

**НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ
С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В БОГАРНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ
АРИДНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ**

Пучков Михаил Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор научно-образовательного центра «АстЭко» Астраханского государственного университета, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: rosecostroi@mail.ru

Лысаков Максим Аркадьевич, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства, 416341, Российская Федерация, Астраханская обл., г. Камызяк, ул. Любича, 16, e-mail: nature1986@yandex.ru

Бармин Александр Николаевич, доктор географических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: abarmin60@mail.ru

Локтионова Елена Геннадьевна, кандидат химических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: eleloktionova@yandex.ru

Струков Василий Михайлович, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства, 416341, Российская Федерация, Астраханская обл., г. Камызяк, ул. Любича, 16, e-mail: nature1986@yandex.ru

Настинова Галина Эрднеевна, доктор географических наук, профессор, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, 358000, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11, e-mail: nastinova.ge@yandex.ru

Бананова Валентина Александровна, доктор географических наук, профессор, Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, 358000, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11, e-mail: nastinova.ge@yandex.ru

Исследуется возможность использования научных принципов для создания высокопродуктивных агрофитоценозов с заданными параметрами в системе богарного земледелия Северо-Западного Прикаспия. Для пастбищных агрофитоценозов, создаваемых в богарном земледелии аридной зоны, до настоящего времени не было разработано достаточно полной теоретической и практической основы. В основном теория и практика созданий агрофитоценозов с заданными параметрами была разработана для полевых культур и культур в условиях орошения. Поэтому нами предпринята попытка обосновать теоретические принципы и практические рекомендации создания пастбищных агрофитоценозов с заданными параметрами продуктивности в условиях богарного земледелия. Данные принципы сводятся к следующим: биологический принцип; агрохимический принцип; агрофизический принцип; агрометеорологический принцип; агротехнический принцип. В статье обоснованы теоретические и практические основы создания пастбищных агрофитоценозов с заданной продуктивностью 2,0–3,7 т/га сухой массы в богарном земледелии аридной зоны Северо-Западного Прикаспия. Изучено влияние комплекса агротехнических мероприятий на достижения заданной продуктивности пастбищных агрофитоценозов в системе богарного земледелия, составлена технологическая карта (сетевой график) своевременного выполнения всех агротехнических мероприятий на продуктивность 3,7 т/га сухой массы.

Ключевые слова: пастбищной агрофитоценоз, научные принципы, богарное земледелие, сорта, действительно возможная продуктивность, потенциальная продуктивность

**THE SCIENTIFIC PRINCIPLES OF FORMATION
OF HIGHLY PRODUCTIVE AGROPHYTOCENOSIS
WITH PRESET PARAMETERS IN RAINFED AGRICULTURE
OF NORTH-WESTERN CASPIAN SEA REGION'S ARID ZONES**

Puchkov Mikhail Yu., D.Sc. in Agricultural, Associate Professor, Director of Research and Education Center "AstEco", Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: rosecostroi@mail.ru

Lysakov Maksim A., Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon-growing, 16 Lyubich st., Kamysyak, Astrakhan Region, 416341, Russian Federation, e-mail: nature1986@yandex.ru

Barmin Aleksandr N., D.Sc. in Geographical, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: abarmin60@mail.ru

Loktionova Yelena G., C.Sc. in Chemical, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: eleloktionova@yandex.ru

Strukov Vasilij M., Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon-growing, 16 Lyubich st., Kamysyak, Astrakhan Region, 416341, Russian Federation, e-mail: nature1986@yandex.ru

Nastinova Galina E., D.Sc. in Geographical, Professor, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, 11 Pushkin st., Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation, e-mail: nastinova.ge@yandex.ru

Bananova Valentina A., D.Sc. in Geographical, Professor, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, 11 Pushkin st., Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation, e-mail: nastinova.ge@yandex.ru

The article explores the possibility of using scientific principles for the creation of highly productive agrophytocenoses with given parameters in the system of rainfed farming in the North-Western Caspian region. For pasture agrophytocenoses, created in the dry farming of the arid zone, until now there has not been developed a sufficiently complete theoretical and practical basis. In general, the theory and practice of creating agrophytocenoses with given parameters was developed for field crops and crops under irrigation conditions. Therefore, we made an attempt to substantiate theoretical principles and practical recommendations for the creation of pasture agrophytocenoses with given productivity parameters in conditions of rainfed farming. These principles boil down to the following: the biological principle; agrochemical principle; agrophysical principle; agrometeorological principle; agrotechnical principle. The theoretical and practical foundations for the creation of pasture agrophytocenoses with a given productivity of 2,0-3,7 t / ha dry weight in dry farming in the arid zone of the North-Western Caspian are formulated. The influence of a complex of agrotechnical measures on the achievement of a given productivity of pasture agrophytocenoses in the system of rainfed farming was studied, and a technological map (network schedule) of timely fulfillment of all agrotechnical measures for a productivity of 3,7 t / ha dry weight was compiled.

