

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 502.52 + 556.043 + 556.047 + 581.6:330.15

Г. Ю. ТРОФИМОВА

Институт водных проблем РАН, г. Москва

ДИНАМИКА ФЛОРЫ ДЕЛЬТЫ АМУДАРЬИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Представлена динамика структурных элементов видового богатства растений дельты Амударьи по временным периодам, соответствующим различным средним значениям речного стока за 1944–1989 гг. Получены структурные инварианты видового богатства на примере обобщенных групп жизненных форм. Приведены механизмы, обеспечивающие устойчивое функционирование экосистемы дельты Амударьи.

Ключевые слова: речной сток, видовое богатство, обобщенные группы жизненных форм, структурные инварианты видового богатства, самоподобие.

The dynamics of structural elements of plant species richness of the Amu-Darya delta is presented for the periods of time corresponding to different mean values of the river runoff for 1944–1989. Structural invariants of species richness have been obtained by considering an example of generalized groups of life-forms. Presented are the mechanisms that are responsible for a sustainable functioning of the ecosystem of the Amu-Darya ecosystem.

Keywords: river runoff, species richness, generalized groups of life-forms, structural invariants of species richness, self-similarity.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Амударья — одна из самых полноводных рек Центральной Азии. Ресурсы поверхностных вод ее бассейна составляют 76 км³/год [1]. На протяжении многих веков они использовались в хозяйственных целях. Однако с середины 1950-х гг. в бассейне реки началось масштабное преобразование природной среды. Быстрый рост безвозвратных изъятий речного стока и его регулирование с помощью водохранилищ и гидроузлов привели к резкому сокращению поступления стока в низовья Амударьи. В период с 1932 по 1960 г. сток в створе у кишлака Саманбай (Чатлы), расположенного в вершине дельты, составлял в среднем 61 % от притока из зоны формирования, а в 1961–1988 гг. — всего лишь 28 % [1]. В результате с 1980-х гг. в Южном Приаралье разразился экологический кризис. Биологическая продуктивность водных и наземных экосистем региона была подорвана, деградировали почвы, флора и фауна. Опустынивание охватило территорию дельты Амударьи, в экосистеме которой произошли нарушения ее структуры и функционирования [2].

Исследователям природных систем представилась уникальная возможность изучить механизмы формирования структуры экосистемы дельты Амударьи в условиях изменяющегося гидрологического режима за сравнительно небольшой промежуток времени (с 1944 по 1989 г.). Наши исследования также находятся в рамках этой проблемы.

Ранее для экосистемы дельты Амударьи установлена степенная зависимость с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 = 0,9999$) между видовым богатством растений экосистемы и средними значениями речного стока по выделенным временным периодам [3]. Аналогичные степенные зависимости получены для видового богатства среди галофитов и кормовых растений дельты [4]. Продолжением этих исследований стало изучение динамики структурных элементов видового богатства растений в условиях изменяющегося гидрологического режима реки. Выявленные структурные закономерности свидетельствуют об удивительной универсальности природных систем [5–12].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Речной сток Амударьи в дельте с 1944 по 1989 г. включительно представлял основную составляющую водного фактора, определявшего обводненность дельты и уровень залегания грунтовых вод [4, 13]. Вклад атмосферных осадков в формирование ресурсов поверхностных вод дельты в этот период был крайне незначителен, а испаряемость с открытых водных поверхностей дельты, тростниковых зарослей и орошаемых земель — высокая [14]. До 1960 г. в изменениях годового стока в районе дельты однонаправленного тренда не выявлено. С 1960-х гг. до середины 1980-х гг. в динамике годового стока зафиксирован отрицательный тренд, а 1980-е гг. (за исключением 1988 г.) стали годами минимального притока речной воды в дельту через створ Саманбай. На основе анализа гидрологических данных по створам дельты Амударьи нами выявлена и охарактеризована [4, 15] последовательность временных периодов с различными средними значениями речного стока, а именно: 1944–1960, 1961–1970, 1971–1977, 1978–1981, 1982–1989 гг.

