

УДК 504.4.062.2(574)

## ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ИЗ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Канд. геогр. наук М. Ж. Бурлибасв

*Рассматриваются различные варианты устойчивости речной экосистемы за многолетний период на примере отдельных биокomпонентов речного комплекса. Результаты могут быть использованы при обосновании экологического стока рек как наиболее отвечающие оптимальным критериям благополучного развития речной экосистемы.*

Как ранее нами подчеркивалось [4,5,6,7], в современных условиях нет единой, общепризнанной системы критериев во взаимосвязи с совокупностью правил водоохранных мероприятий, относительно которых можно было бы определять устойчивость речных экосистем ко внешним возмущающим факторам, и разработка ее представляется проблематичной. Например, нет единства мнений относительно экологических критериев оценки благополучия речных экосистем. В качестве основных показателей благополучия различные авторы предлагают такие признаки, как целостность, стабильность, надежность, буферность, аномальность, управляемость, бонитетность по народно-хозяйственной значимости и т. д.

Очевидно, что при столь широком разнообразии мнений по предлагаемому критерию, возникает, как сам собой разумеющийся, вопрос об целесообразности их объединения в единую систему для разработки комплексной оценки по приоритетности. На наш взгляд, первоочередного рассмотрения и обоснования требуют критерии устойчивости речных экосистем по отношению к возмущающим воз-

действиям, т.е. в данном случае гидрологическому режиму как интегральному показателю, отвечающему всем требованиям нормального развития речного комплекса. При этом допускается, что эти требования предъявляемые к уровенному, температурному и гидрохимическому режимам, стоку наносов замыкаются на водности реки, наблюдаемой при естественном гидрологическом режиме, и на их изменения речная экосистема реагирует динамичностью развития через биопродуктивность травостоя и соленакопление почв пойменных лугов. Поэтому нас прежде всего интересует сток весеннего половодья и паводков и его взаимодействие с речной экосистемой, ибо ее благополучие на год определяется объемами этого показателя и длительностью затопления пойменных лугов, тогда как в остальное время года к гидрологическому режиму предъявляются требования по поддержанию этого благополучия. В связи с чем в данной работе, дополнительно к предыдущим, сделана попытка приблизить результаты математического моделирования условия динамичной устойчивости речной экосистемы Шу к реальности за счет использования в детерминированной модели стохастических данных речного комплекса, полученных в результате многолетних наблюдений за биопродуктивностью травостоя, соленакоплением в корнеобитаемом слое почв пойменных лугов и обеспеченностью стока весеннего половодья и паводков. Необходимо отметить, что в основу удлиненных рядов биопродуктивности травостоя и соленакопления почв пойменных лугов для полученных зависимостей легли результаты фундаментальных работ таких известных казахстанских ученых, как О. М. Демина [ 8 ] и У. Ж. Аханов [ 2 ].

Казалось бы чего проще, аппроксимируя уравнениями регрессии полученные зависимости (рис.), выдавать оптимальные значения биопродуктивности травостоя и соленакопления почв затопляемых пойменных лугов целиком за устойчивость речной экосистемы и решать целостные задачи рационального природопользования. Как представляется, решение подобных задач аналогичным путем изначально неверно, хотя бы из-за отсутствия теоретических обоснований наличия или отсутствия устойчивости речных экосистем к внешним воздействиюм факторам, влияющим на водно-солевой гидрологическому режиму стока весеннего половодья и паводков. Поэтому считаем целесообразным переход от статистического моделирования



процесса к детерминированному, из-за чего собственно и настоящей работе как и прежде, нас интересует наличие или отсутствие признаков устойчивости из условия детерминированной задачи в декартовых координатах. При решении детерминированной задачи в декартовых координатах, аналогично ранее опубликованным работам, нами также привлекается гомеостатическая кривая Б. В. Фащевского по воспроизводству рыбных запасов в качестве дополнительного критерия для контроля правильности решаемых задач.

