию между собой ($r=-0.50$; рис. 3), чрезвычайно схожую с таковой между относительной влажностью и температурой воздуха как данных наших регистраторов ($-0.74-0.76$), так и для данных метеостанций Чимбай (-0.74) и Кунград (-0.82). Для глубоких почвенных горизонтов (100 и 150 см) относительная влажность воздуха в порах почвы оставалась постоянно высокой (100%) в течение всего годового цикла.

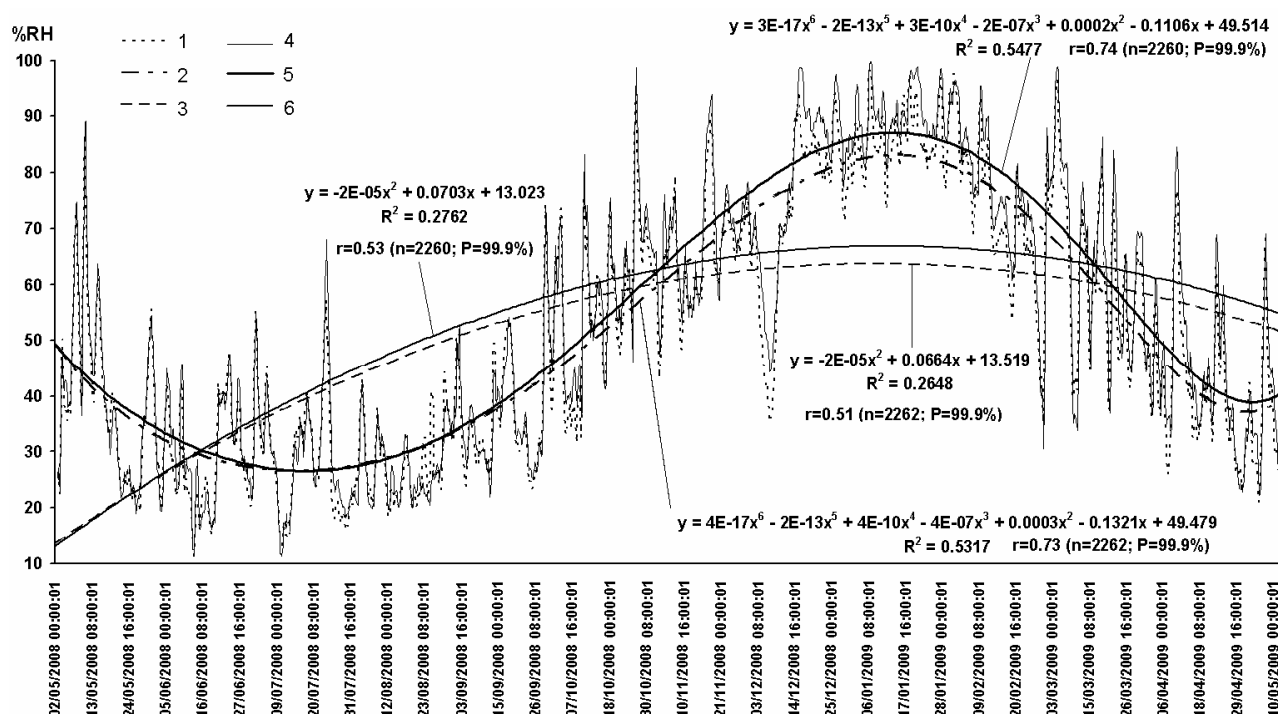


Рис. 2. Сравнение кривых относительной влажности воздуха (в %) ежедневного осреднения (скользящих средних 6 периода) и полиномиальных трендов (второго и шестого порядка) на участке без растительности в Муйнаке (кривые 1, 2, 3) и на контрольном участке (без полива) в посадках саксаула *Haloxylon aphyllum* на обсохшем дне Аральского моря (кривые 4, 5, 6) в период со 02 мая 2008 года по 10 мая 2009 года. **Fig. 2.** Comparison of curves of daily averaging trend-line (6-period Moving Average) and polynomial trend-lines of relative humidity of air in % on plots without vegetation in Muynak (curves 1, 2, 3) and on an index plot with a vegetation *Haloxylon aphyllum* (curves 4, 5, 6) in a period from May, 02nd, 2008 till May, 10nd, 2009.

