

**Л. В. Лебедь**, канд. геогр. н.

*Казахский научно-исследовательский институт экологии и климата  
Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ТУРАНСКИХ ПУСТЫНЬ (В ПРЕДЕЛАХ КАЗАХСТАНА)**

*Рассматривается модель PASTURE для описания динамики продуктивности пустынных биоценозов. Модель является составляющим звеном технологии современного экологического мониторинга пастбищ на базе аэрокосмической и наземной информации.*

***Ключевые слова:** пустынный биоценоз, системный анализ, агрометеорологическая модель, фотосинтетическая деятельность, первичная продукция, идентификация параметров, экологический мониторинг.*

**Введение.** Первичная продукция на пастбищах служит основой вторичной продукции животноводства, а также показателем биоэкологического состояния и сохранности растительного покрова в условиях антропогенного воздействия и изменения климата. Перспективным методом изучения первичной продукции для оценки пастбищных экосистем и устойчивого управления является моделирование их на экосистемном уровне. В отличие от регрессионных моделей пастбищ, которые были разработаны и представлены в работах А. Федосеева [1], И Г Грингофа [2], А. Бедарева и Е. Коробовой [3], Л. Лебедь [4], О. Бабушкина в соавторстве [5], модели пастбищ экосистемного уровня предназначены для описания динамики и взаимосвязей множества экологических факторов и антропогенных воздействий (управлений). Основные методические принципы системного моделирования биоценозов излагаются Б.А. Быковым на примере пустынных формаций Северного Приаралья [6], А. Н. Полевым и И.Г. Грингофом на примере отдельного вида *Carex physodes*, наблюдаемого в условиях Центрально-Каракумского стационара Института пустынь АН Туркмении [7]. Для этого же природного региона Ю. Б. Кирстой разработана имитационная балансовая модель, описывающая динамику продуктивности пустынной растительности на уровне отдельных формаций [8]. К моделям пастбищ экосистемного уровня можно отнести модель SPUR (Simulation of Production and Utilization of Rangeland), Poss et al. 1987 [9] и модель CENTURY, Лаборатория экологии природных ресурсов университета штата Колорадо, Parton et al, 1993 [10]. Модель CENTURY применялась Т. Гильмановым для моделирования динамики продуктивности отдельных травяных фитоценозов, исследованных на территории Жаныбекского стационара в Западном Казахстане и Бадхызского заповедника в юго-восточной Туркмении [11].

Особый научный и практический интерес вызывают балансовые модели для изучения сезонных циклов обращения химических элементов и потоков органического вещества между почвой и растительными сообществами, начало разработок которых положили М.П.Ремезов, Л. Е. Родин, Н.И. Базилевич [12]. В последующем такие схематические балансовые модели потоков органического вещества были разработаны ими для отдельных экосистем, представляющих природные зоны на территории бывшего СССР [13,14]. Из них наибольшее развитие получили модели круговорота азота и углерода в работах А. А. Тытляновой и др. для травяных экосистем степей [15].

В настоящей статье рассматривается усовершенствованный вариант модели экосистемного уровня PASTURE для описания динамики процессов формирования продуктивности пастбищных фитоценозов Северо-Туранских (казахстанских) пустынь.

Модель носит прикладной характер и является составляющим звеном технологии экологического мониторинга пустынных пастбищ Казахстана на базе аэрокосмической и наземной информации. Предшествующий ей авторский вариант модели [16] был предназначен для практического применения в алгоритме мониторинга пастбищ с использованием данных аэрофотометрических съемок. В процессе работы над моделью автором использовались результаты научных достижений в геоботанике и пастбищной агрометеорологии, полученные в Казахстане ранее под руководством Б. А. Быкова, академика АН КазССР, С. А. Бедарева, член-корр. АН КазССР и А. Федосеева, доктора географических наук, профессора, а также результаты других исследователей пустынь. Всем им автор выражает свою признательность и благодарность.

**Экобиоформы растительности как объект исследований, их изученность.** Преобладающая часть территории пустынного Казахстана, в соответствии с районированием пустынь Е.М. Лавренко и его последователями Б. Быковым, Л. Курочкиной и другими учеными [17, 18], рассматривается в границах Ирано-Туранских пустынь. Это подобласть пустынь с жарким и сухим климатом (годовые температуры воздуха составляют около 5°C и атмосферные осадки 100-200мм), перевейанными песками и примитивными почвами на больших песчаных массивах, бурыми и серо-бурими почвами плакорных равнин, солончаковыми почвами и безжизненными ссорами плакатных понижений и бессточных впадин. По исследованиям Б. А. Быкова [19], в образовании растительного покрова Северо-Туранских (казахстанских) пустынь участвует более 1200 видов растений, которые принадлежат к 16 основным семействам. Среди них господствуют маревые, характеризующие самобытность туранской флоры. Она представлена более 160 экобиоформами, т. е. группами видов, имеющих сходные жизненные формы роста и развития (деревья, кустарники, полукустарники и полукустарнички, травы).

В условиях аридного климата пустынной зоны преобладают растительные виды с С3- типом фотосинтеза [20,21,22]. Также в южных пустынях Ирано-Туранской подобласти не исключается присутствие растений, осуществляющих фиксацию углекислого газа по типу С4, в первую очередь из семейства маревых, включая древесно-кустарниковые виды как *Halloxylon*, *Calligonum*, *Kochia* и другие [22, 23]. Растения типа С4 отличаются способностью более продуктивно фиксировать CO<sub>2</sub>, им присущий повышенный уровень светового насыщения и относительно высокие температурные оптимумы [21].

Пустынные растения обладают различной биологической ритмикой, что особенно проявляется в продолжительности активной вегетации от 30-60 дней (эфмеры и эфемероиды) до 300 дней в году и более (полукустарнички и кустарники). С учетом различных адаптационных приспособлений к существованию в условиях недостаточного увлажнения, они подразделяются на ксерофиты, мезофиты, гигрофиты, а также их смежные группировки [17,24]. Ксерофиты обладают морфологией, которая соответствует условиям сухого воздуха и почв с высокими температурами в теплый период года. Ксероморфность выражается в предельном изменении листовой поверхности (редуцированные листья, передавшие ассимиляционные функции стеблям), увеличенном числе устьиц, наличии воскового налета или опушения, усиленном развитии механических тканей, сосредоточении наибольшей биомассы в почве и других признаках. Ксерофиты способны переносить сильное (до 25%) обезвоживание ткани, отличаются высоким осмотическим давлением клеточного сока (до 30-100 гПа), повышенной интенсивностью фотосинтеза. К ксерофитам относятся и галлофиты, которые нормально развиваются при высокой концентрации солей в почве. Мезофиты обладают более развитой листовой

поверхностью, и повышенной интенсивностью транспирации. Растения песчаных пустынь (псаммофиты) принадлежат в большинстве своем к группе ксеромезофитов и мезофитов. Морфологическая их адаптация выражается в глубоких корневых системах и вегетативной подвижности. К мезофитам относятся и эфемеры (однолетние) и эфемероиды (многолетние) травы, с укороченным развитием до 30-60 дней за счет высокой интенсивности фотосинтеза и транспирации в относительно благоприятных условиях почвенной влаги весеннего периода. В пониженных местах с поверхностным затоплением и близким залеганием грунтовых вод (в поймах пустынных рек и побережьях озер) формируется преимущественно травяная растительность из мезогигрофитов и гигрофитов.