Каждый выделенный период рассмотрен как зона нормальной жизнедеятельности (зона оптимума) для некоторого конечного набора видов растений из всего множества видов, зафиксированных многочисленными исследователями растительного покрова в дельте Амударьи в 1944–1989 гг. Поэтому наряду с последовательностью временных периодов нами использована также последовательность однотипных экосистем дельты, различающихся по количеству водных масс, поступавших в дельту через створ Саманбай.

Флористический состав дельты Амударьи, зафиксированный в базе данных о природной среде Южного Приаралья [16] с 1947 по 1989 г., содержит 265 видов. Из них наиболее часто встречаемые — тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) — 47,2 %; прибрежница солончаковая (*Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl.) — 38,4 %; гребенщик многоветвистый (*Tamarix ramosissima* Lebed.) — 36,4 %; верблюжья колючка обыкновенная (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Fisch.) — 35,4 %.

Представленность видового состава растений дельты по жизненным формам определялась в соответствии с упрощенной системой жизненных форм [17–19], которая наиболее часто используется при анализе растительного покрова Каракалпакии и низовьев Амударьи. Среди жизненных форм выделены: деревья, кустарники, кустарнички, полукустарники, полукустарнички, травы многолетние, одно- и двулетние.

В качестве структурных элементов видового богатства растений экосистемы введены обобщенные группы жизненных форм как наиболее информативные: T — группа древесных видов растений (деревья + кустарники + кустарнички); T_h — группа полудревесных видов растений (полукустарники + полукустарнички); TS — группа древесно-кустарниковых видов ($T + T_h$); H_o — группа одно- и двулетних видов трав; H_m — группа многолетних видов трав; H — группа травянистых видов растений ($H_o + H_m$). По выделенным временным периодам определено видовое богатство по всем группам структурных элементов. Обозначим через $T\%$ долю древесных видов от общего числа видов в периоде. Аналогично введем $T_h\%$, $TS\%$, $H_o\%$, $H_m\%$ и $H\%$. На рис. 1 представлена динамика древесных (T), полудревесных (T_h) видов растений в зависимости от средних значений речного стока по периодам, од-

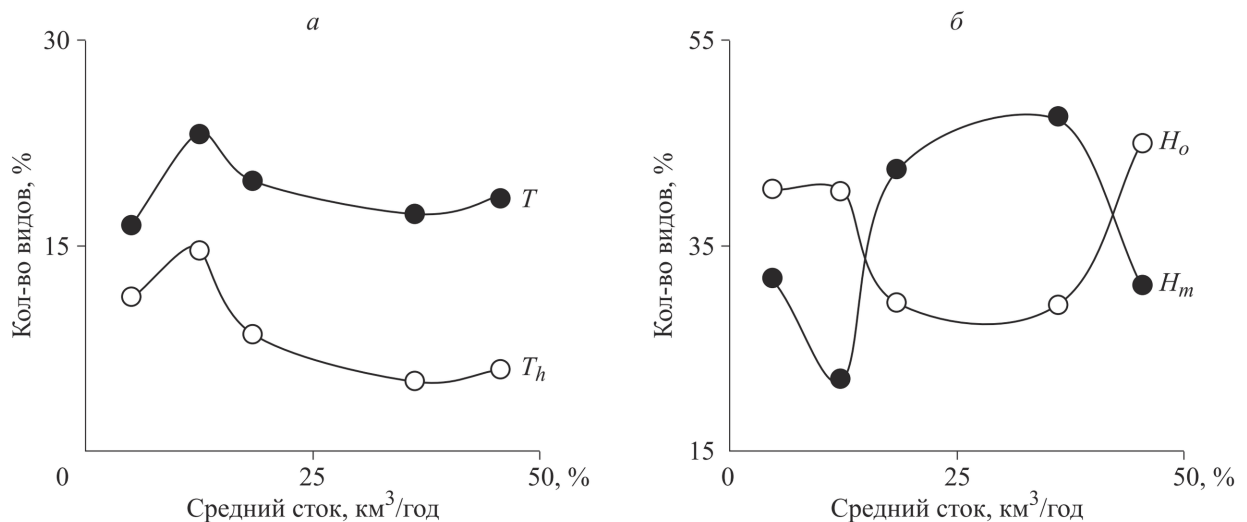


Рис. 1. Зависимость видового богатства обобщенных групп жизненных форм от средних значений речного стока по выделенным временным периодам с 1944 по 1989 г.