Анализ распределения температуры в почве позволили установить, что для участка с поливом коэффициент корреляции между значениями температуры верхнего (40 см) и нижнего (100 см) горизонтов оказался значительно ниже ($r=0.67$), чем для участка без полива ($r=0.78$). Это объясняется влиянием полива, который искажает зависимость естественного прогревания почвенных горизонтов.

Не обнаружилось прямой корреляционной зависимости между фактической (измеренной) или осредненной температурой почвы на глубине 1 м и 150 см в разрезах (с поливом и без полива) и фактической или осредненной температурой воздуха: коэффициенты корреляции здесь были очень низкие (0.06-0.2), значимые только для осредненных кривых. Более высокая значимая зависимость характерна для фактических данных температуры воздуха и верхних (35-40 см) почвенных горизонтов ($r=0.40-0.48$). Максимально сильная корреляционная зависимость установлена для кривых суточного осреднения (скользящих средних 6 порядка) температур воздуха на высоте 80 см и 1.8 м как с кривыми фактических (данными 4-х часовых измерений) температур почвы ($r=0.64-0.75$; $P=99.9\%$) верхних горизонтов солончаков, так и с кривыми их суточного осреднения ($r=0.77-0.78$; $P=99.9\%$).

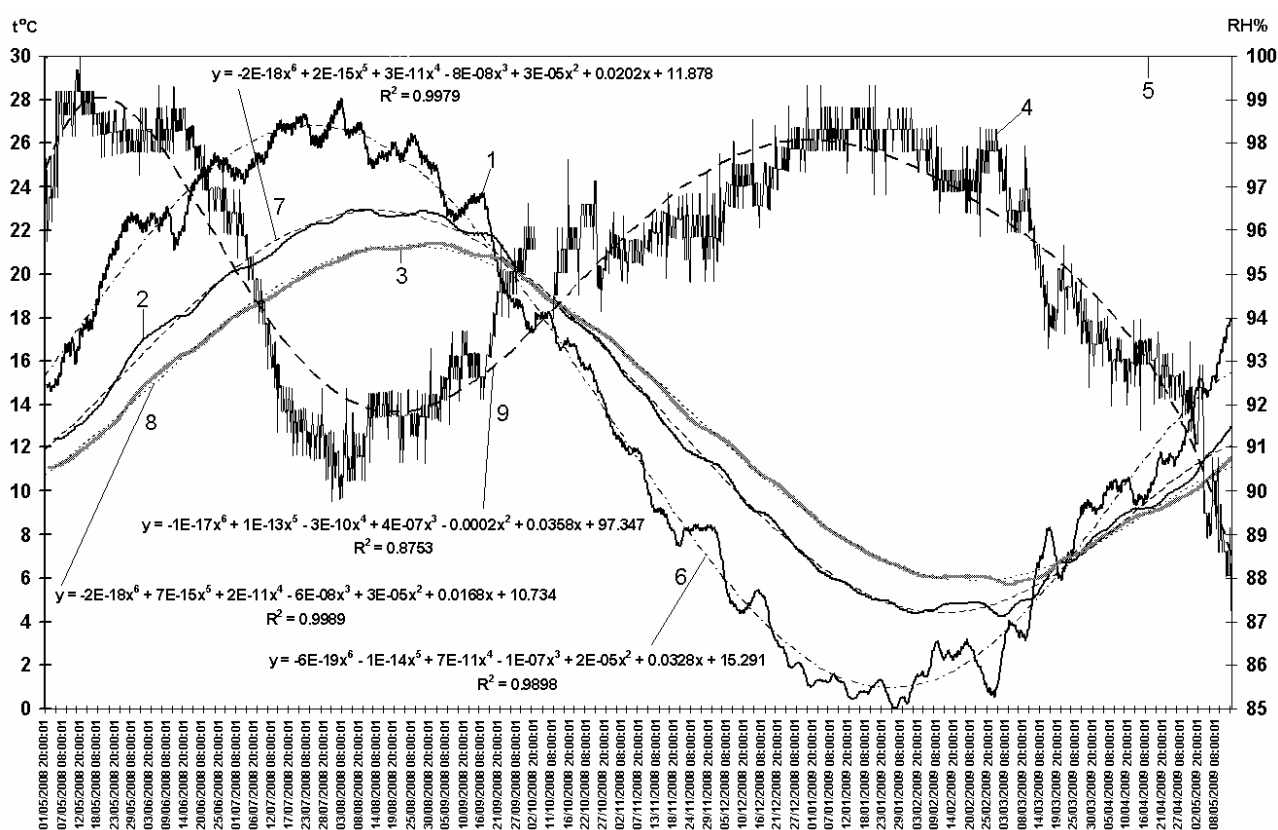


Рис. 3. Сравнение температуры почвы ($t^{\circ}\text{C}$) разных горизонтов (40 см, 100 см и 150 см – кривые 1, 2, 3 соответственно) и относительной (RH%) влажности воздуха в порах почвы (40 см, 100 см – кривые 4 и 5) в контрольном разрезе № 2 на участке солончаков с посадками саксаула (*Haloxylon aphyllum*) без полива по данным прибора-регистратора за период со 02 мая 2008 года по 10 мая 2009 года: кривые 1, 2, 3, 4, 5 – фактические измерения; кривые 6, 7, 8, 9 – полиномиальные тренды.

Fig. 3. Comparison of curves of temperature of soil ($t^{\circ}\text{C}$) in different soil horizons (40 cm, 100 cm and 150 cm – curves 1, 2, 3 accordingly) and curves of relative humidity (RH%) of air in soil (40 cm and 100 cm – curves 4 and 5) according to the device-registrar in soil profile No 2 on site of solonchaks with *Haloxylon aphyllum* without watering for the season from May, 02nd, 2008 till May, 10nd, 2009 (drying bottom land of Aral sea); curve 1, 2, 3, 4, 5 – actual measurements; curve 6, 7, 8, 9 – polynomial trends.

На глубине 1 и 1.5 м температура почвы имеет слабую среднесуточную амплитуду колебания (0.07-0.08 $^{\circ}\text{C}$), изменяясь очень плавно и постепенно – без резких температурных скачков, а максимальное значение суточной амплитуды достигают 0.25 $^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). Здесь кривые фактических значений температур почвы (измеренные через каждые 4 часа)