Растительный покров в пустыне обычно не сомкнут в надземной части, что не исключает при этом сомкнутости корневых систем растений [17]. Проективное покрытие почвы растительностью составляет 25-50% с возможным уменьшением на такырах до 0-5 % и увеличением до 80-100% в поймах рек и в межбугровых понижениях «чуротах» с лугово-тугайными зарослями. В горизонтальной проекции растения распределены неравномерно, в том числе по видовому составу, продуктивности и энергетическим потокам. Вертикальная структура также формируется в основном из особой доминантов и «вставленных» среди них особой субдоминантов, располагающихся вне кроны первых, что создает в пустыне равномерное и достаточное поступление света для растений всех ярусов. Кормовая продуктивность пустынных пастбищ может изменяться ежегодно в два – три раза, что связано в основном с погодными условиями. Динамика плодоношения и восстановления у пустынной растительности выражена еще более значительно. Совокупность отдельных растительных видов (экобиоформ), по определению В. Н. Сукачева [25], образует элементарную единицу растительного покрова на Земле биоценоз (фитоценоз) или сообщество растений, или тип пастбища. Наиболее сложную структуру имеют фитоценозы песчаной пустыни. Состав эдификаторов в сообществе песчаной пустыни, как правило, полидоминантный, с преобладанием кустарников и полукустарников [26,27,28]. По сравнению с глинистой пустыней, они отличаются флористической насыщенностью, общим запасом биомассы, соотношением надземной и подземной ее части, умеренным водным режимом (табл. 1).

Таблица 1 - Сравнительная характеристика растительности Туранских пустынь на фитоценоотическом уровне. (По Б.Быкову, Н.Кириченко, Л.Курочкиной, И.Анапиеву и др., 1978)

Биоценоз	Количество видов	Проективное покрытие, %	Фитомасса, т/га	Фитомасса доминантов, т/га	Соотношение надземной к подземной
Глинистые и солончаковые пустыни					
Эфемероидный серополынный	44	35	33.74	83	1: 4.5
Биоргунник	25	24	8,26	92	1: 6,7
Боялычник	40	40	27.20	86	1: 2.3
Чернополынный	12	44	16,65	75	1: 8,0
Песчаные пустыни					
Песчаная акация	54	50	29.90	38	1: 2.3
Кзылчевник	29	35-40	12.85	48	1: 2,2
Изеневый серополынный	25	50	7.46	31	1: 2.0
Терескенник	34	30-45	10.33	71	1: 6.1
Жузгуновыи еркечник	31	40	53.5	24	1: 4.0

Совокупность биоценозов на определенной территории, представленной ландшафтом или его фациями, формирует единую экосистему с присущими ей эдафическими условиями. Согласно Б.А. Быкову [17], для Туранской низменности выделяется 7 основных типов пустынных экосистем: *ксерофильные полукустарнички* с доминированием полыней на бурых и серо-бурых почвах плакоров, *ксерофильные полукустарнички* с доминированием полыней и эфемеров на сероземных почвах, *галлоксерофильные кустарнички* на серо-бурых засоленных почвах плакоров, *ксерофильные полудеревья и полукустарнички* на такыровидных серо-бурых почвах древних речных террас, *псаммомезофильные полудеревья*, *кустарники и полукустарники* на песках и примитивных песчаных почвах, *галлоксерофитные кустарники, кустарнички и полукустарнички* на солончаках с в бессточных впадинах, *ксеромезофитные деревья и кустарники* на аллювиально-тугайных и луговых почвах пойменных террас пустынных рек. Годовая продукция экосистем составляет от 1 до 10 т/га, и до 100 в тугайных лесах. Кормовой запас от 0,1 до 0,01 т/га.

Наиболее полные исследования структуры и продуктивности растительного покрова песчаных и глинистых пустынь Казахстана, а также луговых сообществ, включающих фитоценологические наблюдения за транспирацией, фотосинтезом и дыханием растений, были выполнены в 60-70-тые годы минувшего столетия в рамках Международной биологической программы (МБП) под научным руководством Б. А. Быкова в Северном Приаралье, Л. Я. Курочкиной в Южном Прибалхашье, О.М. Деминой в низовьях реки Шу и др. [27,28,29,30,31,32,33]. Отдельные результаты наблюдаемой ими фотосинтетической деятельности растений представлены в статье на рис. 1 и 2.

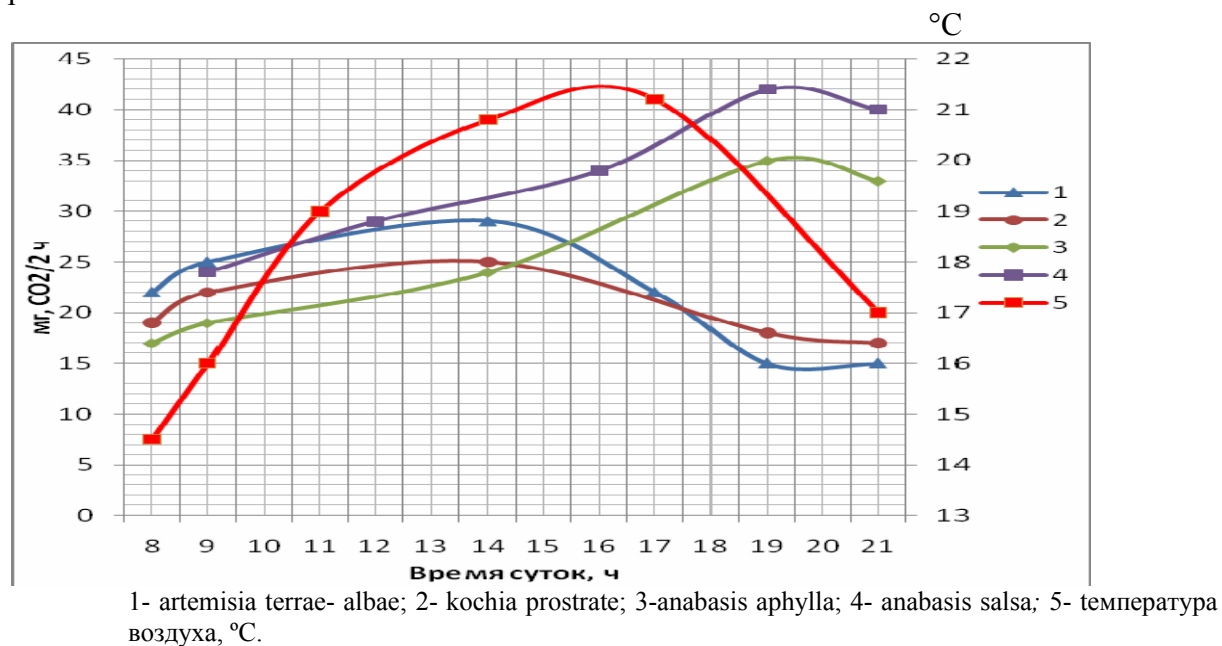
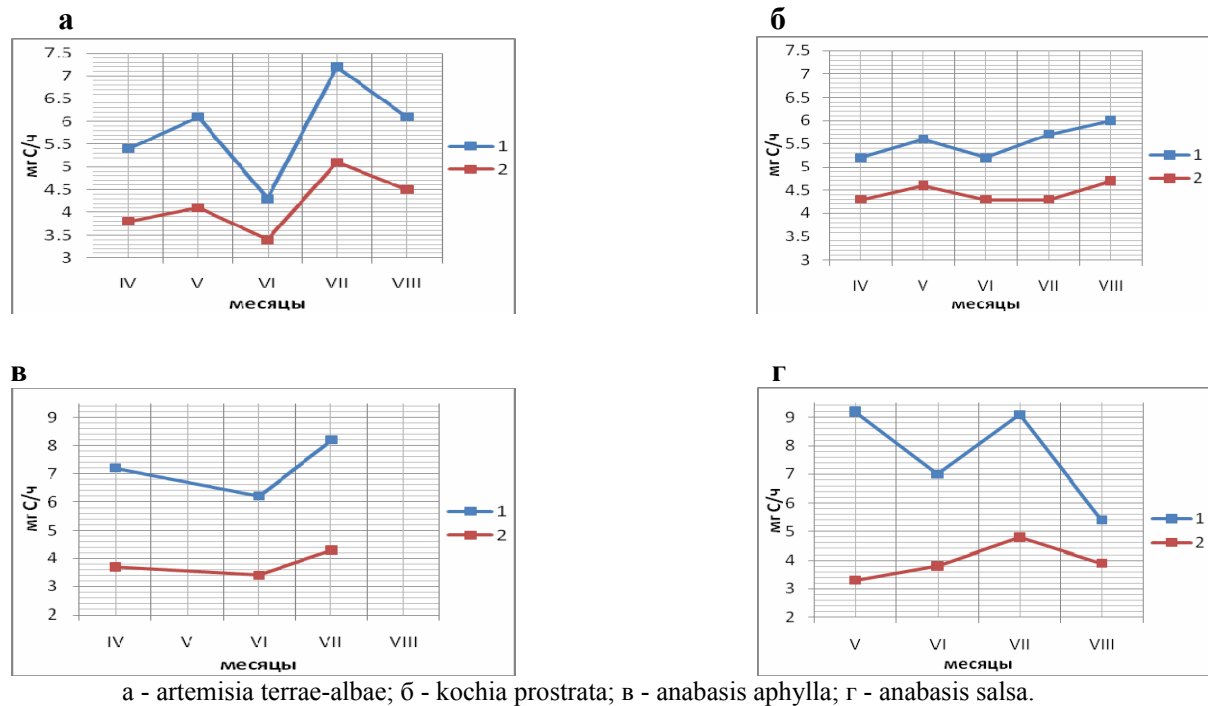