Формы растений: а — древесные (T) и полудревесные (T_h); б — многолетние (H_m), одно- и двулетние (H_o) травы.

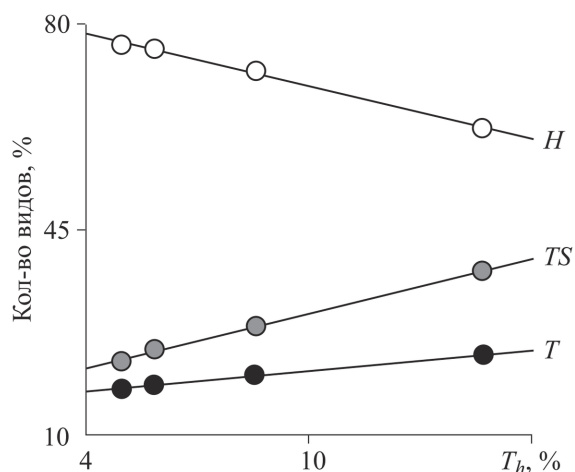


Рис. 2. Зависимость видового богатства обобщенных групп жизненных форм от видового богатства группы полудревесных видов растений (T_h) по данным 1944–1989 гг.

Формы растений: T — древесные, TS — древесно-кустарниковые, H — травянистые.

но- и двулетних видов трав (H_o), а также многолетних их видов (H_m). Самой малочисленной из рассматриваемых обобщенных групп жизненных форм является группа полудревесных видов растений (T_h). Представленность этой группы видов в структуре видового богатства по временным периодам составляет: 1947–1960 гг. — 5,9 %; 1961–1970 гг. — 5; 1971–1977 гг. — 8,6; 1978–1981 гг. — 14,7; 1982–1989 гг. — 11,4 %.

На основе данных за 1944–1981 гг. построены графики функций $T\% = T\%(T_h\%)$, $TS\% = TS\%(T_h\%)$, $H\% = H\%(T_h\%)$ для $T_h \in [4, 16]$ и аппроксимированы с помощью линейных трендов (рис. 2). В результате получены линейные уравнения регрессии:

$$H\% = -1,4887T_h\% + 84,153 \quad R^2 = 0,9974; \quad (1)$$

$$TS\% = 1,5768T_h\% + 14,768 \quad R^2 = 0,9991; \quad (2)$$

$$T\% = 0,5768T_h\% + 14,768 \quad R^2 = 0,9936, \quad (3)$$

где R^2 — величина достоверности аппроксимации.

Высокая достоверность аппроксимации предполагает наличие тесной взаимосвязи между долями обобщенных групп жизненных форм. По данным за 1944–1981 гг. эта взаимосвязь имеет вид:

$$\frac{H\%}{TS\%} = \frac{T\%}{T_h\%}. \quad (4)$$

Из соотношения (4) следует:

$$TS\% = 10 \cdot \sqrt{T_h\%}. \quad (5)$$

Легко находятся соотношения для $T\%$ и $H\%$:

$$T\% = -T_h\% + 10 \cdot \sqrt{T_h\%}, \quad (6)$$

$$H\% = 10 \cdot (10 - \sqrt{T_h\%}). \quad (7)$$

Уравнения (1)–(3) являются линейными аппроксимациями уравнений (5)–(7) для $T_h\% \in [4, 16]$.