Keywords: pasture agrophytocenosis, scientific principles, rainfed agriculture, varieties, really possible productivity, potential productivity

Создание агрофитоценозов с заданной продуктивностью – это разработка комплекса взаимосвязанных агротехнических мероприятий, своевременное и качественное выполнения которых обеспечивает получение расчетной продуктивности при одновременном повышении почвенного плодородия и удовлетворении требованиям охраны окружающей среды [1–20].

Впервые теория создания заданной продуктивности сельскохозяйственных культур была разработана плеядой ученых [5–20]. Были проделаны опыты по получению заранее рассчитанной продуктивности [6–20]. Ученые также работали над обоснованием теории и практики программирования продуктивности [1–20].

В основном теория и практика создания агрофитоценозов с заданными параметрами была разработана для полевых культур и культур в условиях орошения. Для создания пастбищных агрофитоценозов с заданными параметрами продуктивности необходимо было соблюдение ряда теоретических принципов [1], предложенных академиком Шатиловым [19–20]. Эти принципы и были приняты как теоретическая основа данных исследований [1–20].

Для пастбищных агрофитоценозов, создаваемых в богарном земледелии аридной зоны, до настоящего времени не было разработано достаточно полной теоретической и практической основы. Поэтому нами предпринята попытка обосновать теоретические положения и практические рекомендации создания пастбищных агрофитоценозов с заданными параметрами продуктивности в условиях богарного земледелия.

Цель работы: обосновать теоретические и практические основы создания пастбищных агрофитоценозов с заданной продуктивностью в системе богарного земледелия.

Материал и методика. Потенциальный урожай (ПУ) определяют при помощи математической модели продукционного процесса и формирования урожайности. Для его оценки пользовалась формула вида [1–20]:

$$Y_{ny} = \frac{10^4 \eta \Sigma Q}{q},$$

где Y_{ny} – потенциальный урожай товарной продукции, ц/га; η – КПД ФАР культуры или сорта в оптимальных метеорологических условиях, %; ΣQ – суммарный за период вегетации приход ФАР, кДж/см²; q – калорийность урожая, кДж/кг. КПД ФАР был взят из справочных материалов (Вознесенская, 2009).

Для расчета действительно возможного урожая по фитометрическим показателям фотосинтетической активности посева принята формула [1–20]:

$$Y = \Phi П \times ЧПФ,$$

где Y – урожайность сухой массы, т/га; $\Phi П$ – фотосинтетический потенциал, млн м²×дни/га; $ЧПФ$ – чистая продуктивность фотосинтеза.

Фотосинтетический потенциал рассчитывается по формуле [1–20]:

$$\Phi П = S_c T,$$

где S_c – средняя за период площадь листьев, тыс. м²/га; T – продолжительность периода, дни.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяется по формуле [1–20]:

$$ЧПФ = \frac{B_2 - B_1}{\Phi П},$$

где B_2 и B_1 – сухая масса растений с единицы площади в конце и начале периода.

Д.И. Шашко для программирования урожая сельскохозяйственных культур предложил использовать сумму температур выше 10 °С. При этом оценку продуктивности проводят по показателю биоклиматического потенциала (БКП), полученным П.И. Колосковым [1–20]:

$$БКП = K_p \frac{\sum t > 10^{\circ} C}{1000^{\circ} C},$$

где K_p – коэффициент биологической продуктивности, представляющий собой отношения максимальной продуктивности в условиях достаточного увлажнения к продуктивности при недостатке влаги (пределы его колеблется – от 1 для влажной лесной зоны до 0,2 для сухих степных и полупустынных районов); $\sum t > 10^{\circ} C$ – сумма температур воздуха выше 10 °С, накапливаемая за период вегетации культуры; 1000 °С – сумма среднесуточных температур выше 10 °С на северной границе земледелия.

Действительно возможный урожай (ДВУ) – это урожай, который теоретически может быть обеспечен генетическим потенциалом сорта или гибрида и основным лимитирующим фактором. ДВУ всегда ниже ПУ. Определяют ДВУ по влагообеспеченности вегетационного периода по формуле [1–20]:

$$Y_{ДВУ} = \frac{100 W K_m}{K_B},$$

где W – количество продуктивной для растений влаги, мм; K_B – коэффициент водопотребления, мм·га/ц, для многолетних злаковых трав равен 700 мм·га/ц в аридных условиях; K_m – коэффициент хозяйственной эффективности урожая или доля основной продукции в общей биомассе, который принят для многолетних злаковых трав 1:2 ($K_m = 0,5$).

Определения ДВУ по тепловым ресурсам проводились по гидротермическому показателю, который наряду с термическим режимом учитывает и условия увлажнения. Гидротермический показатель определяют так [1–20]:

$$ГТП = 0,46 \times K_{увл} T_v$$

где $K_{увл}$ – коэффициент увлажнения; T_v – период вегетации культуры (декады).