полностью ($r=1.00$) соответствуют их кривым среднесуточного осреднения (скользящим средним 6-го периода). В тоже время среднесуточная амплитуда колебания верхних почвенных горизонтов (35-40 см) может достигать 0.49-0.98°C, при максимальных изменениях до 1.81°C в сутки.

Графики распределения фактической температуры почв в солончаках для разных глубин (40, 100 и 150 см) показали, что наблюдаются четкие различия их совмещенного температурного хода для двух полугодий – теплого и холодного (рис. 3). В холодное полугодие (с октября по март) для почв характерна четкая температурная инверсия с глубиной. Поскольку более глубокие почвенные горизонты (100-150 см) имеют слабую амплитуду суточных колебаний, изменение направления инверсионного температурного хода в них позволяет четко определять даты разделяющие холодное и теплое полугодия. В период исследования холодный период в Муйнакском районе продолжался с 01 октября 2008 года по 28 марта 2009 года (рис. 3), полностью подтверждая традиционно деление годового цикла на две части с выделением холодного периода с октября по март месяц.

Некоторые результаты опытных посадок

В ходе проведения работ было установлено, что полив солончаков коллекторной засоленной водой в годы с минимальным количеством осадков приводит к сильному засолению верхних почвенных горизонтов. Сверху образуется плотная соляная корка, которая полностью препятствует всходам однолетних трав и губит молодые саженцы галофитных кустарников саксаула и черкеза в первые два года после посадки. Образовавшаяся корка также мешает проникновению влаги в почву при последующих поливах, а влажность верхних 10-20 см автоморфных солончаков обсохшего дна в вегетационный период не превышает 4-5%. Первые опыты по применению гидрогеля для повышения влагосодержания верхних подкорковых почвенных горизонтов (до глубины 40 см) не оказали ожидаемого положительного влияния. Однозначно действие полива и гидрогеля проявилось для одного вида однолетних трав (*Salsola nitraria*) на слабозасоленных песчаных пустынных почвах, где его применение повышает среднюю высоту однолетних растений как при поливе, так и без полива (табл. 3). Измерение основных биометрических показателей посадок однолетних и многолетних трав показало, что их продуктивность в основном зависит от полива и в меньшей степени от влияния гидрогеля. При поливе сухая масса скошенных трав возрастает на модельной площадке в 1.5-3 раза для участков с поливом по сравнению с контролем. Помимо этого, как для однолетних, так и для многолетних трав при поливе уменьшается количество экземпляров растений на модельной площадке, но увеличиваются их размеры как по высоте, так и по диаметру, при этом значительно возрастает общее проективное покрытие на модельной площади (табл. 3). Слабое влияние гидрогеля связано, скорее всего, с засолением почв.