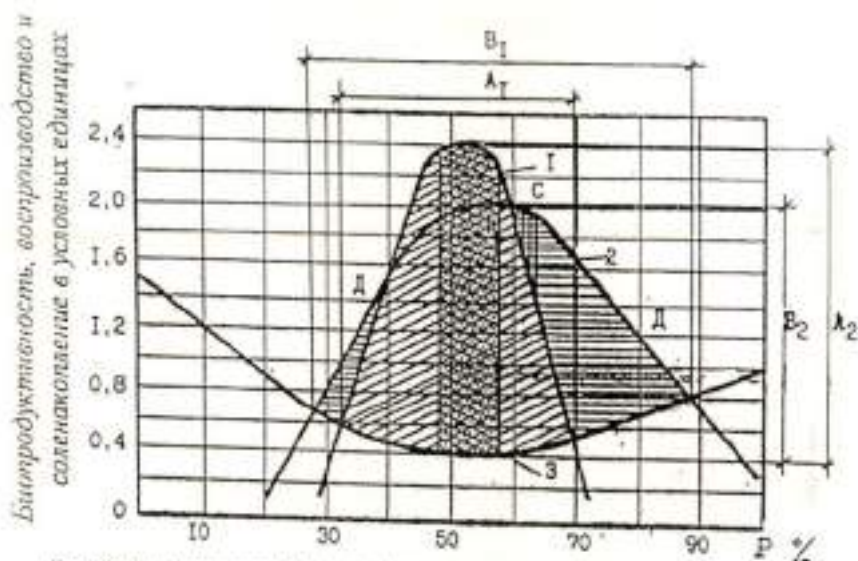


Рис. Зависимость биопродуктивности пойменных лугов (1), воспроизводства рыбных запасов по Фащевскому (2) и соленакопления почв пойменных лугов (3) от обеспеченности весеннего паводья и паводков ( $P\%$ ) на примере реки Шу.  $A_1, A_2, B_1, B_2$  — искусственное ограничение области определения функции

Ранее нами оговаривалось [6,7], что в математической теории устойчивости существуют достаточное множество определений этого понятия, основным из которых является оценка устойчивости по академику А.М. Ляпунову. Поэтому становится понятным желание подвергнуть испытанию устойчивость Ляпунова на примере речной экоси-

стемы Шу, используя весь спектр разработанных им критериев, но с некоторыми ограничениями, учитывая уникальность решаемых задач.

При решении данной задачи нами будут преобразовываться критерии устойчивости, т.е. задаваемые параметры по оси ординат ограничиваются как сверху ( максимумы биопродуктивности травостоя пойменных лугов и воспроизводства рыбных запасов), так и снизу (минимумы соленакопления почв пойменных лугов). При этом следует оговориться, что ни одно значение переменных и аргументов не может быть равно нулю или бесконечности.

Из предыдущей работы известно, что фазовое пространство системы уравнений, описывающих состояние функционирования речной экосистемы, распадается на три условные области [ 7 ].

Исследования по определению устойчивости в области точек перегиба парабол тождественны задачам прикладной механики, показали, что устойчивость, как это принято в решении подобных задач в области теории машин и механизмов, в этом случае отсутствует [ 7 ].

В связи с чем в настоящей работе будет продолжен поиск критериев устойчивости речной экосистемы в области целенаправленного целостного отрезка полученных зависимостей, в пределах 51 - 60 % - ной обеспеченности стока весеннего половодья и паводков, когда наблюдается относительное равновесное положение речной экосистемы.

Для поиска корректного решения поставленных задач нами будут варьироваться проецирования начала координат в различных точках направленного отрезка с целью получения симметричных положительных и отрицательных частей декартовой системы, а также для достоверного определения угловых коэффициентов между кривой и проводимыми касательными линиями, согласно учениям Л. Д. Кудрявцева и Л. А. Понтрягина.