Коэффициент увлажнения определяют из соотношения фактических ресурсов влаги W к ресурсам энергии, расходуемой на испарение [1–20]:

$$K_{увл} = \frac{2453W}{10^4 R}$$

где 2453 – коэффициент скрытой теплоты испарения, кДж/кг; W – количество продуктивной влаги за период вегетации, мм; R – суммарный радиационный баланс за этот период, кДж/см².

Действительно возможный урожай сухой массы по ГТП рассчитывают, пользуясь следующим соотношением [1–20]:

$$Y_{ДВУ} = (22 \times ГТП - 10) \times K_m.$$

В результате экспедиционных обследований естественных пастбищных агрофитоценозов определены доминантные виды, относящиеся к семейству злаковых, наиболее приспособленных к условиям аридной зоны. Подобранные культурные аналоги этих видов, которые наиболее высокопродуктивны в условиях аридной зоны: пырей бескорневищный, сорт «Озерненский»; кострец безостый, сорт «Ставропольский 31»; пырей удлиненный, сорт «Солон-

чаковый»; пырей удлиненный, сорт «Ставропольский 10»; житняк сибирский, сорт «Викрав»; пырей удлиненный, сорт «Аргонавт».

Результаты исследований. В результате исследований удалось рассчитать потенциальную продуктивность (ПУ) по экспериментальным и справочным данным при различном использовании ФАР от 0,5 до 4,0 %. Тем самым задали характер продуктивности пастбищных агрофитоценозов, состоящих из многолетних злаковых культур на 80 %. Из данных видно, что в очень благоприятные годы фактическая продуктивность естественных пастбищных агрофитоценозов не превышает в среднем 1,28 т/га сухой массы. Иными словами, пастбищные агрофитоценозы используют КПД ФАР, равный 0,5 %. Хотя для аридной зоны Северо-Западного Прикаспия с помощью агротехники (в том числе орошения) можно довести КПД ФАР до 4,0 %, что даст 10 т/га сухой массы (табл. 1).

Таблица 1

**Потенциальный урожай пастбищ при различном использовании ФАР
(т/га сухой массы)**

КПД ФАР за период $t > 10^{\circ}\text{C}$, %	Продуктивность пастбищ, т/га сухой массы
0,5	1,28
1,0	2,56
2,0	5,11
3,0	7,67
4,0	10,23

В богарном земледелии без орошения и удобрения, на естественном почвенном плодородии и влагообеспеченности за счет выпадения атмосферных осадков, но, подобрав устойчивые к засухе культурные виды многолетней злаковой растительности и применив агротехнические приемы, можно достичь продуктивности в пределах 3,7 т/га, т.е. использовать КПД ФАР на 1,5 % (табл. 1).

Продуктивность посевов, как фотосинтетической системы, зависит от таких параметров, как площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, густота стояния растений, количество дней вегетации. Подобранный видовой (сортовой) состав многолетних злаковых культур, наиболее приспособленных к засушливой зоне Северо-Западного Прикаспия, имеет большое значение для формирования пастбищных агрофитоценозов в условиях богарного земледелия. Поскольку реализация фотосинтетически активной радиации в посеве связана с генетическим потенциалом ида (сорта) растения, формирующего своеобразную оптическую фотосинтетическую систему со своей индивидуальной структурой и параметрами.

Для того чтобы задать параметры продуктивности посевов, необходимо в первую очередь задать параметры самой оптической фотосинтетической системы на заданную продуктивность, что соответствует структуре продуктивности. Видно, что площадь листовой поверхности небольшая – от 4,5 тыс. до 7 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$. Хотя при орошении образуется 40–50 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$. Для богарной культуры это недостижимо, но максимально возможно в остро засушливых районах для богары до 10 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$. Поэтому в богарных условиях многолетние злаковые культуры имеют урожай сухой массы 8–9 т/га.

Таблица 2
 Действительно возможный урожай (ДВУ) по фитометрическим показателям посева многолетних злаковых культур в богарных условиях
 (т/га сухой массы)

Вид и сорт исследуемого растения	Площадь листьев, тыс. м ² /га	Фотосинтетический потенциал (ФП), млн м ² /дн/га	Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), г/(м ² ·дн)	Листовая поверхность при 60 % высыхаемости	Норма высева, млн семян/га	Количество дней вегетации	Масса 1000 семян, г	Продуктивность, т/га сухой массы	Фактическая продуктивность, т/га сухой массы
Пырей безорневищный, сорт «Озеренский»	7,0	1,3	4	199800	3,3	180	3,0	5,2	3,7 ± 0,4
Кострац безотый, сорт «Старороспский 31»	4,5	0,8	2	150000	2,5	180	4,0	2,0	1,6 ± 0,7
Пырей удиненный, сорт «Солончаковский»	5,5	0,9	3,5	199800	3,3	180	3,0	3,2	2,6 ± 0,6
Пырей удиненный, сорт «Старороспский 10»	5,8	1,0	3,8	199800	3,3	180	3,0	3,8	2,8 ± 0,8
Житняк сибирский, сорт «Витра»	6,4	1,1	3,6	300000	5,0	180	2,0	4,0	3,2 ± 0,8
Пырей удиненный, сорт «Аргонат»	6,8	1,2	3,9	199800	3,3	180	3,0	4,7	3,5 ± 0,8

Соответственно фотосинтетический потенциал посевов, сформированных из многолетних злаковых культур в богарных условиях аридной зоны, равен 0,8–1,3 млн м²·дни/га. Поэтому чистая продуктивность фотосинтеза колеблется в пределах от 2 до 4 г/(м²·дни).