Рис.1 - Суточная динамика интенсивности наблюдаемого фотосинтеза (мг CO<sub>2</sub> /г.ч) пустынных растений 10 мая 1972 г.. Северное Приаралье (по Шабановой Л. и Беденко В).

Они подтверждают важное заключение экспериментаторов, что, несмотря на различный характер динамики накопления углерода единицей органического вещества, суммарная продуктивность за вегетационный период у всех наблюдаемых экобиоформ отличается незначительно и имеет общие закономерности в ассимиляционной деятельности растительности Северо-Туранской пустыни [32].



а - *artemisia terrae-albae*; б - *kochia prostrata*; в - *anabasis aphylla*; г - *anabasis salsa*.

Рис.2 - Сезонная динамика наблюдаемого фотосинтеза (1) и дыхания (2) пустынных растений за 1972 год. Северное Приаралье (по Шабановой Л. и Беденко В., 1977).

### Теоретические предпосылки модели, идентификация параметров.

Математические модели биологических систем служат своего рода инструментом для логического представления теоретических выводов отдельных исследователей, и последовательного обобщения результатов многоплановых полевых наблюдений за пустынными экосистемами, выполняемые в годы с различными агрометеорологическими условиями. Разрабатываемая модель PASTURE предназначена для описания процессов роста пастбищных фитоценозов в пустынных условиях. В данном случае под ростом, в соответствии с определением К. Т. де Вита, приведенного в [34], понимается увеличение массы структурных тканей растений (отложение органического вещества в запас), путем ассимиляции из атмосферы углерода в процессе поглощения фотосинтетически активной радиации (ФАР).

При моделировании пустынных фитоценозов автором применяется экосистемный подход, в соответствии с которым изучаемый биологический объект расчленяется на элементы, которые находятся в разных состояниях, функционируют относительно автономно и взаимодействуют между собой [34, 35]. В соответствии с Л.Ляпуновым [35], состояние изучаемого элемента характеризуется запасом вещества и энергии, которые в этом элементе содержатся и той информацией, которая в нем хранится. Согласно Л. Курочкиной [36], системный подход позволяет выделить роль доминантных видов, их биологическую, экологическую и средообразующую индивидуальность в биоценозе и совместимость в общем обитании.

Теоретической основой моделирования пастбищных фитоценозов, в данном случае, служит Закон необходимого разнообразия, в соответствии с которым любая система не может быть сформирована из абсолютно одинаковых элементов, а также вытекающих из него Закона неравномерности развития системы и Правил полноты ее составляющих [37]. Исследование эдафических условий существования фитоценоза опирается на Закон равнозначности условий жизни, когда все природные факторы,

необходимые для жизни растений, играют равнозначную роль, а также на Закон минимума или лимитирующего фактора и Закон оптимума или совокупного действия факторов условий среды [37,38].

Пастбищный фитоценоз описывается в модели в тесном взаимодействии его с эдафическими условиями, включая воздействие консументов. В соответствие с Б.Быковым [6], влияние домашних животных на пустынную растительность значительно превосходит все воздействия природных консументов. Результатом является пастбищная дигрессия растительных сообществ и соответствующая ей антроподинамическая сукцессия. В системе мониторинга последняя учитывается косвенно через периодически обновляемые геоботанические карты фактического растительного покрова. Модель ориентирована в первую очередь на фоновые коренные и длительносуществующие модифицированные растительные сообщества, формирующие продукцию на пастбище в условиях умеренного и слабого его выпаса. При этом допускается практическая возможность дополнительных расчетов продукции и для сильно деградированных локальных участков, ограниченных по площади и «вкрапленных» в отдельные контуры на геоботанической карте. В процессе моделирования, используется термин *первичная продукция или продукция*, которые отождествляются с *чистой первичной продукцией* [12]. По определению Ю. Одума [35], *первичная продукция* характеризует интенсивность накопления органического вещества в тканях растительных организмов, сверх использованного ими на дыхание за период измерения.

Процесс фотосинтеза в природных условиях пустыни рассматривается в модели как функция не лимитированного поступления солнечной энергии, обеспечивающего высокую плотность светового потока и беспрепятственное его прохождение на всех уровнях ассимилирующего растительного слоя. По сведениям В. П. Беденко, на пустынную территорию Казахстана за вегетационный период поступает свыше 50 ккал/см<sup>2</sup> фотосинтетически активной радиации, с незначительными годовыми отклонениями в пределах 4-7%, по месяцам до 11%. Это позволяет предположить, что фотосинтез в пустынях на протяжении вегетационного периода протекает в идентичных условиях приближенных к световому насыщению.

О фотосинтетической деятельности растений обычно судят по основным его показателям: интенсивности фотосинтеза в мг СО<sub>2</sub> на 1 дм<sup>2</sup> листовой поверхности за часовой интервал времени и чистой продуктивности в граммах в расчете на 1 м<sup>2</sup> листовой поверхности за суточный интервал времени [20], или в миллиграммах органического вещества (углерода) накопленного в фотосинтезирующих органах за определенный интервал времени, в расчете на один грамм сухого вещества [39,40,41]. Фотосинтетическая деятельность растений оценивается в модели по приросту биомассы на единицу ассимилированного вещества. Для этого обратимся к формуле Б. И. Гуляева и А. С. Оканенко [42], в соответствие с которой интенсивность фотосинтеза можно формально записать как

$$\Phi = (M_2 - M_1) \cdot r \cdot a / t, \quad (1)$$

где  $M_2$  и  $M_1$ - масса сухого вещества в конце и начале учетного периода;  
 $r$ - коэффициент, учитывающий энергетические затраты на дыхание;  
 $a$  - коэффициент для пересчета накопленного органического вещества в ассимилированный углекислый газ;  
 $t$ - продолжительность светового времени в часах на протяжении учетного периода.