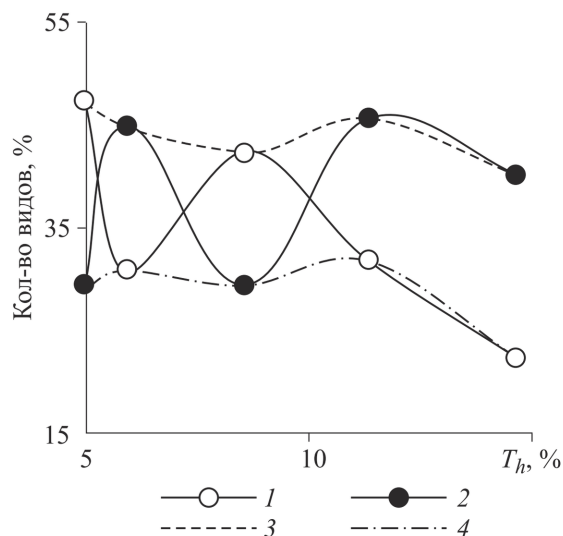
Упростим соотношение (4) до соотношения (8), определяющего связь между количеством видов в указанных обобщенных группах жизненных форм:

$$\frac{H}{TS} = \frac{T}{T_h}. \quad (8)$$

На основе данных за 1944–1989 гг. построены графики функций $H\% = H_o\%(T_h\%)$, $H_m\% = H_m\%(T_h\%)$, а также функция $\min(H_o\%, H_m\%)$ и функция $\max(H_o\%, H_m\%)$ для $T_h\% \in [4, 16]$ (рис. 3).

Рис. 3. Зависимость видового богатства обобщенных групп трав (одно-, двулетних и многолетних) от видового богатства группы полудревесных видов растений (T_h) по данным 1944–1981 гг.

1 — многолетние виды трав ($H_m\%$); 2 — одно- и двулетние виды трав ($H_o\%$); 3 — максимальные значения по периодам среди $H_o\%$ и $H_m\%$; 4 — минимальные значения по периодам среди $H_o\%$ и $H_m\%$.



На основе анализа графиков зависимостей структурных элементов видового богатства трав от видового богатства группы полудревесных видов взаимосвязь между $H_o\%$ и $H_m\%$ в структуре видового богатства трав дельты была обозначена следующими соотношениями:

$$\min(H_m\%, H_o\%) \approx 0,4 \cdot (H_m\% + H_o\%), \quad (9)$$

$$\max(H_m\%, H_o\%) \approx 0,6 \cdot (H_m\% + H_o\%). \quad (10)$$

Отсюда легко получить соотношение

$$\frac{\min(H_m\%, H_o\%)}{\max(H_m\%, H_o\%)} \approx \frac{2}{3}. \quad (11)$$

Соотношения (9)–(11) можно упростить:

$$\min(H_m, H_o) \approx 0,4 \cdot (H_m + H_o), \quad (12)$$

$$\max(H_m, H_o) \approx 0,6 \cdot (H_m + H_o), \quad (13)$$

$$\frac{\min(H_m, H_o)}{\max(H_m, H_o)} \approx \frac{2}{3}. \quad (14)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Связь между элементами видового богатства растений дельты Амударьи описана соотношением (8), которое не зависит от количества видов в экосистеме дельты и тем более от численности каждого вида. Оно является структурным инвариантом последовательности однотипных экосистем дельты, различающихся по величине речного стока, поступавшего в нее через створ Саманбай с 1944 по 1981 г. Видовое богатство растений экосистемы дельты Амударьи как возрастало (1961–1970 гг.), так и убывало (1971–1977, 1978–1981 гг.) по отношению к аналогичному показателю условно-естественного периода (до 1960 г.).

Всплеск видового богатства растений в 1961–1970 гг. обусловлен стрессующим воздействием на экосистему, выразившимся в снижении средней величины речного стока за этот период на 20 % [4, 13]. При этом отмечена стабильность поступления водных масс в дельту. Стремительное сокращение видового богатства растений дельты Амударьи в 1971–1977 и 1978–1981 гг. обусловлено резким снижением величины речного стока, поступавшего в дельту.