Продуктивность, рассчитанная по фитометрическим параметрам, – от 2 до 5,2 т/га и фактическая, полученная с помощью агротехнических мероприятий, – от $1,6 \pm 0,7$ до $3,7 \pm 0,4$ т/га близки на 95–100 %, что полностью реализует потенциал фитоценоза для богарных условий. Также учитывались густота стояния растений при 60 % выживаемости растений в богарных условиях 1999800–3000000 шт./га и количество дней в среднем вегетации 180 дней. Данная структура посева (табл. 2) оптимальна для формирования посева пастбищ, состоящих из многолетних злаковых культур в богарных условиях аридной зоны Северо-Западного Прикаспия на среднюю продуктивность 2,0–3,7 т/га сухой массы.

Из рассчитанных данных продуктивности пастбищных агрофитоценозов богарной культуры (табл. 3), ограниченной биоклиматическим потенциалом территории, видно, что возможная максимальная продуктивность колеблется от 1,2 до 9,2 т/га сухой массы с учетом засушливости территории, что в фактически полученному в условиях агротехники урожай реализуется на 40 % от $0,3 \pm 0,1$ до $3,7 \pm 0,5$ т/га сухой массы, что можно объяснить низким плодородием почв.

Таблица 3

**Действительно возможный урожай по биоклиматическому потенциалу
Северо-Западного Прикаспия**

Год	Сумма активных температур за период $t > 10^\circ\text{C}$	Биоклиматический потенциал, баллы	Продуктивность пастбищ, т/га				
			КПД ФАР за период $t > 10^\circ\text{C}$, %				
			0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
2012	4410	0,9	1,2	2,3	4,6	6,9	9,2
2013	4020	0,8	1,0	2,0	4,1	6,1	8,2
2014	3840	0,8	1,0	2,0	4,1	6,1	8,2
2015	3900	0,8	1,0	2,0	4,1	6,1	8,2
2016	3840	0,8	1,0	2,0	4,1	6,1	8,2

Действительно возможный урожай (ДВУ) – это урожай, ограниченный лимитирующими факторами в аридной зоне Северо-Западного Прикаспия. Такими факторами являются количество продуктивной влаги, которое ограничено выпадающими атмосферными осадками и испарением с поверхности почвы, и водопотребление растений. Так, если в аридных зонах величина суммарного испарения равна 1000 мм за вегетацию, а количество осадков не превышает в среднем 200 мм, то действительно возможный урожай будет ограничен в этих пределах.

Из приведенных расчетных данных ДВУ по влагообеспеченности вегетационного периода параметры продуктивности пастбищ богарной культуры лежат в пределах от 1 до 9 т/га, по сравнению с фактической с использованием агротехнических приемов и естественного плодородия почвы, которая колеблется в пределах от 2,0 до 3,7 т/га (табл. 4). Все это связано со слабой обеспеченностью почв питательными веществами.

Таблица 4

Действительно возможный урожай пастбищ по влагообеспечению

Год	Средний запас продуктивной влаги, мм			Действительно возможный урожай, т/га сухой массы		
	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра
2012	26	39	45	2	3	3
2013	24	37	90	2	3	6
2014	14	22	57	1	2	4
2015	15	23	58	1	2	4
2016	41	60	129	3	4	9

Суммарный запас влаги за вегетационный период колеблется в пределах от 96 до 992 мм (табл. 5). Это дает нам возможность рассчитать действительно возможный урожай по лимитирующему фактору (запас продуктивной влаги) и термическим ресурсам, используя показатели гидротермического показателя (ГТП) и коэффициента увлажнения. Все это дает наиболее реальные результаты (табл. 3–4).

Таблица 5

Сумма продуктивной влаги за вегетацию (мм)

Год	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра
2012	151	243	618
2013	169	267	668
2014	100	164	428
2015	96	151	396
2016	306	458	992

Из рассчитанных показателей ГТП в пределах от 0,08 до 0,50 баллов и коэффициента увлажнения в пределах от 1,00 до 6,21 баллов (табл. 6) видно, что термические ресурсы значительно превышают количество продуктивной влаги. Все это приводит к невозможности высоких урожаев на пастбищах богарной культуры, продуктивность всегда будет ограничена за счет количества продуктивной влаги.