Световой поток фотосинтетически- активной радиации рассчитывается по формуле С. И. Сивкова [43], с использованием стандартной метеорологической информации:

$$J = q \cdot Q, \quad (2)$$

где  $Q$  – суммарная радиация на верхней границе растительного слоя, ккал/ см<sup>2</sup>·день;  $q$  – коэффициент для пересчета суммарной радиации в ФАР.

По исследованиям В. П. Беденко [44], численные значения коэффициента  $q$  мало изменяются с высотой Солнца, прозрачностью атмосферы, формами облачности и составляют для пустынной территории Казахстана величину 0,475.

В качестве основных эдафических факторов, лимитирующие биофизические и биохимические процессы в растениях, учитываются термический и влажностный режим в пределах основного горизонта их обитания (воздушная среда до двух метров над поверхностью почвы и почвенный горизонт с запасом влаги до двух метров и более). К перераспределяющим факторам среды отнесены микрорельеф, степень засоления почвы, уровень залегания грунтовых вод и антропогенные воздействия, в первую очередь отчуждение биомассы выпасающимся домашним скотом.

Исследуя фитоценоз, в соответствии с Феррари Т. Дж. [45], представим его как систему с положительной обратной связью, которая обеспечивает равновесное его (фитоценоза) состояние, которое часто именуется как неустойчивое равновесие. Динамику накопления продукции в процессе фотосинтетической деятельности растений опишем уравнением экспоненциального роста

$$B_t = B_{\max} / 1 + [(B_{\max} / B_{t-1}) - 1] \cdot \exp \int_0^t R_t dt, \quad (3)$$

где  $B_t$  – биомасса (надземная часть) растения - эдификатора данного фитоценоза на декаду  $t$  вегетации в год  $N$  с заданными агрометеорологическими условиями, кг сухого вещества / га;

$B_{\max}$  - абсолютный максимум биомассы растения-эдификатора в заданных эдафических условиях местности, кг сухого вещества / га;

$R_t$  –продуктивность фотосинтеза растения-эдификатора за вычетом дополнительных затрат на дыхание, из расчета на единицу органического сухого вещества на декаду  $t$  вегетации в  $N$  год, кг / кг сухого вещества за декаду.

В заданных агрометеорологических условиях продуктивность фотосинтеза растений представим как функцию

$$R_t = R_m \left[ T_t \frac{CT}{\Delta T} \cdot K_t \frac{CK}{\Delta K} \right], \quad (4)$$

где  $R_m$  –максимальная продуктивность фотосинтеза растения- эдификатора на декаду  $t$  вегетации, кг / кг сухого вещества за декаду;

$T_t$  - среднесуточная температура воздуха за декаду  $t$ , °С;

$K_t$  – показатель увлажнения на декаду  $t$  ;

$\Delta T, \Delta K$ , - амплитуды колебания  $T_t$  и  $K_t$  ;

$CT, CK$ , - масштабные коэффициенты.

При оценке фотосинтетической деятельности пустынных растений, в соответствие с Дж. Франсу и Д. Торнли [46], в модели допускается, что  $R_m$  – величина, к которой стремится  $R_t$  в условиях светового насыщения. Показатель увлажнения  $K_t$ , по аналогии с показателем увлажненности А. П. Федосеева [1], отражает напряженность водного баланса корнеобитаемого слоя почвы для выровненной местности с автоморфным режимом увлажнения вне влияния грунтовых вод. Основные

запасы почвенной влаги формируются на равнинах Туранских пустынь за счет атмосферных осадков холодного периода года и почти полностью расходуются за вегетационный период в основном на транспирацию растений и физическое испарение из почвы. По сведениям Г. Г. Белобородой и Г. Д. Герасименко [47], заметный эффект у растительности от осадков, выпадающих в летние месяцы, отмечен только в редких случаях их выпадения не менее 20 мм за декаду в условиях глинистой пустыни и не менее 15 мм в песчаной пустыне. Показатель почвенного увлажнения  $K_t$ , на декаду  $t$  вегетационного периода рассчитывается по формуле

$$K_t = \frac{W_s + \sum R_t}{d \sum E_t}, \quad (5)$$

где  $W_s$  – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на весеннюю декаду с температурой воздуха 3-5°C, мм;

$R_t$  – атмосферные осадки накопительным итогом от декады с температурой воздуха 3-5 °C по декаду  $t$  вегетационного периода, мм;

$E_t$  – дефицит упругости водяного пара в воздухе накопительным итогом от декады с температурой воздуха 3-5°C по декаду  $t$ , мм;

$d$  - коэффициент водопотребления растений, безразмерная величина.

Для расчета на весенний период запасов влаги  $W_s$  в почвах различной влагоемкости используются, разработанные ранее А. П. Федосеевым и Г. Белобородовой [48], уравнения регрессии

для песков и супесчаных почв

$$W_s = W_a + (0.54R_w + 6.7), \quad (6)$$

для глинистых и суглинистых почв

$$W_s = W_a (0.60R_w + 8.3), \quad (7)$$

где  $W_a$  - запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы на декаду с температурой воздуха 3-5°C осеннего периода, мм;

$R_w$  – количество осадков за холодный период года, мм.

Коэффициент водопотребления растений  $d$  применяется в формуле 5 как постоянная величина равная 0.46. Он был рассчитан для полукустарничка *Artemisia terrae-albae*, характеризующегося широкой экологической амплитудой произрастания в аридных условиях, и условно используется в модели как стандартная величина водопотребления для пустынной растительности.

Идентификация параметра  $R_m$ , характеризующего максимальную продуктивность фотосинтеза, выполнена в модели для отдельных экобиоформ на видовом уровне, в отдельных случаях на уровне групп растений, путем решения обратной задачи (уравнения 3-4), с привлечением материалов эмпирических наблюдений за пастбищной растительностью на стационарах. Для этого использовались случаи определения эмпирическим путем продукции (прироста сухого вещества) из многолетней выборки наблюдений в годы, когда условия влагообеспеченности и теплообеспеченности растений за большую часть вегетационного периода приближались к оптимальным, на фоне не лимитированного поступления света. Сезонная динамика параметра модели  $R_m$ , представляющего по содержанию онтогенетические кривые продуктивности фотосинтеза основных экобиоформ Северо- Туранских пустынь, показана в табл. 2. Из анализа таблицы видно,



что для полукустарников и полукустарничков с продолжительным периодом весенне-летне-осенней вегетации, как *Artemisia terrae - albae*, *Eurotia*, *Kochia* и другие виды, величины  $R_m$  в наименьшей степени разнятся между собой и достигают на генеративные фазы величину порядка 0.70-0.80 кг на кг сухого органического вещества за декаду. Для травянистых экобиоформ весенне-летней вегетации как *Аггоругон* и другие виды, они повышаются до 0.90 кг на кг сухого вещества за декаду. Наибольшие значения  $R_m$ , до 2.80 кг / кг сухого вещества за декаду, были получены для травянистых эфемеров и эфемероидов с коротким периодом вегетации.

Если в значения  $R_m$  ввести поправку на дыхание, умножив на число 1,67 и на коэффициент 0,50, то получим величину продуктивности фотосинтеза за вегетационный период, выраженную в единицах углерода на единицу сухого органического вещества растений. Заменив значение коэффициента 0,50 на 1,47, получим величину углекислоты, ассимилированной растениями за вегетационный период. Поправочный коэффициент на дыхание (см. формулу 1), который рассчитан автором статьи на базе ранее полученных материалов полевых экспериментов в Северном Приаралье [31,33], оценен для пустынной растительности на уровне 1,56-1,92. В модели используется осредненная его величина.

