

УДК 631.452(470.67)

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ И АЗОТНОЙ ПОДКОРМКИ НА ДИНАМИКУ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПРИКАСПИЯ

**К. М. Гаджиев, Г. Н. Гасанов, Р. З. Усманов, Р. Р. Баширов,
Ш. К. Салихов, М.-П. А. Яхияев, В. В. Семенова**

Прикаспийский институт биологических ресурсов

Статья посвящена исследованию механизмов функционирования биопродукционного потенциала аридных экосистем в условиях естественного функционирования и при антропогенном воздействии на водный и питательный режимы почв. Экспериментальным методом исследовано раздельное и совокупное действие пошагового увеличения увлажненности почвы и азотной подкормки на продуктивность экосистем с использованием существующих методик. Определены запасы влаги, питательных элементов, водно-солевой режим почвы, водопотребление и продуктивность фитоценоза в связи с дополнительным ее увлажнением и азотной подкормкой. Дополнительное увлажнение и азотная подкормка позволяют улучшить видовой состав фитоценоза, его продуктивность и сократить расход воды на создание 1 т сухой массы на 6,8–12,2%.

The article is devoted to the study of the mechanisms of functioning of biological production potential of arid ecosystems in terms of their natural functioning and at human impact on water and soil nutrient regimes. Experimentally studied have been the separate and the aggregate effects of incremental increase in soil moisture and nitrogen fertilization on productivity of the ecosystems with the use of existing techniques. Determined have been the moisture reserves, nutrients, water-salt regime of soil, water use and phytocenosis productivity due to its additional moistening and nitrogen fertilizing. Extra moistening and nitrogen fertilization can improve the species composition of the phytocenosis, its productivity and reduce water consumption at creation of 1ton of dry weight by 6,8–12,2%.

Ключевые слова: водный режим, питательный режим, светло-каштановая почва, засоленность почвы, видовой состав фитоценоза, продуктивность фитоценоза.

Keywords: water regime, nutrient regime, light-brown soil, soil salinity, species composition of phytocenosis, productivity of phytocenosis.

Растительность природных пастбищ обладает важнейшим свойством – способностью к ежегодному самовозобновлению и воспроизводству фитомассы, но только в том случае, когда они эксплуатируются рационально. Однако современный уровень использования и продуктивности фитоценозов Терско-Кумской низменности вызывает серьезную тревогу. За последние годы продуктивность естественных кормовых угодий здесь резко снизилась в результате антропогенных воздействий и изменения природной среды, наблюдаются снижение устойчивости биологических систем, деградация почвенного покрова и образование открытых песчаных массивов [1].

Для поддержания устойчивости природных экосистем региона к негативным воздействиям и восстановления потерянных природных функций необходимы знания о механизмах их функционирования, изменчивости и устойчивости в динамике естественных условий среды, о способах управления этими механизмами. В этой связи несомненный интерес представляет исследование влияния различных уровней обеспеченности почвы влагой, биофильными элементами, в частности азотом, по годам и сезонам года на динамику плодородия почвы и продукционных процессов в пастбищных экосистемах.

Целью работы является изучение механизмов функционирования биопродуктивного потенциала и фактической продуктивности аридных экосистем в условиях естественного функционирования и при антропогенном воздействии с целью оптимизации водного и питательного режимов их использования.

Методика исследований

Для выполнения намеченных исследований на территории Кочубейской биосферной станции заложен двухфакторный полевой опыт, в ходе которого исследуется влияние дополнительного увлажнения почвы (100 и 200 мм/м²) и подкормки минерального азота (N₆₀) на водно-солевой состав и другие показатели ее плодородия, видовой состав и продуктивность фитоценозов.

Площадь делянки первого порядка (орошение): 8 м² (4×2 м), второго порядка (удобрение) – 4 м² (2×2 м). Повторность 4-кратная. Размещение делянок в повторностях рендомизированное. Повторности располагались в четыре яруса. Во избежание просачивания поливной воды, а вместе с ней и элементов минерального питания растений и водорастворимых солей с делянки на делянку каждая из них с четырех сторон огораживалась пластиковыми панелями на глубину 0,2 м. Кроме того, каждая делянка отделялась друг от друга защитной полосой шириной 1 м.