Таким образом, результаты испытания устойчивости применительно к речной экосистеме в купе с такими понятиями как экологическая устойчивость, толерантность, гомеостаз, сукцессия и анабиоз в условиях жизнедеятельности отдельных биокomпонентов должны дать однозначный ответ на вопрос о том, по каким должны быть пути восстановления деградированных речных экосистем.

Согласно каноническим подходам применения дифференциальных уравнений, предположим, что положение равновесия автономно существующей речной экосистемы описывается системой уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} P' &= f(p, y), \\ Y' &= \varphi(p, y). \end{aligned} \quad (1)$$

Далее будем исходить из того факта, что правые части приводимой системы уравнений непрерывно дифференцируются. Гипотетически принимая за начало координат область среднесного значения стока половодья и паводков в детерминированной задаче и линеаризуя систему уравнений (1), в этом отрезке разложим их в ряды Тейлора по  $p$  и  $y$ , в результате чего получаем линейную систему уравнений

$$\begin{aligned} P' &= a_1^1 P + a_2^1 Y, \\ Y' &= a_1^2 P + a_2^2 Y. \end{aligned} \quad (2)$$

Как и в предыдущих наших работах, вводим собственные значения матрицы  $\begin{bmatrix} A & \\ & \end{bmatrix}$  и обозначим их через  $\lambda$  и  $\mu$ . Опираясь на учение Л. А. Ляпунова, подчеркнем, что положение равновесия, принятое нами за начало координат в системе уравнений (1), называется невырожденным, если  $\lambda$  и  $\mu$  не равны между собой и их действительные части отличны от нуля. С учетом выводов, полученных в предыдущих наших работах подчеркнем, что для невырожденного положения равновесия (вблизи центра равновесного состояния) в начале координат (1) по существу во многом совпадает с положением равновесия (2). Согласно Л. А. Понтрягина и Л. Д. Кудрявцева, если собственные значения матрицы  $\lambda$  и  $\mu$  действительны и отрицательны, то положение равновесия называется устойчивым узлом и наоборот, когда  $\lambda$  и  $\mu$  действительны и положительны, то положение равновесия называется неустойчивым узлом. В случаях комплексной сопряженности  $\lambda$  и  $\mu$ , имеющих отрицательную действительную



часть, положение равновесия называется устойчивым фокусом, и наоборот, при наличии положительной действительной части и комплексной сопряженности положение равновесия называется неустойчивым фокусом.

Как и в начальной стадии, разлагая правые части системы (2) в ряды Тейлора по  $P$  и  $Y$  до членов второго ряда получаем

$$\begin{aligned} P' &= a_1^1 P + a_2^1 Y + r(P, Y), \\ Y' &= a_1^2 P + a_2^2 Y + s(P, Y). \end{aligned} \quad (3)$$

Откуда коэффициенты  $r$  и  $s$  в начале координат (вместе со своими первыми производными по  $P$  и  $Y$ ) могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} r(P, Y) &= r_{xx} P^2 + 2r_{xy} PY + r_{yy} Y^2, \\ s(P, Y) &= s_{xx} P^2 + 2s_{xy} PY + s_{yy} Y^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Причем коэффициенты  $r_{ij}$  и  $s_{ij}$  этих квадратичных форм являются функциями переменных  $P$  и  $Y$ , ограниченными в свою очередь вблизи начала координат. Производя действительное линейное преобразование величин  $P, Y$  в искомые величины  $\xi, \eta$ , можно привести систему уравнений (4) к простому виду. Во-первых, если  $\lambda$  и  $\mu$  матрицы  $\begin{vmatrix} a & \\ & \end{vmatrix}$  действительны и различны, то система уравнений для  $\xi$  и  $\eta$  записывается в виде:  $\xi' = \lambda\xi + \theta(\xi, \eta)$ , и  $\eta' = \mu\eta + \sigma(\xi, \eta)$ . Во-вторых, при комплексной сопряженности собственных значений матрицы  $\begin{vmatrix} a & \\ & \end{vmatrix}$ , система уравнений для  $\xi$  и  $\eta$ , имея вид  $\mu + i\eta$ , записывается в виде  $\xi' = \mu\xi - v\eta + C(\xi, \eta)$ ,  $\eta' = v\xi + \mu\eta + \sigma(\xi, \eta)$ . В обоих случаях остаточные члены  $C(\xi, \eta)$  и  $\sigma(\xi, \eta)$  обладают теми же свойствами, что и  $r(P, Y)$  и  $s(P, Y)$ , в свя-