Многочисленными опытами доказано, что интенсивность фотосинтеза у растений определяется как условиями освещенности, так и концентрацией углекислого газа в атмосфере [20,21]. Чтобы учесть в модели изменения в химическом составе атмосферы, примем условие, что продуктивность фотосинтеза  $R_m$  является линейной функцией содержания  $CO_2$  в атмосфере, которую в соответствии с Дж. Франс и Дж. Торнли [46], запишем как

$$R_m(N) = C_o \cdot R_m, \quad (8)$$

где  $C_o$  – отношение величин содержания углекислого газа в атмосфере на год  $N$  к его содержанию на эталонный год.

В случаях расчетов по модели по 2010 год, значение коэффициента  $C_o$  приравнивается единице, а  $R_m(N)$  соответственно записывается как  $R_m$ .

Индивидуальные биологические особенности растений сказываются на процессах накопления продукции через биоритмы роста и развития, как ответная фотопериодическая реакция растений на условия среды [21]. Ответные реакции заметно проявляются в различной приспособляемости растений к условиям почвенного увлажнения, термическим условиям и другим факторам среды. Отсюда, пустынные растения пребывают на протяжении вегетационного периода в различном биоэкологическом состоянии: с возобновлением вегетации отмечается активное начало фотосинтеза; усиленный линейный рост и соответственно максимальный прирост продукции, которые приходится на генеративные фазы развития, совпадают с высокой продуктивностью фотосинтеза; приостановление роста совпадает с уменьшением продуктивности фотосинтеза до величин, равных энергетическим затратам на дыхание; потери надземной биомассы в период летнего покоя, когда растения сбрасывают часть листьев, веток и семена, сопровождаются снижением фотосинтеза до минимума, когда превалируют энергетические затраты на дыхание; начало разрушения накопленной надземной биомассы связано с приостановлением процесса фотосинтеза. Поэтому, с учетом индивидуальных биологических особенностей растений, динамику роста  $B_t$  перепишем как  $B'_t$  и представим в виде экспоненциальной кривой

$$B'_t = B_t \cdot \exp^{-b}, \quad (9)$$

где  $B_t$  - накопленная в процессе фотосинтеза продукция (надземная часть биомассы), кг сухого вещества / га;

$b$  - биологический коэффициент, безразмерная величина.

Биологический коэффициент несет в модели ограниченную информацию о сохранности и разрушении накопленной надземной биомассы и не отражает в точности фазового состояния растений. По абсолютной величине значение  $b$  может изменяться от единицы в период активной вегетации растений, приближаясь к нулю во второй ее половине, когда условия среды отмечаются особо напряженные. Биологический коэффициент растений  $b$  используется в модели как функция времени и показателей напряженности условий среды и в общем виде может быть записан как

$$b = F(K_{cr}, T_{cr}, t), \quad (10)$$

где  $K_{cr}$  и  $T_{cr}$  - критические (пороговые) значения показателей увлажнения  $K_t$  и термических условий  $T_t$ .

В табл.2 представлены характеристики оптимальных условий среды ( $K_{op}$  и  $T_{op}$ ) и предельно возможных ее условий ( $K_{cr}$ ,  $T_{cr}$ ) для ассимиляционной деятельности отдельных экобиоформ растений и их биологические коэффициенты за вегетационный период. Они получены на базе материалов эмпирических наблюдений за пастбищной растительностью на пустынных стационарах. Из анализа таблицы видно, что наиболее приспособленные и, отсюда наиболее устойчивые к условиям внешней среды, крупные кустарники и полукустарники из ксерофитов и полукустарнички из галлофитов.

Для фитоценоза в целом продукция определяется путем суммирования величин продукции отдельных растений-эдификаторов, слагающих фитоценоз, по формуле

$$\sum B'_t = B_{t1} + B_{t2} + \dots + B_{tn}, \quad (11)$$

где  $1 \dots n$  - растения – эдификаторы.

Параметр модели  $B_{max}$  характеризует максимальную продуктивность фитоценозов и, как производная комплекса переменных среды, является достаточно изменчивой величиной. По Х.Г Тоомингу [49], в многовидовых естественных фитоценозах максимальная продуктивность приходится на относительно стабильные, т. н. климаксовые сообщества. Потребности растений в существующих условиях среды удовлетворены в этих сообществах в наибольшей степени. При расчетах продукции на уровне фитоценозов (растительных сообществ) величины  $B_{max}$  задаются из материалов полевых наблюдений в годы с агрометеорологическими условиями, максимально благоприятными для растений. В случае моделирования продукции на уровне крупных пастбищных выделов значительных по площади, как природные ландшафты, крупные фации ландшафтов, численные значения  $B_{max}$  можно получать в рамках мониторинга пастбищ на базе аэрокосмической и наземной информации.

В представленной версии модели не учитывается, или учитывается только косвенно, семенная продуктивность, всходы и молодой подрост, ввиду незначительной их роли в сложении продукции фитоценоза [8]. В модели не ведутся расчеты запасов мортмассы, которые в общей продукции пустынных экосистем составляют относительно малую величину на уровне до 7-9%, а также динамики гумуса в пустынных почвах по причине отсутствия условий для его накопления (без мелиоративного вмешательства).

Для обоснования теоретических предпосылок модели PASTURE, идентификации ее параметров и последующей апробации автором использовались

Таблица 2 – Биологические параметры модели PASTURE и критические значения эдафических факторов для фотосинтетической деятельности отдельных экобиоформ пустынной растительности.

Экобиоформы	Параметры	Месяцы вегетации								Условия среды						
		март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	$\Delta B > 0$		$\Delta B = 0$		$\Delta B < 0$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$T_{cr}$	$K_{cr}$	$T_{cr}$	$K_{cr}$	$T_{cr}$	$K_{cr}$	
		11	12	13	14	15	16									
<b>Травянистые и полутравянистые</b> Эфемеры и эфемероиды (мезофиты, омброфиты)	$R_m$	1.20	1.90	1.60	1.10	-	-	1.10	1.10	> 3-4	-	> 18	> 0.80	> 18	< 0.80	
		1.20	2.30	1.10	-	-	-	-	-	< 18	> 0.80	< 18	< 0.80	-	-	
		-	2.85	1.10	-	-	-	-	-	< 18	> 0.60	-	-	-	-	
	$CK/\Delta K$	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	1	1							
	$CT/\Delta T$	0.07	0.07	0.06	0.06	-	-	0.06	0.06							
	$T_{орь} \text{ } ^\circ C$	14	14-16	16	16	-	-	16	16							
	$K_{орь}$	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	0.80	0.80							
	$b$	1.0	1-0.70	0.35	0.35	0.50	0.0	1	1							
	Агропузон	$R_m$	0.70	0.70	0.90	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	> 3-4	-	> 22	> 0.40	> 22	< 0.40
		$CK/\Delta K$	1.0	1.0	1.0	1.25	1.25	1.25	1.05	1.0	< 22	> 0.40	-	-	-	-
(ксеромезофиты, Омброфиты)	$CT/\Delta T$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06							
	$T_{орь} \text{ } ^\circ C$	14	18	20	20	-	-	14	14							
	$K_{орь}$	-	1.0	1.0	0.80	0.60	-	0.60	0.60							
	$b$	1.0	1.0	1.0	0.80	0.80	0.80	1.0	1.0							
<b>Полукустарнички</b> Artemisia terrae-albae, A. turanica (мезофиты, Омброфиты)	$R_m$	0.65	0.65	0.72	0.65	0.65	0.65	0.73	0.65	> 4-5	-	-	-	-	-	
	$CK/\Delta K$	1	1	1.30	1.25	1.66	1.66	1.30	1.30	$\leq 24$	$\geq 0.35$	> 24	$\geq 0.35$	-	< 0.35	
	$CT/\Delta T$	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06							
	$T_{орь} \text{ } ^\circ C$	18	18	21	21	21	21	21	21							
	$K_{орь}$	1.0	1.0	0.80	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80							
	$b$	1.0	1.0	1.0	1.0	0.60	0.80	1.0	1.0							
	Kochia	$R_m$	-	0.37	0.63	0.80	0.53	0.40	0.40	0.40	> 5					
		$CK/\Delta K$	-	1.10	1.10	1.06	0.90	1.25	1.70	1.25	$\leq 25$	$\geq 0.15$	> 25	$\geq 0.15$	-	< 0.15
	(ксерофиты, трихогигрофиты)	$CT/\Delta T$	-	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05						
		$T_{орь} \text{ } ^\circ C$	-	19	19	21	23	23	23	23						
	$K_{орь}$	-	1.0	1.0	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65							
	$b$	-	1.0	1.0	1.0	0.85	0.85	1.0	1.0							