Применение гидрогеля для выращивания однолетних и многолетних трав в условиях Приаралья возможно только на незасоленных и слабозасоленных почвах песчаного гранулометрического состава. В Муйнакском районе на солончаках суглинистых и глинистых влияние гидрогеля при выращивании кустарников, однолетних и многолетних трав проявилось резко негативно.

Опыты по созданию смешанных пастбищ из однолетних и многолетних трав на средnezасоленных супесчаных почвах показали, что только при поливе установлены достоверные значимые ($\alpha=0.05$) отрицательные коэффициенты корреляции средней высоты растений *Alhagi pseudalhagi* ($r=-0.8$) и *Salsola nitraria* ($r=-0.6$) с количеством экземпляров соответствующих растений по всем (12-и) модельным участкам. Таким образом, при поливе,

чем большее количество растений отмечается на участке, тем ниже они в среднем оказывались по высоте, и наоборот, чем меньше растений произрастало на участке, тем выше была их высота, что полностью объясняется наличием внутривидовой конкуренции за почвенную влагу. На участках без полива достоверной значимой корреляции не обнаружено. При создании на засоленных землях смешанных пастбищ с многолетними и однолетними видами, близкими по габитусу, необходимо учитывать также, что многолетние травы наиболее конкурентноспособны, поскольку более значительно увеличивают свои размеры при поливе (на 34%) по сравнению с однолетними (на 12%).

Данные измерений высоты растений и приживаемости *Haloxylon aphyllum* с декабря 2003 года по сентябрь 2008 года показали, что нечастый полив коллекторными водами

Таблица 3. Основные биометрические параметры культивируемых растений (количество экземпляров, высота и диаметр, вес сырой и воздушно-сухой надземной фитомассы, проективное покрытие в % для сообщества) на модельных участках в конце летне-осеннего периода (07 октября 2008 г.) в Нукусском районе Каракалпакстана. **Table 3.** The basic biometric parameters of the planted plants (quantity of specimen, height and diameter, weight crude and air-dry overground phytomass, a cover density in % for community) on modeling sites in the end of summer-autumn period (on October, 07th, 2008) in Nukus district of Karakalpakstan.

Латинское название растений	Полив – п, без полива – б/п	Гидрг. – г, без гидрг. – б/г	Кол- во учас- тков	Раз- мер уч- ков, м ²	Ср. кол- во экз.	Проект. покр., % (на 10 м ²)	Высота, см			Диаметр, см			Укос, г	
							ми- ни- м.	сре- дн.	ма- кси- м.	ми- ни- м..	сре- дн.	ма- кси- м.	сы- рой вес	сухой вес
<u>Однолетние травы</u>														
<i>Salsola nitraria</i>	б/п	б/г	4	1	33	25	7	13.8	29	-	-	-	188	81
<i>S. nitraria</i>	б/п	г	4	1	27	35	13	24.6	36	-	-	-	214	104
<i>S. nitraria s</i>	п	б/г	4	1	10	45	18	25.5	36	-	-	-	325	167
<i>S. nitraria</i>	п	г	4	1	10	65	21	35.3	65	-	-	-	422	280
<i>Climacoptera</i>														
<i>lanata</i>	б/п	б/г	4	1	8	20	10	18.5	25	7	14.4	24	517	183
<i>C. lanata</i>	б/п	г	4	1	9	45	28	41.0	46	38	42	48	1250	443
<i>C. lanata</i>	п	б/г	4	1	5	75	33	36.8	43	30	38.2	44	3500	1242
<i>C. lanata</i>	п	г	4	1	6	95	25	29.8	41	21	31.5	42	4250	1508
<u>Многолетние травы</u>														
<i>Ceratoides</i>														
<i>papposa</i>	б/п	б/г	4	1	4	25	34	45.5	58	27	40.8	55	483	220
<i>C. papposa</i>	п	б/г	4	1	7	50	14	30.4	61	12	28.7	47	1250	602
<i>C. papposa</i>	п	б/г	4	1	7	55	12	41.3	62	15	40.4	73	1500	710
<i>Alhagi</i>														
<i>pseudalhagi</i>	б/п	б/г	4	1	4	15	57	59.8	65	34	44.8	57	750	388
<i>A. pseudalhagi</i>	п	б/г	4	1	5	65	66	82.8	94	25	50.2	70	1250	647
<i>A. pseudalhagi</i>	п	б/г	3	5	16	35	42	68.9	98	11	36.1	70	-	-
<i>A. pseudalhagi</i>	б/п	б/г	3	5	25	45	18	34.4	52	12	25.8	43	-	-
<i>A. pseudalhagi</i>	б/п	б/г	3	5	40	55	18	39	60	12	29.1	52	-	-