Для достижения положительного эффекта от пошагового увеличения увлажненности почвы воду для формирования урожаев подавали в два срока, под урожаи эфемеров в начале апреля и солянок с разнотравьем в начале июля. Для этого нормы подачи воды на экспериментальные делянки (200 и 400 мм/м²) были разбиты на два указанных срока – по 100 и 200 мм в каждом случае. Было выбрано также время суток для подачи воды в почву с минимальной скоростью ветра – ориентировочно в 22–24 часа и продолжительность периода подачи рассчитанной нормы воды на делянку с таким расчетом, чтобы она продолжала впитываться в почву непрерывно, не застаиваясь на поверхности почвы и не теряясь на испарение. Оптимальной оказалось продолжительность подачи 100 мм воды в супесчаную почву в течение 35 мин., 200 л – 1 час 30 мин. Количество атмосферных осадков учитывались по данным Кочубейской гидрометеорологической станции, которая расположена на расстоянии 25 км от опытного участка.

Влажность почвы определялась ежемесячно с апреля по октябрь спиртовым методом [2] по слоям (м): 0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3; 0,3–0,4; 0,4–0,5; 0,5–0,6, а при наличии влаги в почве – и до глубины 1,0 м.

Баланс влаги в почве по вариантам опыта и суммарное водопотребление определяют по формуле [3], где в приходной части учитывалось количество воды, поступившей с осадками, поданной при дополнительном увлажнении почвы и использованной из почвенных запасов. Поступление влаги из грунтовых вод исключалось, учитывая расположение их глубже 3 м. В расходной части учитывался остаток воды в почве после последнего учета урожая фитомассы. Боковое поступление воды на экспериментальный участок исключалось, поскольку уклон местности не превышает 0,01 м. Физическое испарение влаги с поверхности почвы и транспирация растениями отдельно не учитывались, дается только обобщенный показатель эвапотранспирации.

Из физических свойств почвы, на которые могут повлиять исследуемые режимы ее увлажнения и питания растений, определялись: агрегатный состав, плотность, пористость и наименьшая влагоемкость (НВ) почвы [4].

На всех изучаемых вариантах определялось содержание гидролизуемого азота [5], P₂O₅ и K₂O [6].

Учитывались количество растений, линейный рост, проективное покрытие и накопление массы [7] и видовой состав фитоценозов [8]. Запасы надземного и подземного растительного вещества определялись по методике А.А. Титляновой [9].

Математическая обработка данных по урожайности проводилась по Б.А. Доспехову [10].

2. Результаты исследований

Исследуемая почва в слое 0–30 см, где сосредоточена основная масса корней, содержит 23,5% физической глины и по этому показателю может быть отнесена к легкоуглинистой разновидности. Содержание наиболее ценных в агрономическом отношении агрегатов размером 0,25–10 мм до дополнительного увлажнения почвы составило 53,3%, что соответствует удовлетворительному структурному состоянию. Плотность почвы в естественном сложении составила 1,13 г/см³, пористость – 0,56%, что по классификации Качинского [11] позволяет отнести соответственно к «нормальному» и «отличному» состоянию. Эти показатели и метровом слое менялись существенно: до 1,23 г/см³; 0,53%, наименьшая влагоемкость почвы (НВ) с 23,0% снижается до 19,7%.

Однако влажность почвы в зависимости от срока дополнительного увлажнения и нормы подаваемого на экспериментальный участок воды менялась существенно (табл. 1). Ее значение в метровом слое перед дополнительным увлажнением весной составило 5,7%, что соответствует 28,9% от НВ. Спустя три дня после подачи весной 100 мм/м² воды в слое 0–20 см она увеличилась до 31,3%, в слое 20–40 см – до 26,8%.

Таблица 1. Динамика влажности почвы в слое 0–100 см до и после подачи воды на увлажняемую площадку

Слой почвы, см	Норма подаваемой воды 200 мм/м ² (дважды по 100 мм/м ²)				Норма подаваемой воды 400 мм/м ² (дважды по 200 мм/м ²)			
	весна (апрель)		лето (июль)		весна (апрель)		лето (июль)	
	влажность почвы до полива	влажность почвы спустя 3 дня после полива	влажность почвы до полива	влажность почвы спустя 3 дня после полива	влажность почвы до полива	влажность почвы спустя 3 дня после полива	влажность почвы до полива	влажность почвы спустя 3 дня после полива
0–10	8,5	31,0	4,6	30,5	8,3	34,6	4,0	33,2
10–20	7,3	31,6	5,2	31,8	7,5	36,2	4,3	35,8
20–30	5,1	28,6	6,3	29,4	5,2	33,8	5,8	33,4
30–40	5,0	25,1	5,0	26,0	5,3	32,2	5,4	33,7
40–50	6,8	6,9	6,6	6,7	6,6	31,7	6,0	33,6
50–60	7,2	7,1	7,0	7,1	7,0	7,2	6,3	28,9
60–80	4,4	4,3	4,1	4,0	4,3	4,2	4,5	4,5
80–100	4,4	4,4	3,8	3,7	4,5	4,6	4,1	4,1
0–100	5,7	14,8	5,0	14,6	5,7	19,3	4,9	21,6