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Полукустарники и кустарники</b>														
Eurotia	$R_m$	-	0.38	0.80	0.73	0.53	0.53	0.53	0.53	> 5-7	-	-	-	-
	$CK/\Delta K$	-	-	-	-	-	-	-	-	< 27	-	> 27	-	> 27
(ксерофиты, трихогигрофиты)	$CT/\Delta T$	-	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05					
	$T_{opt}, ^\circ C$	-	19	21	23	23	23	21	21					
	$K_{opt}$	-	-	-	-	-	-	-	-					
	$b$	-	1.0	1.0	1.0	1.0	0.80	1.0	1.0					
Calligonum	$R_m$	-	0.50	1.28	0.92	0.83	0.83	0.57	-	> 10-12		> 25		> 25
	$CK/\Delta K$	-	-	-	-	-	-	-	-					<10-12
(эуксерофиты, трихогигрофиты)	$CT/\Delta T$	-	0.05	0.045	0.045	0.05	0.045	0.45	-					
	$T_{opt}, ^\circ C$	-	20	22	22	22	22	22	-					
	$K_{opt}$	-	-	-	-	-	-	-	-					
	$b$	-	1.0	1.0	1.0	0.70	0.76	1.0	0.58					
<b>Полудеревья</b>														
Haloxylon persicum	$R_m$	-	0.66	0.90	0.70	0.70	0.70	0.85	-					
H. aphyllum	$CK/\Delta K$	-	-	-	-	-	-	-	-	> 14	-	$\geq 27$	-	< 10-12
	$CT/\Delta T$	-	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	-					
(эуксерофиты, галлоксерофиты), фреатофиты)	$T_{opt}, ^\circ C$	-	20	20	25	25	25	20	-					
	$K_{opt}$	-	-	-	-	-	-	-	-					
	$b$	-	1.0	1.0	1.0	1.0	0.96	0.98	0.50					

опубликованные материалы многолетних полевых исследований пастбищной растительности в пустынях Казахстана, в основном за период с 1964 по 1980 годы. Они включают материалы фитоценологических исследований, полученные в рамках Международной биологической программы [8, 29, 30, 32, 50], а также результаты агрометеорологических наблюдений за пастбищной растительностью на стационарах, организованных отделом сельскохозяйственной метеорологии Казахского НИИ экологии и климата (бывший КазНИГМИ), с участием автора статьи, в песчаной пустыне Приаралья [51], глинистой и песчаной пустынях Бентпакдалы и Мобынқум [52], низкогорьях Улытау в полупустынной зоне [53]. При идентификации параметров модели использовались преимущественно результаты наблюдений за полночленными растительными сообществами в устойчивом их состоянии, которые были сформированы условиях слабого и умеренного выпаса животных.

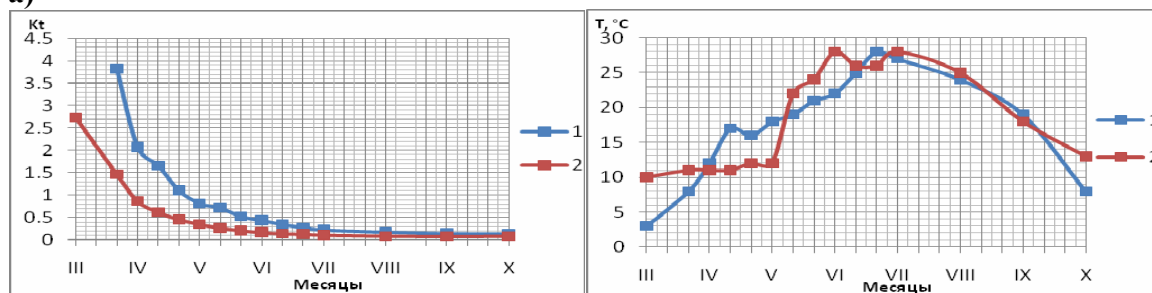
**Результаты моделирования.** Модифицированная модель PASTURE предусматривает расчеты биопродукции на уровне отдельных доминирующих в фитоценозе видов растительности, с учетом их индивидуальных биологических и биофизических особенностей, а также на уровне групп растительности со сходными биологическими признаками. Это позволяет в процессе мониторинга пастбищ обобщать и интерпретировать полученные результаты на различном уровне иерархических единиц (пастбищных, геоботанических, географических), использовать разномасштабные входные данные, а также картировать выходные результаты в различном масштабе на местности.

Отдельные результаты моделирования сезонной динамики накопления первичной продукции фотосинтеза для различных пастбищных экосистем показаны в статье на рис. 3 на примере 2007 и 2008 годов, характеризующихся различными агрометеорологическими условиями для роста растений. Экосистемы, выделены на ландшафтно- геоботанической карте Южного Прибалхашья масштаба 1 000 000 и представляют в основном пастбища в пределах территории Айдарлинского сельского округа Жамбылского района Алматинской области. Из них экосистема, представленная на карте под номером 143, характеризуется разнотравно-кустарниковой растительностью с участием эфемеров, которая сформирована на песчаных почвах и песках южной окраины песчаного массива Тауқум, под влиянием выпаса скота в осеннее- зимнее- весенний период года. Экосистема, выделенная под номером 78 на карте, представлена эфемерово-полынной растительностью, сформированной на глинистых и суглинистых сероземных почвах, местами защелбненных, на предгорной равнине, примыкающей к Шу- Илийскому низкогорному массиву. Выпас скота на пастбищах проводится в весеннее-летне-осенний периоды года. Под влиянием усиленной нагрузки скота на протяжении многолетнего периода эти растительные группировки можно рассматривать как длительно-существующие модификации, представленные, наряду с коренными кормовыми растениями, также сорными и непоедаемыми видами типа *Ammodendron argenteum*, *Artemisia scoraria* на песчаных почвах, *Reganum harmala* и другие на глинистых почвах.

В процессе расчетов использовались результаты стандартных наблюдений пустынной метеорологической станции Айдарлы, расположенной в радиусе наблюдений до 18 км. Значения параметра модели *V<sub>max</sub>* для исследуемых экосистем оценивались заранее на базе материалов космических съемок. Расчеты продукции выполнялись при фиксированном значении параметра концентрации углекислого газа в атмосфере *C<sub>o</sub>*, который приравнялся единице.