Примечание: “гидрг.” – гидрогель Stockosorb. Note: “гидрг.” – hydrogel Stockosorb.

увеличивает высоту растений и их приживаемость на солончаках. Высота (средн., макс., мин.) экземпляров растений *Haloxylon aphyllum*, также как и общая приживаемость растений во все периоды наблюдений (05.2004, 11.2004, 04.2005, 11.2005, 05.2006, 09.2006, 05.2008, 09.2008) оказалась выше на участке с поливом (17.3, 35.5, 30.0, 55.7, 63.6, 108.6, 155.1,

183.3 см – средняя высота; 42.7, 97.7², 95.7, 93.6, 92.6, 92.6, 92.6 и 92.6% – приживаемость), чем на участке без полива (17.3, 32.4, 25.6, 37.3, 40.7, 81.3, 145.5, 173.8 см – средняя высота; 39.0%, 75.0%, 68.8%, 59.4%, 54.7%, 54.7%, 48.0% и 48.0% – приживаемость).

Несмотря на то, что в конце первого полугодия (05.2004) после посадки саженцев высота (средн., макс., мин.) и общая приживаемость растений *Salsola richteri* была выше на участке без полива (21.8, 40, 14 см и 40% – в контроле и 16.8, 35, 8 см и 32.3% при поливе), начиная со второго полугодия после посадки (11.2004, 04.2005, 11.2005, 05.2006, 09.2006, 05.2008, 09.2008) высота растений *Salsola richteri* оказалась выше на участке с поливом (38.5, 34.8, 42.3, 44.6, 62.3, 91.3 и 87.7 см – средняя высота с поливом; 35.9, 30.5, 31.3, 34.0, 57.5, 61.3 и 73.3 см – в контроле), так же как и общая приживаемость растений (87.5, 84.4, 84.4, 84.4, 82.8, 80.2 и 80.2% – с поливом; 71.9, 62.5, 39.1, 32.8, 29.7, 27.0 и 27.0% – в контроле).

После прекращения поливов в естественных условиях на солончаках *Haloxylon aphyllum* чувствует себя гораздо лучше, чем *Salsola richteri*, т.к. лучше переносит дефицит влаги в связи с сокращением выпадения атмосферных осадков. После прекращения поливов (спустя 2.5 года после посадок) отмечалось начало активного роста кустарников на солончаках, причем *Haloxylon aphyllum* дает больший прирост высоты в возрасте 3-4 года, чем *Salsola richteri*, как на участках с первоначальным поливом, так и в естественных условиях – в контроле. Активизация роста посаженных в 2003-2004 годах кустарников началась с 2006 года, совпадая с годами наименьшего атмосферного увлажнения в регионе (табл. 1), в которые приживаемость вновь посаженных семян саксаула была наименьшей. В возрасте 6-и лет для саксаула, черкеза и терескена на солончаках обсохшего дна Аральского моря отмечалось обильное плодоношение, практически, для всех экземпляров растений, включая минимальные по габитусу.