зи с чем относительно показателей устойчивости  $U_1$  и  $U_2$  получаем новую расшифрованную систему уравнения

$$\begin{aligned} P' &= f(P, Y) = \lambda P + r(P, Y), \\ Y' &= \psi(P, Y) = \mu Y + s(P, Y). \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\lambda < 0$ ,  $\mu > 0$ . Необходимо оговориться, что в последующем будут использованы лишь такие свойства правых составляющих системы уравнений, как непрерывная дифференцируемость правых частей по  $P$  и  $Y$  и область ограничения функции  $r'_i$  и  $s'_i$  вблизи начала координат. При этом доказательство наличия устойчивости распадается на две части, а именно на наличие отрезка и показателя устойчивости, подходящего к началу координат вдоль положительной части оси абсцисс по мере убывания координат  $P$ , с доказательством единственности  $U_1$  в целостной системе  $U_1 - U_2$  относительно начала координат. А также на наличие  $U_2$  и его единственность, доказываемые аналогично  $U_1$ . При переходе к доказательству существования  $U_1$  допустим, что  $\omega(P, Y) = Y - 2P^2$  при  $\alpha > 0$ , и рассмотрим это предположение в плоскости параболы  $(P, Y)$ , определяемой уравнением  $\omega(P, Y) = 0$ . Парабола относительно оси абсцисс и ординат разбивает рассматриваемую плоскость на две части: положительную, содержащую положительную полуось ординат, и отрицательную. Прежде всего становится ясным, что если  $\alpha$  - достаточно большое положительное число, а  $P$  - достаточно малое ( $|P| < \varepsilon$ ), то вся траектория системы (5), пересекающая участок  $|P| < \varepsilon$  параболы  $\omega(P, Y) = 0$ , переходит с отрицательной стороны на положительную. Для этого необходимо вычислить производную  $\omega'_x(P, Y)$  функции  $\omega(P, Y)$ . Учитывая, что  $\omega(P, Y) = 0$  в системе уравнений (5) запишем, что  $\omega'_x(P, \alpha P^2) = Y' - 2\alpha P P' = \alpha(\mu - 2\lambda)P^2 + s_{y_i} P^2 + \dots$ . Число  $\mu - 2\lambda$  является положительным, а функция  $s_{y_i}$  ограничена вокруг начала координат, в связи с чем можно выбрать настолько большое число  $\alpha$ , чтобы выполнялось условие  $\alpha(\mu - 2\lambda) - |s_{y_i}| > \delta$ , где  $\delta > 0$ . Неучтен-