Динамика водно-физических свойств почвы под влиянием дополнительного увлажнения обычно сопровождается изменением степени и типа засоления почвы [12]. Нами получены дополнительные данные при двух сроках определения водорастворимых ионов Cl⁻ и SO₄⁻ и суммы водорастворимых солей в слое 0–40 см (табл. 2).

Пошаговое увеличение увлажненности способствует уменьшению содержания ионов Cl⁻ и SO₄⁻ в почве. Но это касается слоя 0–40 см в случае подачи 200 мм/м² и 0–60 см – при подаче 400 мм/м². Однако это еще не говорит о том, что эти анионы, перемещенные в нижележащие слои под влиянием поступающей с поверхности воды, не поднимутся в рассматриваемые слои в последующем по мере увеличения испарения влаги из почвы.

Тем не менее сумма водорастворимых солей в слое 0–40 см в среднем по двум срокам определения при подаче на 1 м² 200 мм воды составила 0,32%, 400 мм – 0,26%. Оба эти показателя укладываются в градации слабозасоленной почвы. Об этом же свидетель-

ствуют данные по содержанию Cl^- и SO_4^{2-} . При подаче 200 мм/м^2 этих ионов в слое 0–40 см содержалось соответственно 0,63 и 2,62 мг-экв./100, увеличение нормы подаваемой воды до 400 мм/м^2 способствовало уменьшению их до 0,51 и 2,19 мг-экв./100. Соотношение ионов $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$ колебалось в пределах 1:0,23–1:0,24. По действующей в настоящее время классификации [13] степень засоления почвы при этих показателях характеризуется как слабая, тип засоления – хлоридно-сульфатный.

Таблица 2. Влияние пошагового увеличения увлажненности на засоленность светло-каштановой почвы

Количество поданной воды	Срок определения*	Показатель			
		сумма солей, % от сухого остатка	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$
			мг/100 г		
Контроль – без дополнительного увлажнения	1	0,42	1,36	3,38	1:0,40
	2	0,51	1,97	3,64	1:0,54
200 мм/м ² (дважды по 100 мм/м ²)	1	0,30	0,52	2,12	1:0,24
	2	0,35	0,74	3,13	1:0,24
400 мм/м ² (дважды по 200 мм/м ²)	1	0,20	0,39	1,66	1:0,23
	2	0,31	0,63	2,72	1:0,23

*1 – при уборке эфемеров (конец мая); 2 – при уборке солянок и разнотравья (конец сентября).

В случае, когда почва не получала дополнительного увлажнения, сумма солей в этих же слоях увеличивается до 0,46%, что характерно для средnezасоленной почвы. Содержание Cl^- и SO_4^{2-} составило 1,66 и 3,56 мг-экв./100. В этом случае степень засоления переходит в градацию средней при том же хлоридно-сульфатном типе засоления. Во всех этих случаях приведены средние данные по двум срокам определения: при уборке эфемеров в конце мая и при уборке солянок и разнотравья в конце сентября. Но следует отметить, что при обоих сроках определения сохраняется тенденция к снижению суммы солей и водорастворимых ионов при большей норме подачи воды – 400 мм/м^2 .

Таким образом, дополнительное увлажнение почвы из расчета 200 и 400 мм/м^2 способствует увеличению содержания влаги в слоях соответственно 0–40 см и 0–60 см и переходу хлоридно-сульфатного типа засоления из разряда средnezасоленной почвы в слабозасоленную. При этом ухудшения показателей плотности, пористости и структурного состояния почвы не наблюдается.