В 1982–1989 гг. соотношение (8) перестало выполняться. Этот период характеризуется минимальным притоком речных вод в дельту, который составил в среднем всего 5 км³/год, а также минимальным значением видового богатства всех рассматриваемых периодов. Именно в эти годы были предприняты попытки искусственного обводнения дельты за счет задержания в ней не только речного стока, но и коллекторно-дренажных вод. Однако роль искусственного обводнения свелась лишь к поддержанию продуктивности имеющихся сообществ и к существенному увеличению доли трав в видовом богатстве растений дельты при ожидаемом его уменьшении.

Связь между элементами видового богатства травянистых растений дельты Амударьи описана соотношениями (12)–(14). Соотношение (14) не зависит от количества видов трав в экосистеме дельты по выделенным временным периодам и тем более от численности каждого вида, поэтому его можно считать структурным инвариантом последовательности однотипных экосистем дельты, различающихся по величине речного стока, поступавшего в нее через створ Саманбай с 1944 по 1989 г.

Из соотношений (12)–(13) следует, что группа многолетних и группа одно- и двулетних видов трав в разные периоды сменяют друг друга в качестве доминирующей составляющей в структуре видового богатства трав экосистемы дельты (см. рис. 3). Отношение H_m к H_o составляет в среднем либо 2/3, либо 3/2. Действительно, при значениях среднего стока в интервале от 15 до 42 км³/год в структуре видового богатства трав экосистемы доминировала группа H_m , а при значениях среднего стока больше 42 км³/год или меньше 15 км³/год — группа H_o (см. рис. 1, б). Полученные данные позволяют дополнить наши представления о взаимозамещении видов при изменении условий внешней среды [2, 20] взаимозамещением обобщенных групп жизненных форм в структуре видового богатства трав экосистемы дельты.

Взаимозамещение видов характеризуется поочередным выдвиганием сообществом разных, наиболее подходящих моменту, видов-функционеров для осуществления ими определенной биогеоэкологической роли [2]. Взаимозамещение обобщенных групп жизненных форм характеризуется доминированием либо обобщенной группы многолетних видов трав, либо обобщенной группы одно- и

двулетних трав в структуре видового богатства экосистемы в разные временные периоды, соответствующие различным средним значениям речного стока, поступавшего в дельту. Взаимозамена обобщенной группы-доминанта в структуре видового богатства трав происходила дважды — в 1961–1970 и в 1978–1981 гг. Доминирующей группой в 1961–1970 гг. стала группа многолетних видов трав, а в 1978–1981 гг. — группа одно- и двулетних их видов (см. рис. 1, б).

Несмотря на взаимозамену обобщенных групп жизненных форм в структуре видового богатства трав и значительные колебания показателя видового богатства экосистемы на протяжении 1961–1989 гг. относительно аналогичного показателя условно-естественного периода, доля их суммы ($H_m + H_o$) в видовом богатстве растений дельты колебалась от 72 до 77 %, за исключением периода 1978–1981 гг., когда она была чрезвычайно низкой. Причины столь низкой доли травянистых видов требуют рассмотрения вопроса об устойчивости экосистемы и в данной статье не анализируются. Тем не менее это означает, что группа одно- и двулетних видов трав и группа многолетних видов трав выступают как экологическая сумма [2] обобщенных групп жизненных форм, причем каждому состоянию среды соответствует своя группа-доминант.

Таким образом, наряду с взаимной дополняемостью видов в фитоценозах на основе дифференциации экологических ниш [20] выявлена взаимная дополняемость обобщенных групп жизненных форм в экосистеме дельты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования динамики структурных элементов видового богатства растений в условиях изменяющегося гидрологического режима для последовательности однотипных экосистем дельты, различающихся по величине речного стока, получены инварианты видового богатства (8) и (14), демонстрирующие свойство самоподобия, характерное для динамических систем [5–7, 11], и выявлены механизмы, обеспечивающие устойчивое функционирование экосистемы дельты.