ные члены уравнений при  $\omega'_z(P, \alpha P^2)$  имеют критерии малой значимости третьего порядка по  $P$ , и поэтому существует такое положительное число  $\varepsilon$ , что при  $|P| < \varepsilon$  имеем  $\omega'_z(P, \alpha P^2) > 0$ , причем это имеет место только в начале координат. Из вышеизложенного доказательства следует, что вся траектория системы уравнения (1), за исключением положения равновесия в начале координат, пересекает рассматриваемый участок параболы в направлении роста функции  $\omega(P, Y)$ . Аналогичным образом можно также доказать, что участок  $|P| < \varepsilon$  параболы  $Y + \alpha P^2 = 0$  пересекается всеми составляющими траектории системы уравнений (5), за исключением положения равновесия, снаружи во внутрь, ибо внутренняя область параболы  $(Y + \alpha P^2) = 0$  содержит отрицательную полуось ординат. Для доказательства такого положения предположим, что  $a$  и  $b$  точки, в которых прямая  $x = \varepsilon$  пересекает соответственно параболы  $\bar{\omega}(P, Y) = 0$  и  $Y^2 + \alpha P^2 = 0$ . Соединяя через начало координат и через точки  $a$  и  $b$ , получим и рассмотрим треугольник  $[0, a, b]$ , состоящий, в свою очередь, из двух частей парабол и прямолинейного отрезка  $[a, b]$ . Если дополнительно введенная  $\varepsilon$  достаточно мала, то вся траектория системы уравнений (1), проходящая через треугольник, пересечет отрезок  $[a, b]$ . Отсюда следует, что выражение  $P' = \lambda P + r(P, Y)$  при  $0 < P < \varepsilon$ , то  $|Y| < \alpha P^2$  отрицательна, так как  $\lambda < 0$ , а  $r(P, Y)$  есть нечто иное, как квадратичная форма зависимости по  $P$  и  $Y$  с ограниченными коэффициентами. Для доказательства этого допущения, предположим, что  $\varphi(x, z)$  - траектория системы уравнения (5), начинающаяся при  $x = 0$  (в некоторой точке  $z$ , интервала  $[a, b]$ ). При таком подходе, отрезок  $[a, b]$  гипотетически содержит хотя бы одну точку  $x_0$ , что соответственно предопределяет существование траектории  $\varphi(x, z_0)$ , начинающейся на отрезке  $[a', b']$  и асимптотически приближающейся к началу координат. Касательная к траектории  $\varphi(x, z_0)$  в точке  $(P, Y)$  имеет угловой коэффициент  $K(P, Y) = \mu Y + s(P, Y) / \lambda P + r(P, Y)$ . Так как точка  $(P, Y)$  траектории



$\varphi(x, z_0)$  принадлежит треугольнику, то  $|Y| < \alpha P^2$  при  $0 < P < \varepsilon$  откуда следует, что коэффициент  $K(P, Y)$  остается конечным и при  $P \rightarrow 0$ .

С другой стороны, рассекающий угловой коэффициент  $K(P, Y)$ , проведенный через начало координат в точку  $(P, Y)$  траектории  $\varphi(x, z_0)$ , равен соотношению  $Y/P$ , так как имеет место неравенство  $|Y| < \alpha P^2$  при  $0 < P < \varepsilon$ . Значит, кривая  $\varphi(x, z_0)$ , упирающаяся в начало координат имеет в точке  $\theta$  непрерывную производную и касается оси абсцисс. Траектория  $\varphi(x, z_0)$  определяет собой отрезок  $U_1$ , при этом отрезок  $U_2$ , подходящий к точке  $\theta$  вдоль отрицательной части оси абсцисс, также касается оси абсцисс в точке  $\theta$ . Необходимо уточнить, что эти два отрезка ( $U_1$  и  $U_2$ ) вместе составляют кривую  $U$ , описываемую уравнением вида  $Y = U(P)$ , где  $U(P)$  есть непрерывно дифференцируемая функция переменного  $P$ . Для доказательства целостности и единственности этих отрезков необходимо преобразовать систему координат так, чтобы  $Y = U(P)$  стала осью абсцисс. Для этой цели необходимо ввести в формулу функции  $Y$  функцию  $Z$  в следующей последовательности, т.е.  $Y = U(P) + Z$ . Следует отметить, что при таких преобразованиях необходимо уделить пристальное внимание на стохастическую природу стокообразования в речных экосистемах. Далее, произведя в системе (5) замену  $Y = U(P) + Z$ , получаем систему уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} P' &= f[P, U(P) + Z] = F(P, Z), \\ Z' &= \psi[P, U(P) + Z] - U'(P)f[P, U(P) + Z] = G(P, Z). \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь неизвестными функциями являются  $P$  и  $Z$ . При этом следует учесть, что функция  $U(P)$  имеет непрерывную производную, тогда как функция  $F(P, Z)$  имеет непрерывные производные по обоим переменным, то есть по  $P$  и  $Z$ . Следовательно, функция  $G(P, Z)$  также непрерывна по  $P$  и имеет непрерывную производную по  $Z$ , однако, существование непрерывной производной  $G(P, Z)$  по  $P$  из-за трудности доказательства не установлено.