Пошаговое увеличение увлажнения почвы способствует повышению общего проективного покрытия до 50–56% (дополнительное увлажнение 200 мм) и 62–70% (увлажнение 400 мм), средней высоты растений до 18 и 22 см против, соответственно, 12–15% и 15–16 см. В растительных сообществах заметную роль в травостое играют мятликовые и в меньшей степени виды полыни. Доминантами являются мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), полевица малая (*Eragrostic minor* Host.), мортук восточный (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. et Spach.), мортук пшеничный (*Eremopyrum triticeum*), мятлик однолетний (*Poa annua* L.), костер растопыренный (*Bromus squarrosus* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L.), костер японский (*Bromus japonicas* Thunb.), коострец пестрый (*Bromopsis variegatus* (Bieb.), житняк пустынный (*Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.), из сложноцветных полынь Лерха (*Artemisia lercheana* Web. ex Stechm.), полынь таврическая (*Artemisiataurica* Willd.), из крестоцветных – бурачок пустынный (*Alussum desertorum* Stapf.), из маревых курай-солянка грузинская (*Salsola iberica* Sennen. et Pau.), солянка южная (*Salsola australis*), петросимония супротиволистная (*Petrosimonia oppositifoli* (Pall.) Litv.), петросимония трехтычинковая (*Petrosimonia triandra* Pall.), ро-

гач песчаный (*Ceratocarpusa renarius* L.), из гвоздичных грыжник седой (*Herniaria inca-
na* L.), смолевка коническая (*Silene conica* L.).

Дополнительное увлажнение почвы 200 мм воды на 1 м² способствует повышению урожайности сухой надземной массы без применения удобрений в 2,2 раза, при увеличении нормы подаваемой воды до 400 мм – в 3,1 раза (табл. 3).

Таблица 3. Влияние пошагового увеличения увлажненности светло-каштановой почвы и азотной подкормки фитоценозов на их урожайность, 2014–2015 гг., ц/га

Норма подачи дополнительной влаги в почву, мм/м ² (м ³ /га)	Удобрения	Урожайность фитомассы			Прибавка к контролю	
		эфемеры	солянки и разнотравье	всего	ц/га	%
2014 г.						
Без полива – контроль	без удобрений	3,8	0,2	4,0	0,0	0,0
	N ₃₀	3,7	1,6	5,3	1,3	32,5
100 (1000)	без удобрений	4,7	1,6	6,3	2,3	57,4
	N ₃₀	2,6	4,4	7,0	3,0	75,0
200 (2000)	без удобрений	3,0	4,4	7,4	3,4	85,0
	N ₃₀	4,6	4,0	8,6	4,6	115,0
НСР _{0,5}		1,7	1,6		1,3	32,5
2015 г.						
Без полива – контроль	без удобрений	2,1	3,2	5,3	0,0	0,0
	N ₆₀	2,3	3,8	6,1	0,8	15,1
200 (1000)	без удобрений	4,2	7,3	11,5	6,2	117,0
	N ₆₀	5,1	8,5	13,6	8,3	156,6
400 (2000)	без удобрений	6,5	10,0	16,5	11,2	211,3
	N ₆₀	7,7	12,5	20,2	14,9	281,1
НСР _{0,5}		0,4	0,3			

Таблица 4. Баланс влаги и суммарное водопотребление (м³/га) пастбищным фитоценозом в слое 0–60 см светло-каштановой почвы за 2015 г.

Исследуемый фактор		Приход				Остаток воды в почве в конце вегетации	Суммарное водопотребление
дополнительное увлажнение, м ³ /га	удобрения, кг/га	запас воды в почве	осадки	дополнительная подача воды	всего в приходной части		
Без дополнительного увлажнения – контроль	без удобрений – контроль	470	1360	–	1830	370	1460
	N ₆₀	470	1360	–	1830	370	1460
2000	без удобрений	470	1360	2000	3830	540	3290
	N ₆₀	470	1360	2000	3830	540	3290
4000	без удобрений	410	1360	4000	5770	580	5190
	N ₆₀	410	1360	4000	5770	580	5190

Подкормка фитоценозов в марте перед возобновлением вегетации растений способствует повышению урожайности воздушно-сухой надземной массы растений без дополнительного увлажнения на 15,1%, на фоне увлажнения 200 мм/м² – в 2,6 раза, 400 мм/м² – в 3,8 раза, эффективность внесенного удобрения при дополнительном увлажнении почвы ука-

занным выше количеством воды обеспечивает прибавку 40 и 70% урожая. Таким образом, совместное применение орошения и азотной подкормки естественного фитоценоза является эффективным способом повышения продуктивности пастбищных угодий на светло-каштановых почвах Терско-Кумской низменности Прикаспия.

Дополнительная подача 200 и 400 мм/м² способствует, как и следовало ожидать, увеличению суммарного водопотребления соответственно в 2,25 и 3,55 раза. Но, поскольку при этом наблюдается существенное повышение урожайности, коэффициент водопотребления на вариантах без азотной подкормки повышается в случае с подачей дополнительно 200 мм/м² всего на 3,8%, 400 мм/м² – на 14,2% (табл. 4).