Таблица 6

Гидротермический показатель (ГТП) и коэффициент увлажнения ($K_{увл.}$) за вегетацию (баллы)

Год	ГТП			$K_{увл.}$		
	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра
2012	1	1,2	3,7	0,08	0,1	0,3
2013	1	1,2	3,7	0,08	0,1	0,3
2014	0,6	1	2,5	0,05	0,08	0,2
2015	0,6	1	2,5	0,05	0,08	0,2
2016	2,5	2,5	6,21	0,2	0,2	0,5

Согласно данным расчета действительно возможного урожая (табл. 7) за счет применения агротехнических приемов (подбор наиболее устойчивых к засушливым условиям аридной зоны, подбор оптимальных сроков посева, минимальной обработки почв, учет рельефа местности и способов посева) можно достигнуть урожая $2,0-3,7 \pm 0,5$ т/га сухой массы. Данные значения на 50 % реализуют заданные параметры (табл. 6–8).

Таблица 7

**Действительно возможный урожай (ДВУ) пастбищ
по влаготеплообеспеченности, т/га сухой массы**

Год	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножие бугра Бэра
2012	0,6	0,82	3,57
2013	0,6	0,82	3,57
2014	0,16	0,6	2,25
2015	0,16	0,6	2,25
2016	2,25	2,25	6,33

Таким образом, из вышеизложенного видно, что задать расчетную продуктивность пастбищ, состоящих на 80 % из многолетних злаковых культур в богарных условиях аридной зоны, можно без учета лимитирующих факторов. Когда все условия идеальны, но ограничивает только ФАР и продуктивность составляет в пределах 1,25–10 т/га сухой массы. При учете лимитирующих факторов (продуктивная влага и термические ресурсы) программируемая заданная продуктивность естественных пастбищ будет составлять не выше 4,0 т/га сухой массы.

Таблица 8

**Действительно возможный урожай по содержанию NPK в 0–30 см слое
бурых полупустынных почв естественных пастбищ (т/га сухой массы)**

N, кг/га	K ₂ O, кг/га	P ₂ O ₅ , кг/га	Продуктивность (ДВУ) по естественному пло- дородию почвы паст- бищ, т/га сухой массы
155	1500	72	
Вынос питательных веществ (кг/га) для получения 0,1 т/га сухой массы			
3,0	2,5	0,7	
Коэффициент использования, %			
25	12	55	

Величина ДВУ по естественному плодородию почв естественных пастбищ ограничена в пределах 4,0 т/га (табл. 8), по сравнению с потенциальным урожаем от 1,28 до 10,00 т/га. Потенциальный урожай с учетом лимитирующих факторов теплообеспечения колеблется в широких пределах – от 0,6 до 6,0 т/га, с учетом влагообеспечения – от 1,0 до 9,0 т/га, что не всегда совпадает с фактической продуктивностью 2,0–3,7 т/га сухой массы.

Лимитирующий фактор естественного плодородия ограничивает урожайность в пределах 4,0 т/га, что близко к фактической продуктивности, полученной с помощью агротехнических мероприятий 2,5–3,7 т/га (табл. 9). Этот факт говорит о стопроцентной реализации почвенного плодородия естественных пастбищ за счет агротехники и программы, которую мы разработали для возделывания многолетних злаковых культур в богарных условиях за счет естественного плодородия бурых полупустынных почв Северо-Западного Прикаспия.

Реализовать рассчитанную продуктивность пастбищ богарной культуры с помощью агротехнических мероприятий можно на величину $2,0-3,7 \pm 0,5$ т/га, т.е. на 100 % из расчетной величины за счет естественного плодородия почв. Ниже приводится технологическая схема (программа) (табл. 10), состоящая из элементов технологии возделывания многолетних злаковых культур, кото-

рая с учетом естественного плодородия бурых полупустынных почв пастбищ в условиях богарной культуры дает уверенно $2,0-3,7 \pm 0,5$ т/га сухой массы.

Таблица 9

Фактический урожай пастбищ (т/га сухой массы)

Годы	Вершина бугра Бэра	Склон бугра Бэра	Подножия бугра Бэра
2012	$0,3 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,3$
2013	$0,4 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,5$
2014	$0,4 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,4$	$1,3 \pm 0,6$
2015	$0,8 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,6$	$2,7 \pm 0,7$
2016	$1,8 \pm 0,6$	$2,5 \pm 0,4$	$3,7 \pm 0,5$

Таблица 10

Элементы технологии возделывания многолетних злаковых культур в богарных условиях аридной зоны Северо-Западного Прикаспия с программируемым урожаем $2,0-3,7$ т/га сухой массы