В ходе дальнейшего решения устойчивые отрезки  $U_1$  и  $U_2$  системы уравнений (5) переходят в отрезки оси абсцисс плоскости  $(P, Z)$ , собственно говоря из-за чего система уравнения (6) имеет решения, в которых функция  $P$ , асимптотически приближаясь к нулю, изменяется монотонно, а функция  $Z$  - противовес этому явлению, равна нулю, из чего следует, что  $G(P, 0) = 0$ . Функция  $G(P, Z)$  может быть записана в виде  $G(P, Z) = ZH(P, Z)$ , где  $H(P, Z)$  - непрерывная функция переменных  $P$  и  $Z$ . Из соотношения  $G(P, Z) = ZH(P, Z)$ , с учетом непрерывности функции  $H(P, Z)$ , можно получить

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial G(P, Z)}{\partial P} \right|_{P=0} \Big|_{Z=0} &= \lim_{Z \rightarrow 0} G(0, Z) - G(0, 0) / Z - 0 = \\ \lim_{Z \rightarrow 0} G(0, Z) / Z &= \lim_{Z \rightarrow 0} H(0, Z) = H(0, 0). \end{aligned} \quad (7)$$

Далее, с учетом преобразования систем уравнений (5) и (6), получим  $\frac{\partial G(P, Z)}{\partial P} \Big|_{P=0} = \mu$ , откуда следует, что  $H(0, 0) = \mu$ , исходя из чего  $Z' = [ZH(P, Z)]$ . Необходимо уточнить, что  $H(P, Z)$ , находясь близко к  $\mu$ , вокруг начала координат является одним из представителей положительных составляющих рассматриваемых зависимостей в декартовой системе координат. Из этого следует, что вокруг начала координат (вдоль каждой траектории) в отличие от кривой  $U$  (т.е. от системы  $U_1 - U_2$ ), координаты  $Z$  сохраняют свой знак и возрастают по модулю адекватно  $X$ . Таким образом доказывается целостность отрезков  $U_1$  и  $U_2$ , где ни одна траектория, проходящая вне оси абсцисс плоскости  $(P, Z)$ , не может асимптотически приближаться к началу координат. Полученные результаты показывают, что при четном и нечетном угловом коэффициенте  $K$  устойчивость узлов и фокусов достигается в точках  $p = 0$ ,  $\varphi = k\pi / 2$ , при этом неустойчивые отрезки  $V_1$  и  $V_2$  направлены по оси  $\varphi$ , а устойчивые - по кривым  $U$ , приближающимся к направленному отрезку параболы как сверху, так и снизу. За счет этого, собственно, и обеспечивается относительно устойчивое решение задаваемых параметров при равновесном положе-



нии речной экосистемы по отношению к отрезку, соответствующему  $P = 51\% - 60\%$ , тогда как в целостной зависимости биопродуктивности и соленакопления решение устойчивости отсутствует.

Как показывают полученные зависимости, максимумы производства травостоя и минимумы соленакопления приходятся на средние по обеспеченности ( $P = 51 \div 60\%$ ) весеннего половодья и паводков, тогда как на многоводные и маловодные годы по обеспеченности наблюдаются снижения травостоя и рост соленакопления. Этому явлению существуют не только математическое, но и физическое объяснение, подробное описание которых осуществлено в предыдущих работах [4,5,7]. В дополнение к этим работам подчеркнем, что к потери сообществами прежней ценотической роли, развитию и утверждению более гигро- и гидрофильных видов в многоводные годы, входящих в состав ценоза в виде развитых растений, приводит и существование процесса анабиоза переувлажнением для ксеро- и галофитных видов растений. В данном случае процесс анабиоза нами понимается в изложении академика А. М. Голдовского [3], то есть временное прекращение активной жизнедеятельности в зависимости от условий среды обитания. Следует оговориться, что А. М. Голдовским рассматриваются только три вида анабиоза - при высыхании, охлаждении и в связи с высокой концентрацией солей (высокое осмотическое давление), то есть им полностью был проигнорирован процесс анабиоза при высоком переувлажнении, который на заре развития луговедения, А. В. Шенниковым и Т. А. Работновым [9] объяснен как переход во вторичное состояние покоя.