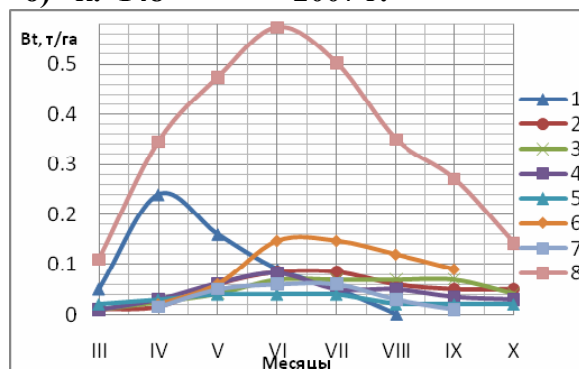
Результаты моделирования продукции на участках пастбищ, значительных по площади, можно оценить путем прямого сопоставления их с данными полевых наблюдений за годичным приростом биомассы на уровне мелких делянок и модельных

а)

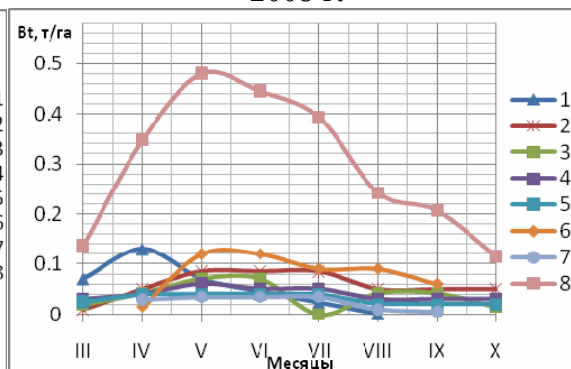


б) к. 148

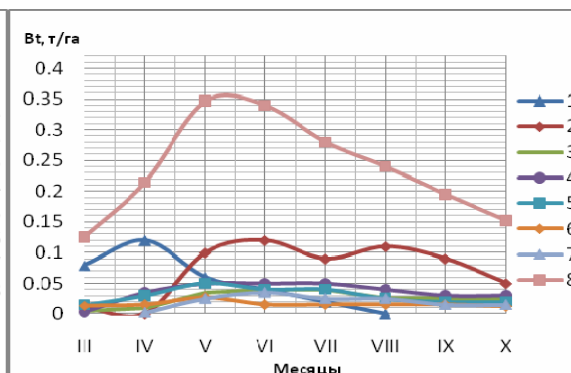
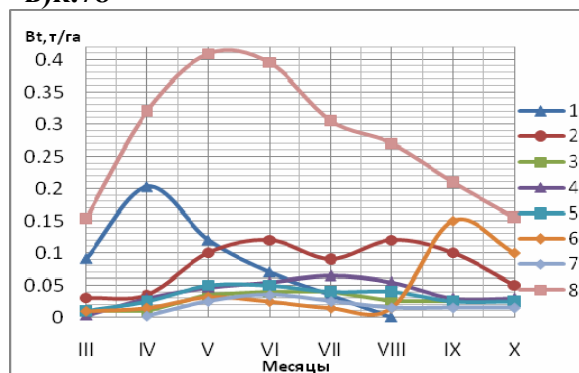
2007 г.



2008 г.



в) к.78



- а) 1- показатель увлажнения (Kt) и температура воздуха (Tt) за 2007 год;  
 2- показатель увлажнения (Kt) и температура воздуха (Tt) за 2008 год;  
 б) 1- Ephemeral group; 2- Eurotia ceratoides; 3- Kochia prostrate; 4- Artemisia terrae- albae;  
 5- Artemisia turanica ; 6- Summer group ; 7- Peganum garmala; 8- Итого биомассы.  
 в) 1- Ephemeral group; 2- Calligonum aphillum; 3- Ammodendron argentium; 4- Eurotia ceratoides; 5- Artemisia terrae- albae; 6- Agropyrom fragile; 7- Artemisia scoparia; 8- Итого биомассы.

Рис.3 - Динамика продукции (надземная часть биомассы) на предгорной равнине с эфемерово- полынной растительностью на сероземных почвах (к. 148) и песках Таукум с разнотравно- кустарниковой растительностью на песчаных почвах (к.78), смоделированная в агрометеорологических условиях 2007 (влажного) и 2008 (сухого) года.

кустов [54]. Аналогичные наблюдения выполнялись в Южном Прибалхашье в рамках проекта К-1396р в 2006- 2008 гг., на экспериментальных участках пастбищ размером 1000м \* 500 м на местности. Разница в продукции, полученной в процессе моделирования и в результате

полевых наблюдений, составила величину в пределах 42 -84 кг сухого вещества, в расчете на гектар или 17 -32 %. При оценке продукции двумя независимыми методами, полученную разницу можно считать приемлемой, если учесть то обстоятельство, что точность определения биомассы в полевых условиях обычно составляет не выше 25- 30 % [8].

Рассчитываемые на базе модели PASTURE сезонные величины продукции (годовой прирост) являются исходными базовыми данными для получения ряда мониторинговых показателей состояния пастбищных экосистем для их экологической и экономической оценки. Они включают: сезонные кормовые запасы, экологическую емкость пастбищ, общую биопroduкцию, которая накапливается ежегодно в наземной и подземной сферах, а также энергоемкость и углеродоемкость пастбищных экосистем. Модель получила практическую реализацию в алгоритме экологического мониторинга пустынных пастбищ, предназначенного для регулярной оценки растительного покрова на больших площадях на базе аэрокосмической и наземной информации в условиях современного климата Казахстана и с учетом его перспективных изменений.