Элемент технологии	Агротехнические требования
Выбор участка с учетом рельефа местности	Подножия бугра Бэра
Предшественник	Естественная пастбищная растительность
Сорта (виды)	Пырей бескорневищный, сорт «Озерненский»; кострец безостый, сорт «Ставропольский 31»; пырей удлиненный, сорт «Солончаковый»; пырей удлиненный, сорт «Ставропольский 10»; житняк сибирский, сорт «Викрав»; пырей удлиненный, сорт «Аргонавт»
Обработка почвы	Фрезерования на глубину 5 см, с использованием КФГ-3,6
Посев	Посев производится в осенний срок от 20 сентября до 20 октября. Норма высева $2,5-5,0$ млн семян/га. Посев производится сеялкой СЗ-3,6
Уборка урожая	Укос приспособлением КРН-2,1, и изготовлением готового продукта пресс подборщиком виде рулонов ПР-145 С

Выводы. Выделение в естественных фитоценозах растений, представителей семейства злаковые, максимально приспособленных к произрастанию в крайне аридных условиях Северо-Западного Прикаспия, позволяет теоретически обосновать и практически разработать технологию создания агрофитоценозов с заданной продуктивностью. Для создания были отобраны культурные аналоги этих доминантных видов, которые наиболее высокопродуктивны в условиях аридной зоны: пырей бескорневищный, сорт «Озерненский»; кострец безостый, сорт «Ставропольский 31»; пырей удлиненный, сорт «Солончаковый»; пырей удлиненный, сорт «Ставропольский 10»; житняк сибирский, сорт «Викрав»; пырей удлиненный, сорт «Аргонавт».

Из проведенных исследований видно, что действительно возможная продуктивность зависит от различных лимитирующих факторов и составляет:

- по фитометрическим показателям равна в пределах от 2 до $5,2$ т/га по сравнению с фактически полученной с помощью агротехнических мероприятий – от $1,6 \pm 0,7$ до $3,7 \pm 0,4$ т/га;
- по биоклиматическому потенциалу равна от $1,2$ до $9,2$ т/га сухой массы с учетом засушливости территории, что в сравнении с фактически полученной в условиях агротехники продуктивностью от $0,3 \pm 0,1$ до $3,7 \pm 0,5$ т/га сухой массы;
- по влагообеспеченности равна в пределах от $0,16$ до $6,33$ т/га сухой массы;

- по влаготеплообеспеченности равна в пределах от 1,25 и до 10 т/га сухой массы;
- по естественному плодородию бурых полупустынных почв равна в пределах до 4 т/га сухой массы.

Список литературы

1. Бармин А. Н. Влияние гидрометеорологических и эдафических факторов на динамику фитоценозов лугов низкого уровня дельты реки Волги / А. Н. Бармин, М. В. Валов, М. М. Иолин, Н. С. Шуваев // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2015. – № 3. – С. 15.
2. Иванов А. Ф. Теоретические основы программирования урожаев / А. Ф. Иванов, В. И. Филин // *Сельскохозяйственная биология*. – 1979. – № 3 – С. 323–330.
3. Климов А. А. Программирование урожая: Постановка и обоснование проблемы / А. А. Климов, Г. Е. Листопад, Г. П. Устенко // *Труды Волгоградского СХИ*. – Волгоград, 1971. – Т. 36. – С. 574.
4. Листопад Г. Е. Теоретические основы программирования высоких урожаев и технология возделывания сельскохозяйственных культур / Г. Е. Листопад, А. Ф. Иванов, В. И. Филин // *Биологические и агротехнические основы орошаемого земледелия*. – Москва : Наука, 1983. – С. 185–192.
5. Научно обоснованные системы ведения агропромышленного производства Волгоградской области на 13-ю пятилетку / Коллектив авторов. – Волгоград : Универсал, 1991. – 112 с.
6. Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : научные труды ВАСХНИЛ / под ред. акад. И. С. Шатилова и канд. с.-х. н. М. К. Каюмова. – Москва : Колос, 1978. – 336 с.
7. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: XV Тимирязевское чтение / А. А. Ничипорович. – Москва : АН СССР, 1956.
8. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур // *Научные труды ВАСХНИЛ* / под ред. акад. ВАСХНИЛ И.С. Шатилова, канд. с.-х. наук, М.К. Каюмова. – Москва : Колос, 1975. – 429 с.
9. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : межвузовский сборник научных трудов / под ред. проф. А. Ф. Иванова. – Волгоград : Волгоградский СХИ, 1984. – Т. 87. – 194 с.
10. Программирование урожая: Разработка и внедрение программированных технологий в производство / Г. Е. Листопад, А. Ф. Иванов, А. А. Климов, В. И. Филин // *Труды Волгоградского СХИ*. – 1978. – Т. 67. – 303 с.
11. Программирование урожая: Сущность метода / Г. Е. Листопад, А. А. Климов, А. Ф. Иванов, Г. П. Устенко // *Труды Волгоградского СХИ*. – 1975. – Т. 55. – 367 с.
12. Система орошаемого земледелия Волгоградской области с программированным выращиванием урожаев сельскохозяйственных культур / Коллектив авторов; под общей ред. И. П. Кружилина. – Волгоград : Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1987. – 240 с.
13. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности : сб. докл. на Междунар. симп. / отв. ред. проф. А. А. Ничипорович. – Москва : Наука, 1972. – 547 с.
14. Технология орошения и программирования урожая : сборник научных трудов / под ред. проф. Г. Ю. Шейнкина. – Москва : ВНИИГиМ, 1986. – 243 с.
15. Управление процессами формирования урожаев в полевых условиях : сборник научных трудов / под ред. В. И. Филина. – Волгоград : Волгоградский СХИ, 1984. – Т. 88. – 128 с.
16. Устенко Г. П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах как основа формирования высоких урожаев / Г. П. Устенко // *Фотосинтез и вопросы продуктивности растений*. – Москва : АН СССР, 1963. – С. 37–70.
17. Филин В. И. Биологические и технологические основы программированного возделывания сельскохозяйственных культур при орошении в зоне сухих степей Нижнего Поволжья : автореф. дис. докт. с.-х. наук / В. И. Филин. – Волгоград, 1987. – 49 с.
18. Филин В. И. Теория программирования урожая в приложении к современному земледелию / В. И. Филин // *Учёные записки агрономического факультета ВГСХА*. – Волгоград : ВГСХА. 2005. – С. 97–122.
19. Шатилов И. С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая (принципы АСУ ТП в земледелии) / И. С. Шатилов, А. Ф. Чудновский. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.