На длительное затопление реакция почв пойменных лугов по соленакоплению адекватная, то есть если в начальный период затопление действует в качестве промывного режима, то далее это приводит к повышенному солесодержанию в результате осаждения валового объема солей и поднятия уровня сильно минерализованных грунтовых вод. При этом преобладающим в составе солей становится сульфат натрия с последующим расположением сульфатов кальция и магния, с дальнейшим увеличением солесодержания к концу затопления за счет хлористого натрия. При этом основной причиной нарушения важнейших физиологических функций луговых растений выступает токсическое действие избытков ионов легкорастворимых солей, сказывающихся прежде всего в подавлении синтеза белка. Как

результат, ингибируется рост и развитие митохондрий и хлоропластов, подавляется биосинтез хлорофила и, следовательно, процессы фотосинтеза и дыхания. Иначе говоря, в данном случае подтверждается не только тезис, выдвигаемый нами о анабиозе переувлажнением, но и анабиоз А. М. Годдовского по высокой концентрации солей в почвах затопляемой поймы.

Соленаккумуляции почв при отсутствии промывных вод, из-за краткочасности или отсутствия затопления, контролирующей эффект оказывает эоловый солеснос из окружающих солончаков за счет турбулентной диффузии атмосферного воздуха. При отсутствии затоплений, служивших промывным режимом пойменных почв в соленаккумуляции возрастает роль сульфата натрия и хлористого магния при резком снижении концентрации сульфата кальция, что, в свою очередь, приводит к преимущественному произрастанию в сообществе луговой растительности гало-, глеко- и ксерофитов и резкому снижению биопродуктивности. Между тем известно, что в зависимости от продолжительности затопления, солесодержание выдерживало схему по анионному составу гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридности, тогда как его катионное содержание (кальций, натрий и магний) были подвержены сезонному колебанию. Как ранее акцентировали внимание на наступление анабиоза переувлажнением, то в противовес этому в данном случае наступают анабиозы вызванные высушиванием и высокой концентрацией солей. Иначе говоря, в этом вопросе речная экосистема чутко реагирует и видоизменяется в зависимости от продолжительности затопления, которые связаны с обеспеченностью стока весеннего половодья и паводков.

Подводя черту под вышесказанное, отметим, для отдельных фитоценозов, преобладающих и характерных при различных гидрологических режимах (длительное, среднее, краткое затопление или его отсутствие), в многолетнем разрезе наблюдений отсутствует биологическая устойчивость. В зависимости от гидрологического режима фитоценозы пойменных лугов подвержены смене формации, чему доказательством служит наблюдаемая доминирование в общей биопродуктивности гидро- и гигрофитов при длительном затоплении, гало- и ксерофитов при кратком или же в отсутствии затопления. Как показывает динамика изменения гидрологического режима, в природе не существуют закономерности по сохранению принципа цикличности:



многоводье → средние по водности годы → маловодье или же наоборот из-за стохастичности природы стокообразования. По этой причине применение к речной экосистеме понятия сукцессии, то есть последовательной смены биоценозов, преемственно возникающих на одной и той же территории под влиянием природных или антропогенных факторов по вышеприведенной схеме не всегда оправданы. В отношении речной экосистемы применение понятия толерантности, то есть способности биоценозов выносить отклонения факторов среды от оптимальных, более обоснованно. Гомеостаз, то есть состояние внутреннего динамического равновесия, характерен, и как идеал, достигается, тогда, когда относительное благополучие речной экосистемы через призму биопродуктивности и соленакопления, с некоторыми признаками устойчивости из года в год, наблюдаются в годы со средней продолжительностью затопления ( $P = 51 - 60 \%$ ) за счет доминирования в растительном сообществе разнотравья. Этот же процесс смены растительности, согласно Л. Н. Алексеевскому [ 1 ] и С. М. Разумовскому [ 10 ] называется экогенетической сукцессией, когда местообитание отдельного растительного сообщества становится со временем более пригодным не для данной, а для другой ассоциации сообществ, которая и заменит ее путем вытеснения, то есть вводится в понятийный аппарат сукцессии отличие от классического понятия.