Таким образом, в первое полугодие после посадки годовалых семян галофитных кустарников на солончаках наблюдался максимальный процент их отмирания. Затем, в возрасте 3.5 года наступила активная фаза их роста и развития; а начиная с 4-х лет приживаемость кустарников стабилизировалась, сохраняясь на одном уровне в течение последующих 3-х лет.

Выводы

1. В настоящее время в Южном Приаралье достоверное значимое изменение климата сопровождается резкими быстрыми колебаниями геотермического режима от года к году, особенно заметными в холодный период, для которых характерны тенденции:

- О значительного потепления в весенне-летне-осенний период (с мая по октябрь) на фоне общего годового потепления;
- О периодического погодичного (т.е. через год) резкого колебания температур зимой (минимальных и среднемесячных) от очень низких ($t_{av}=-15.1^{\circ}\text{C}$, $t_{min}=-32.2^{\circ}\text{C}$) до высоких ($t_{av}=1.0^{\circ}\text{C}$, $t_{min}=12.3^{\circ}\text{C}$);
- О периодического (через 2-3 года) резкого колебания увлажненности территории: от максимального (240-314 мм в 2002-2003 годах) до минимального (90 и 89 мм в 2005 и в 2007 годах) суммарного количества выпадающих за год атмосферных осадков.

2. Данные по температуре и относительной влажности воздуха, предоставляемые ближайшими метеостанциями Чимбай и Кунград не отражают реальные климатические условия наших локальных экспериментальных участков на обсохшем дне Аральского моря. Реальные климатические условия в поле (фактическая температура воздуха и его

² Начиная со второго полугодия процент приживаемости кустарников рассчитывался от общего количества экземпляров растений, выживших в первое полугодие после посадки.

относительная влажность), где проходит вегетация высаженных растений, оказались значительно более континентальными, чем это обычно принято было считать на основании стандартных данных метеостанций.

3. На участках с посадками саксаула на обсохшем дне Аральского моря в течение всего года отмечается достоверное понижение средней суточной температуры воздуха на 0.9-1°C по сравнению с оголенными участками без растительности. При этом, только в холодное полугодие (с октября по апрель) отмечается достоверно значимое увеличение относительной влажности воздуха на участках под саксаулом по сравнению с оголенными участками без растительности.

4. Установлена высокая корреляционная зависимость средних суточных температур воздуха с температурой почвы верхних горизонтов солончаков (35-40 см). В то же время с глубины 100 см прямая корреляционная зависимость температуры воздуха и почвы резко падает, полностью исчезая на глубине 150 см. В холодное полугодие (с октября по март) для солончаков подтверждена четкая температурная инверсия в почвенном профиле.

5. Нечастый полив слабо- и среднесоленных суглинисто-супесчаных почв благотворно влияет на формирование размеров растений, увеличивая их высоту и сокращая количество экземпляров на площади, формируя более крупные и жизнеспособные экземпляры растений, как однолетних, так и многолетних. Посадки многолетних трав более устойчивы в неблагоприятных погодных условиях резко изменяющегося климата Южного Приаралья. Полив увеличивает проективное покрытие, количество и высоту многолетних трав.

6. На солончаках обсохшего дна Аральского моря посадки черного саксаула (*Haloxylon aphyllum*) лучше переносят дефицит влаги от сокращения выпадения атмосферных осадков, чем посадки черкеза (*Salsola richteri*), формируя за равные временные периоды более жизнеспособные и продуктивные сообщества.

7. Для хорошей приживаемости саженцев саксаула и черкеза на солончаках обсохшего дна Аральского моря необходимы благоприятные погодные и климатические условия: в первую очередь это – повышенное количество атмосферных осадков (140-220 мм) по сравнению с нормой, а также не очень холодные зимы (со средней температурой в самый холодный месяц – -1-2°C), не очень жаркое лето (со средней температурой в самый холодный месяц 26-27°C) и отсутствие заморозков в весенний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берсенева И.А. Климаты аридной зоны // Биологические ресурсы и природные условия Монголии. Труды совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. XLVI. М.: Наука, 2006. 287 с.
- Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области) / ред. Е.И. Рачковская, Е.А. Волкова, В.Н. Хрализова. СПб., 2003. 424 с.
- Кузьмина Ж.В. Анализ изменений многолетних метеорологических характеристик и их воздействие на динамику экосистем // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Науки о земле. 2007. №6. С. 25-36.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Рекультивация солончаков обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во Уральского Университета, 2007. С. 391-408.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Формирование растительности на солончаках обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. № 1. Т. 35. 2009. С. 32-35.

- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. Влияние климатических изменений и полива на формирование растительности опытным путем в обсохшей части Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 9. № 21. 2004. С. 82-94.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. Результаты опытного Формирования естественной растительности на засоленных землях обсохшей части Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 11. № 29. 2006. С. 27-39.
- Image Science and Analysis Laboratory, NASA-Johnson Space Center. "The Gateway to Astronaut Photography of Earth." 2009. <<http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/clickmap.pl?hashnumber=7871&fieldlist=GEON,FEAT,LAT,LON,PDATE&options=none>> (08/11/2009 02:31:58).

INFLUENCE OF RAPID CHANGES CLIMATE ON PHYTOAMELIORATION SOLONTSCHAKS IN THE ARAL SEA REGION

© 2009. Zh.W. Kuzmina*, S.Y. Treshkin**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119333 Moscow, Gubkina str. 3, E-mail: jannaKV@yandex.ru

**Russian Agricultural Academy of Sciences
Russia, 117218 Moscow, Krzhizhanovskogo str. 15/2, E-mail: biost@yandex.ru

Abstract. The results of experimental investigations of the formation of artificial pastures on the former bottom of the Aral Sea under conditions of rapid changes climate by using halophytic species of vegetation are examined. The analysis of trends of daily meteorological data WMO (for 2002 inclusive) has shown, that in Priaral'e authentic significant changes of a climate are observed. Increasing tendencies are: increase of temperatures and reduction of precipitation in warm half-year, in the summer and in the autumn, and also a cold snap in an annual cycle due to cold half-year and a winter season. Now in the South Priaral'e sharp fast climatic fluctuations of a geothermal regime year by year, especially appreciable in the cold season are precisely secreted. Here tendencies are marked: the general annual warming of climate due to its significant warming in vernal-aestival-autumnal season (from May till October); periodic (i.e. in a year) sharp fluctuations of temperatures (maximal and monthly average) in the winter from very low ($t_{av}=-15.1^{\circ}\text{C}$, $t_{min}=-32.2^{\circ}\text{C}$) up to high ($t_{av}=-1.0^{\circ}\text{C}$, $t_{min}=-12.3^{\circ}\text{C}$); periodic (in 2-3 years) sharp fluctuations in a moisture from maximal (240-314 mm in 2002-2003) up to minimal (90 and 89 mm in 2005 and in 2007) rainfall amounts. Real climatic conditions in field (actual temperature of air and its relative humidity) have appeared much more continental, than it was normally accepted to consider on the basis of the standard given meteorological stations.

Infrequent watering on the salted grounds salutary influences formation of the sizes of plants, increasing their height and reducing number of specimen on the areas, forming larger and viable specimen of plants, both as annual and perennials. Plantings of perennial grasses are more stable in adverse weather conditions of sharply changing climate of the Southern Priaral'e. Watering increases a projective covering, quantity and height of plants. It is established, that the planted vegetation on drying bottom land of Aral sea (with *Haloxylon aphyllum*) promotes lowering of average daily temperatures of air on $0.9-1^{\circ}\text{C}$ in comparison with the bared plots (Muynak). Black saxaul (*Haloxylon aphyllum*) plantings under natural conditions on solonchaks of the dried Aral Sea bed endure a moisture deficit from a decrease in atmospheric precipitation better than cherkez (*Salsola richteri*) plantings.

For a good survival of seedlings of *Haloxylon aphyllum* and *Salsola richteri* on solonchaks of the drying bottom land of Aral sea the congenial weather is necessary and climatic conditions: first of all it is the increased amount of rainfall (140-220 mm) in comparison with norm, and also not so cold winters (with average temperature in the coldest month – $-1-2^{\circ}\text{C}$), not so hot summer (with average temperature in the coldest month $26-27^{\circ}\text{C}$) and absence of frosts in the vernal season.

Key words: air temperature, soils temperature, relative air humidity, ecosystems, soil salinization, solonchaks, halophytic plants.