20. Шатилов И. С. Принципы программирования / И. С. Шатилов // Вестник с.-х. наук. – 1973. – № 3. – С. 8–14.

References

1. Barmin A. N., Valov M. V., Iolin M. M., Shuvaev N. S. Vliyanie gidrometeorologicheskikh i edaficheskikh faktorov na dinamiku fitotsenozov lugov nizkogo urovnya delty reki Volgi [The influence of hydrometeorological and edaphic factors on the dynamics of phytocenoses of meadows of low level of the delta of the Volga River.]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2015, no. 3, p. 15.
2. Ivanov A. F., Filin V. I. Teoreticheskie osnovy programmirovaniya urozhayev [Theoretical basis of harvest programming]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 1979, no. 3, pp. 323–330.
3. Klimov A. A., Listopad G. Ye., Ustenko G. P. Programmirovaniye urozhaya: Postanovka i obosnovaniye problemy [Crop programming: Statement and substantiation of the problem]. *Trudy Volgogradskogo SKhI* [Proceedings of the Volgograd Agricultural Institute], 1971, no. 36, p. 574.
4. Listopad G. Ye., Ivanov A. F., Filin V. I. Teoreticheskie osnovy programmirovaniya vysokikh urozhayev i tekhnologiya vozdeliyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur [Theoretical basis for programming high yields and technology for cropping]. *Biologicheskie i agrotekhnicheskie osnovy oroshaemogo zemledeliya* [Biological and Agrotechnical Fundamentals of Irrigated Agriculture], Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 185–192.
5. Team of Authors. *Nauchno obosnovannyye sistemy vedeniya agropromyshlennogo proizvodstva Volgogradskoy oblasti na 13-yu pyatiletku* [The scientifically grounded systems of conducting agro-industrial production of the Volgograd region for the 13th Five-Year Plan], Volgograd, Universal Publ., 1991, 112 p.
6. Shatilov I. S., Kayumov M. K. (ed.). *Nauchnye osnovy programmirovaniya urozhayev selskokhozyaystvennykh kultur : nauchnye trudy VASKhNIL* [The scientific fundamentals of programming crop yields. Proceedings of the Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences], Moscow, Kolos Publ., 1978, 336 p.
7. Nichiporovich A. A. *Fotosintez i teoriya polucheniya vysokikh urozhayev : XV Timiryazevskoe chtenie* [Photosynthesis and the theory of obtaining high yields], Moscow, AS USSR Publ. House, 1956.
8. Shatilov I. S., Kayumov M. K. (ed.). Programmirovaniye urozhayev selskokhozyaystvennykh kultur [Programming crop yields]. *Nauchnye trudy VASKhNIL* [Proceedings of the Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences], Moscow, Kolos Publ., 1975, 429 p.
9. Programmirovaniye urozhayev selskokhozyaystvennykh kultur : mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Programming Crop Yields. Interuniversity Proceedings], Volgograd, Volgograd Agricultural Institute Publ. House, 1984, vol. 87, 194 p.
10. Listopad G. Ye., Ivanov A. F., Klimov A. A., Filin V. I. Programmirovaniye urozhaya: Razrabotka i vnedreniye programmirovannykh tekhnologiy v proizvodstvo [Crop programming: Development and introduction of programmed technologies in production]. *Trudy Volgogradskogo SKhI* [Proceedings of the Volgograd Agricultural Institute], 1978, vol. 67, 303 p.
11. Listopad G. Ye., Klimov A. A., Ivanov A. F., Ustenko G. P. Programmirovaniye urozhaya: Sushchnost metoda [Crop programming: The essence of the method]. *Trudy Volgogradskogo SKhI* [Proceedings of the Volgograd Agricultural Institute], 1975, vol. 55, 367 p.
12. Team of Authors. Sistema oroshaemogo zemledeliya Volgogradskoy oblasti s programmirovannym vyrashchivaniem urozhayev selskokhozyaystvennykh kultur [The system of irrigated farming in the Volgograd region with programmed crop cultivation] [Text], Volgograd, Nizhn.-Volzh. kn. izd-vo Publ., 1987, 240 p.
13. Nichiporovich A. A. (resp. ed.). *Teoreticheskie osnovy fotosinteticheskoy produktivnosti : sbornik dokladov na Mezhdunarodnom simpoziume* [The theoretical foundations of photosynthetic productivity], Moscow, Nauka Publ., 1972, 547 p.
14. Sheynkin G. Yu. (ed.). Tekhnologiya orosheniya i programmirovaniya urozhaya : sbornik nauchnykh trudov [The technology of irrigation and harvest programming], Moscow, VNIIGiM Publ. House, 1986, 243 p.
15. Filin V. I. (ed.). Upravleniye protsessami formirovaniya urozhayev v polevykh usloviyakh : sbornik nauchnykh trudov [The management of the processes of crop formation in the field], Volgograd, Volgograd Agricultural Institute Publ. House, 1984, vol. 88, 128 p.
16. Ustenko G. P. Fotosinteticheskaya deyatel'nost rasteniy v posevakh kak osnova formirovaniya vysokikh urozhayev [The photosynthetic activity of plants in crops as the basis for the formation