Взаимная заменяемость обобщенных групп жизненных форм в структуре видового богатства экосистемы по выделенным временным периодам подтверждена соотношениями (12) и (13). Благодаря таким сменам обеспечивается сохранение структуры видового богатства трав в условиях изменяющегося гидрологического режима реки, и в конечном итоге обеспечивается устойчивое функционирование всей экосистемы дельты.

Взаимная дополняемость обобщенных групп жизненных форм подтверждена суммарной представленностью доли травянистых видов ($H_m + H_o$) в структуре видового богатства экосистемы дельты, которая составляет в среднем по выделенным временным периодам 75 % и выступает как *экологическая сумма обобщенных групп жизненных форм*. Адаптационный спектр (к среде обитания) экологической суммы обобщенных групп жизненных форм существенно превышает диапазон экологической лабильности каждой группы в отдельности и таким образом обеспечивает устойчивое функционирование экосистемы дельты Амударьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георгиевский В. Ю., Владимирова Т. И. Ресурсы поверхностных вод бассейна Амударьи и их изменения // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. — СПб: Гидрометеиздат, 1991. — С. 52–58.
2. Залетаев В. С. Структурная организация экотонных в контексте управления // Экотон в биосфере. — М.: РАСХН, 1997. — С. 11–29.
3. Трофимова Г. Ю. Динамика видового богатства растений дельты Амударьи под влиянием водного фактора (1944–1989 гг.) // Материалы III всерос. науч. конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия». — Йошкар-Ола, Пушкино, 2008. — С. 292–293.
4. Трофимова Г. Ю. Влияние речного стока Амударьи на количество кормовых видов в ее дельте // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 1. — С. 169–174.
5. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. — М.: Прогресс, 1986. — 432 с.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М.: Прогресс, 1994. — 272 с.
7. Коваленко В. В. Частично инфинитный механизм турбулизации природных и социальных процессов. — СПб: РГМУ, 2006. — 166 с.
8. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 320 с.
9. MacArthur H. H., Wilson E. O. The Theory of Island Biogeography. — Princeton (N. J.): Princeton Univ. Press, 1967. — 200 p.
10. Маргалев Р. Облик биосферы. — М.: Наука, 1992. — 214 с.
11. Иудин Д. И., Гелашвили Д. Б., Розенберг Г. С. Мультифрактальный анализ видовой структуры биотических сообществ // Докл. РАН. — 2003. — Т. 389, № 2. — С. 279–282.
12. Brose U., Ostling A., Harrison K. et al. Unified spatial scaling of species and their trophic interactions // Nature. — 2004. — Vol. 428. — P. 167–171.

13. Трофимова Г. Ю. Анализ изменений в видовом богатстве растений дельты Амударьи в связи с изменением ее гидрорежима (1944–1989 гг.) // Антропогенная динамика природной среды. — Пермь: Изд-во Богатырев, 2006. — Т. 1. — С. 325–329.
14. Цыценко К. В. Изменение стока в дельтах рек аридных областей // Гидрол. и метеорол. — 1999. — № 12. — С. 94–101.
15. Трофимова Г. Ю. Изменение гидрохимического режима Амударьи в ее дельтовой части за последние 50 лет // Эколого-географические исследования в речных бассейнах. — Воронеж: Изд-во Воронеж. пед. ун-та, 2004. — С. 166–169.
16. Трофимова Г. Ю. Эколого-географическая база данных Южного Приаралья. — М.: РАСХН, 2003. — 60 с.
17. Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. — М.; Л.: Наука, 1964. — С. 146–205.
18. Никитин С. А. Древесная и кустарниковая растительность пустынь СССР. — М.: Наука, 1966. — 255 с.
19. Нечаева Н. Т., Василевская В. К., Антонова К. Г. Жизненные формы растений пустыни Каракумы. — М.: Наука, 1973. — 244 с.
20. Шамсутдинов З. Ш. Адаптивный подход к созданию экотонных пастбищных экосистем в аридных зонах Центральной Азии // Экотон в биосфере. — М.: Изд-во РАСХН, 1997. — С. 59–75.

Поступила в редакцию 15 августа 2008 г.