### Список литературы

1. Федосеев А.П. Климат и пастбищные травы Казахстана. - Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 316 с.
2. Грингоф И. Г. Пастбищные растения Кызылкума и погода // Труды САРНИГМИ. - 1964. - Вып.34 (49). – С.138.
3. Коробова Е. Н., Бедарев С. А. Агрометеорологическое обоснование хозяйственного использования пастбищ пустынной зоны Казахстана // Труды КазНИГМИ. -1981.- Вып.54. - С.45-55.
4. Лебедь Л. В. Пойменные луга и хозяйственно- гидрометеорологическая оценка их продуктивности // Труды КазНИГМИ. – 1980. - Вып. 70. - С.45-50.
5. Бабушкин О. Л., Сумочкина Т.Е., Ситникова М. В. Комплексная оценка каракулеводческих пастбищ Узбекистана // Под редакцией А. Абдуллаева.- Ташкент, 2007. - 153 с.
6. Быков Б. А. Динамика экосистем // Продуктивность растительности аридной зоны Азии (Итоги советских исследований по международной биологической программе 1965- 1974 гг.).-Л.:Наука, 1977. – 36 с.
7. Полевой А. Н., Грингоф И. Г. Основные принципы динамического моделирования продуктивности пустынных пастбищ // Проблемы освоения пустынь.- 1990. - № 1. -С.28-34.
8. Кирста Ю. В. Моделирование пустынных экосистем. –Ашхабад: Ылым, 1986. – 129 с.
9. Ross W. J., Sciles J.W. (Eds). 1987. SPUR: Simulation of utilization and production of rangelands Documentation and user guide :U.S.Department of Agriculture. Agriculture Research Service.- 367 p.
10. Parton W.J., Mc Keown B., Kirshner Vand Ojima D. 1992. CENTURY users manual. Fort Collins, CO: NREL Publ. Colorado State University.- 313 p.
11. Гильманов Т. Экология пастбищ Центральной Азии и моделирование их первичной продуктивности // Центральная Азия, Оценка состояния животноводства в регионе. – Ташкент, 1996. - С.150-182.
12. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах.- Л.: Наука, 1968. – 20 с.
13. Родин Л. Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара.– Л.: Наука, 1965 -350 с.
14. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. - М.: Наука, 1986. - 296с.
15. Тытянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. - Сибирское отделение наук. Изд-во Наука, 1977. - 204с.
16. Лебедь Л.В., Беленкова З.С. Основы нестационарной модели сезонной урожайности природных пастбищ // КазНИГМИ, Алматы.- 1995г, КазГосИНТИ 5.03.95, № 5892-К-95.- 74 с.
17. Быков Б. А. Растительность пустынных экосистем, структура и основные тенденции ее развития // Экологическое управление и продуктивность пастбищ .Часть.2. - М.: Наука, 1981. – С. 81-100 .
18. Курочкина Л. Я. Псаммофильная растительность пустынь Казахстана .Часть 2.-Алма-Ата: Наука, 1978. - 253 с.
19. Быков Б.А. Вводный очерк флоры и растительности Казахстана // Растительный покров Казахстана. Т. 1- Алма-Ата : Наука , 1966. – С. 1-36.
20. Лебедев С. И. Физиология растений . Из-во «Колос», 1982. - 447 с.
21. Гудриан Дж. Процессы определяющие потенциальную продуктивность // Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. - Л.: 1986. - С.114-127.
22. Пьянков В.И., Вахрушева Д.В., Бурундукова О.Л. Типы фотосинтеза растений Центральных Куракумов и их экологическое значение // Проблемы освоения пустынь. - 1986. - №2 - С. 45-54.
23. Атаханов Б.О., Биль К.Я. Сравнительная оценка распространения С3 и С4 видов в разрезе сезонов вегетации флоры пустыни Каракумы// Проблемы освоения пустынь. - 1990. - №5. - С. 35-42.
24. Бедарев С.А. Транспирация и расход воды растительностью аридной зоны Казахстана. Часть 1.- Л: Гидрометеиздат, 1968. - 264 с.
25. Сукачев В.Н.Основные понятия в лесной биоценологии // Основы лесной биоценологии. – М.: Наука, 1957. - С.3-12.
26. Курочкина Л.Я. Растительность песчаных пустынь Казахстана // Растительный покров Казахстана.- Алма- Ата: Наука, 1966. – С.191-282.

27. Быков Б.А., Кириченко Н.Г. Сообщества глинистых и солончаковых пустынь // Структура и продуктивность растительности пустынной зоны Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1978. - С. 8-20.
28. Анапиев И.М., Курочкина Л.Я., Османова Л.Т. Сравнение структуры песчаных сообществ // Структура и продуктивность растительности пустынной зоны Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1978. - С.53-55.
29. Кириченко Н.Г. Динамика продуктивности полных и биоргуновых пастбищ // Биоэкологические основы использования и улучшения пастбищ Северного Приаралья. - Алма-Ата: Наука, 1968. - С.96-109.
30. Пастбища и сенокосы Казахстана // Под редакцией Б. А. Быкова, О. М. Деминой, Курочкиной Л. Я. - Алма-Ата: Наука, 1970. - 233 с.
31. Шабанова Л. В., Беденко В. П. Экосистемные процессы. Фотосинтез, дыхание // Продуктивность растительности аридной зоны Азии. Итоги советских исследований по международной биологической программе, 1965-1974. - Л.: Наука, 1974. -С. 18-20.
32. Шабанова Л. В. Фотосинтез пустынных растений Северного Приаралья // Структура и продуктивность растительности пустынной зоны Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1978. -С.53-58.
33. Шабанова Л. В. Ассимиляционная деятельность при антропогенных сменах на пастбищах // Смены пустынной и субальпийской растительности. - Алма-Ата: Наука, 1982. - С.63-73.
34. Пеннинг де Фриз Ф.В.Т. Системный анализ и модели роста сельскохозяйственных культур // Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. - Л., 1986.-С.18-31.
35. Ляпунов А. А., Тютлянова А. А. Структура возможных моделей биогеоценозов сухих степей // Ботанический журнал. -1974.-Т.59, №8. - С. 71-80.
36. Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов. - М.: 1987.-С.5-27.
37. Реймерс Н. Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. - 636 с.
38. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии // Под ред. И.Г. Грингофа и др. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. - 470 с.
39. Вознесенский В.Л. Кондуктометрический прибор для измерения фотосинтеза и дыхания растений в полевых условиях. -Л., 1971.- 29 с.
40. Вознесенский В. Л. Фотосинтез пустынных растений. - Л.: Наука, 1977. - 208 с.
41. Быков О. Д. Бескамерный способ изучения фотосинтеза (методические указания) - Л., 1974.- 34с.
42. Гуляев Б. И. и Оканенко А. С. Фотосинтез и потенциальная продуктивность растений с С3 и С4 путями фиксации СО2 в различных климатических условиях. // С-х. биол. - 1974. - № 5. - С.402-411.
43. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.-Л.: Гидрометеиздат, 1968.-232 с.
44. Беденко В. П. Фотосинтез и продуктивность пшеницы на юго- востоке Казахстане.-Алматы: Наука, 202 с.
45. Феррари Т. Дж. Введение в динамическое моделирование // Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур.- Л., 1986. - С. 46-59.
46. Франс Дж., Торнли Дж. Математические модели в сельском хозяйстве. Москва: Агропромиздат, 1987. - 400 с.
47. Белобородова Г. Г., Герасименко Г. Д. Об эффективности использования летних осадков пастбищной растительностью пустынных и полупустынных районов Казахстана // Труды КазНИГМИ. - 1965. - Вып.24. - С. 12-19.
48. Федосеев А.П., Белобородова Г.Г. Расчет запасов доступной влаги в почве на пастбищах Казахстана//Труды КазНИГМИ. - 1965. - Вып.24. - С. 21-38
49. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 263с.
50. Кириченко Н. Г. Пастбища пустынь Казахстана (глинистые пустыни). - Алма-Ата, 1980. - 268 с.
51. Бедарев С.А., Коробова Е. Н., Герасименко Г.Д. Агрометеорологические и эколого- геоботанические исследования в песках Малые Барсуки // Биоэкологические основы использования и улучшения пастбищ Северного Приаралья. - Наука, 1968. - С.110-126.
52. Погода и урожай сенокосов и пастбищ Муюнкумско- Бетпакалинского природного комплекса // Под ред С. А. Бедарева, Е.Н. Коробовой. - М.: Гидрометеиздат, 1978. - 158 с.
53. Погода и урожай сенокосов и пастбищ полупустынной зоны Казахстана // Под ред. Бедарева С.А., Коробовой Е. Н. - М.: Гидрометеиздат, 1981. -109 с.
54. Инструкция по производству агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 211 с.

**Моделивання продуктивності біогеоценозів Туранських пустель (в межах Казахстану).** Лебідь Л. В. Запропоновано модель PASTURE для дослідження коливань продуктивності пустельних біоценозів. Модель являється складовою частиною сучасного екологічного моніторингу пасовищ на базі аерокосмічної та наземної інформації. **Ключові слова:** природні пасовища, біогеоценоз, екосистемний аналіз, агрометеорологічна модель росту, фотосинтез, продукція.

**The simulation of the productivity of the biogeocenosis of Turanian deserts (in the limits of Kazakhstan).** L. Liebid.

*It is examined model PASTURE for describing the dynamics of the productivity of desert biocenoses. Model is a component of the technology of the contemporary ecological monitoring of pastures on the base of aerospace and ground-based information. **Keywords:** desert biocenosis, systems analysis, agrometeorological model, photosynthetic activity, primary production, the identification of the parameters, ecological monitoring.*