of high yields]. *Fotosintez i voprosy produktivnosti rasteniy* [Photosynthesis and plant productivity issues], Moscow, AS SSSR Publ. House, 1963, pp. 37–70.

17. Filin V. I. *Biologicheskie i tekhnologicheskie osnovy programmirovannogo vozdeliyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur pri oroshenii v zone sukhikh stepey Nizhnego Povolzhya* [The biological and technological foundations of the programmed cultivation of agricultural crops under irrigation in the dry steppe zone of the Lower Volga Region], Volgograd, 1987, 49 p.

18. Filin V. I. *Teoriya programmirovaniya urozhaya v prilozhenii k sovremennomu zemledeliyu* [Theory of crop programming in the application to modern agriculture]. *Uchenye zapiski agronomicheskogo fakulteta VGSKhA* [Proceedings of the Agronomical Faculty of the Vyatka State Agricultural Academy], Volgograd, VGSKhA Publ. House. 2005, pp. 97–122.

19. Shatilov I. S., Chudnovskiy A. F. *Agrofizicheskie, agrometeorologicheskie i agrotekhnicheskie osnovy programmirovaniya urozhaya (printsipy ASU TP v zemledelii)* [Agrophysical, agrometeorological and agrotechnical bases of crop programming (principles of automated process control system in agriculture)], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, 320 p.

20. Shatilov I. S. *Printsipy programmirovaniya urozhaynosti* [The principles of productivity programming]. *Vestnik s.-h. nauk* [Bulletin of the Agricultural Sciences], 1973, no. 3, pp. 8–14.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОПУСТЫНИВАНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

Шабанов Дмитрий Иванович, кандидат географических наук, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: mettus@mail.ru

В статье описаны некоторые подходы к использованию гиперспектральной информации полученной методами дистанционного зондирования Земли для оценки процессов опустынивания и деградации земель. Работа выполнялась на основе сцены сенсора EO-1 Hyperion в районе Астраханского газоконденсатного месторождения. Были проведены расчеты нескольких узкополосных индексов вегетации и комбинирование их в единое изображение. Полученное композитное изображение позволяет выделить градации состояния вегетации, оценить территориальную структуру растительного покрова и выделить участки с отсутствием вегетации (в том числе деградированные и опустыненные). На территории, где Enhanced Vegetation Index имел значения, характерные для деградации, разреженного покрова, накопления мертвой биомассы классификация «без эталонов», позволила выделить четыре степени деградации территории.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, опустынивание, гиперспектральные данные, деградация ландшафтов, анализ вегетации, Северный Прикаспий, EO-1 Hyperion, индексы вегетации, классификация

USE OF REMOTE SENSED HYPERSECTRAL DATA FOR LAND DEGRADATION ASSESSMENT OF NORTH CASPIAN SEA REGION

Shabanov Dmitriy I., C.Sc. in Geography, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail mettus@mail.ru

The article describes some approaches to the use of hyperspectral information obtained by remote sensing methods of the Earth to assess the processes of desertification and land degradation. The work was performed using EO-1 Hyperion sensor scene in the Astrakhan gas condensate field area. A set of narrowband vegetation indices were calculated