Проведение подкормки азотом является важным фактором эффективного использования оросительной воды. Расход воды на создание 1 т сухой надземной фитомассы при этом не увеличивается, а снижается при подаче на 1 м² 200 мм воды на 12,2% (336 м³/га), при более высокой норме подачи воды – до 6,8% (186 м³ на тонну фитомассы) (табл. 5).

Таблица 5. Коэффициент водопотребления естественного фитоценоза на светло-каштановой почве за 2015 г.

Исследуемый фактор		Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления	% к контролю
дополнительное увлажнение, м ³ /га	удобрения				
Без увлажнения – контроль	без удобрений – контроль	1460	0,53	2755	100,0
	N ₆₀	1460	0,61	2393	86,9
2000	без удобрений	3290	1,15	2861	103,8
	N ₆₀	3290	1,36	2419	87,8
4000	без удобрений	5190	1,65	3145	114,2
	N ₆₀	5190	2,02	2569	93,2

Только в случае исключения азотной подкормки пошаговое повышение увлажненности почвы приводит к увеличению расхода воды на создание единицы урожая фитомассы.

Заключение

Подача 200 мм воды на 1 м² (100 мм в начале вегетации естественного фитоценоза и 100 мм в начале июля) позволяет увлажнить слой почвы 0–40 см, подача 400 мм воды – 0–60 см светло-каштановой почвы, не оказывая отрицательного влияния на ее структуру, плотность и пористость. При этом общее проективное покрытие фитоценозом увеличивается соответственно до 50 и 70%, средняя высота растений до 18 и 22 см, наблюдается увеличение злакового компонента в видовом составе фитоценозов (*Poa bulbosa* L., *Chenopodium rubrum* L.) до 10–12% в проективном покрытии (на контроле (5–7%). Урожайность фитомассы при подаче в почву дополнительно 200 мм воды увеличилась по сравнению с контролем без применения удобрений в 2,2 раза, при увеличении нормы подаваемой воды до 400 мм – в 3,1 раза.

Подкормка фитоценозов в марте перед возобновлением вегетации растений N₆₀ способствует повышению урожайности воздушно-сухой надземной массы растений без дополнительного увлажнения на 15,1%, на фоне увлажнения 200 мм/м² – в 2,6 раза, 400 мм/м² – в 3,8 раза, эффективность внесенного удобрения при дополнительном увлажнении почвы указанным выше количеством воды обеспечивает прибавку 40 и 70% урожая.

Таким образом, совместное применение орошения и азотной подкормки естественного фитоценоза является эффективным способом повышения продуктивности пастбищных угодий на светло-каштановых почвах Терско-Кумской низменности Прикаспия.

Дополнительная подача 200 и 400 мм/м² воды способствует увеличению суммарного водопотребления пастбищным фитоценозом соответственно в 2,2 и 3,6 раза. Но расход воды на формирование 1 т надземной фитомассы без азотной подкормки повышается всего на 3,8–14,2%. Проведение подкормки N₆₀ является важным фактором эффективного использования оросительной воды, поскольку расход воды на создание 1 т сухой надземной массы снижается при подаче на 1 м² 200 мм на 12,2%, при более высокой норме подачи воды – на 6,8%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кизлярские пастбища Прикаспия: климат, почвы, продуктивность / Г.Н. Гасанов, Т.А. Асварова, З.Н. Ахмедова, К.М. Гаджиев, Р.Р. Баширов // Кормопроизводство. 2014. № 12. С. 3–7.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 345 с.
3. Костяков А.Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.
4. Практикум по земледелию / Васильев И.П. [и др.]. М.: Колос, 2004. 424 с.
5. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
6. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.
7. Посыпанов Г.С. Практикум по растениеводству. М.: Мир, 2004. 256 с.
8. Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 510 с.
9. Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / под ред. В.Б. Ильина. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. С. 109–127.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
11. Качинский Н.А. Почва, ее свойства и жизнь. М.: Наука, 1975. 294 с.
12. Фитомелиорация засоленных почв Западного Прикаспия / Г.Н. Гасанов, М.Р. Мусаев, Г.М. Абдурахманов, С.А. Курбанов, А.М. Аджиев. М.: Наука, 2004. 270 с.
13. Инструкция по учету засоленных почв / сост. Н.И. Базилевич и Е.И. Панкова. М.: Главводпроект Минмелиоводхоза; Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева; Гипроводхоз, 1968. 50 с.

Поступила в редакцию 26.04.2017 г.

Принята к печати 26.12.2017 г.