Представляется необходимым, дополнительно к выводам вышеуказанных ученых, добавить, что этот вопрос должен быть рассмотрен в комплексе и во взаимосвязи с целостной речной экосистемой, а не рассматриваться как сугубо абстрактный процесс смены формации по отношению к самому себе. В этой связи смену формации растительного сообщества более целесообразно представить как отклик речной экосистемы на возмущающие внешние факторы, то есть меняющийся из года в год гидрологический режим водотока. При такой постановке задачи появляются более объективные комплексные показатели смены растительного сообщества в прямой зависимости от гидрологического режима (гидрохимический, почвенный, температурный и т.д. режимы), основывающиеся на экологической валентности речной экосистемы, то есть степени приспособляемости биоценозов к изменениям окружающей среды. В таком случае стохастическая природа стокообразования в купе с речной экосисте-

мой, дают более научно обоснованные представления о таких понятиях, как вторичное состояние покоя, состояние анабиоза и адаптационный синдром, с точки зрения физиологии растительного сообщества. Поэтому толкование Н. Ф. Реймерса [ 11 ] об устойчивости экосистемы, выражающейся в способности экосистемы к реакциям, пропорциональным по размеру силе воздействия, считаем необходимым дополнить, применительно к речной экосистеме, как внутреннюю ее самоорганизацию по преодолению адаптационного синдрома, в виде видоизменяющегося отклика на воздействие внешних факторов, то есть гидрологического и гидрохимического режимов водотока. Еще раз подчеркнем, что в речной экосистеме, в отличие от материковой части геосистемы, большая роль принадлежит толерантности, нежели сукцессии.

При неперменном сохранении последовательности затопления пойменных лугов: длительное → среднее → краткое → отсутствие почвообразовательный процесс также претерпевает изменение. В годы длительного затопления пойменных лугов, как правило, доминируют аллювиальные формы почвообразования, возникающие в речных долинах в результате сноса и транспортировки речным стоком в повышенных дозах рыхлых продуктов выветривания и разрушения горных пород, а также деформации речных русел. Длительное затопление пойменных лугов зачастую приводит к эрозии заиления, происходящей под воздействием гидрологического режима и разрушающей почвенные агрегаты, что, в конечном счете, сказывается на плодородии почв и биопродуктивности травостоя. В аналогичных условиях в поймах развиваются торфянисто-болотные, болотно-луговые почвы. В этом смысле самым неблагоприятным опять-таки является среднее по продолжительности затопление, когда в послепоемное время развиваются луговые почвы при большом усилении роли мелких фракций в субстрате. Эти луговые почвы, благодаря более продуктивным фитоценозам, обладают повышенным содержанием общего азота, гумуса и подвижного фосфора, что непременно сказывается как на плодородии почв, так и в биопродуктивности травостоя пойменных лугов.

Отсутствие затопления прежде всего отражается в трансформации дернового слоя и появлении новых морфологических признаков. Например, по данным У. Ж. Аханова [ 2 ], корнеобитаемый слой



мощностью 0,50 м можно разделить на два самостоятельных горизонта, отличных друг от друга, с одновременным исчезновением из них ржавых пятен, характерных для лугово-болотных почв. При этом комковатая структура, наблюдаемая при наличии затопления, меняется на пылевато-непрочнокомковатую и пороховатую, характерную для пустынных почв, что, в свою очередь, ведет к эндогенному процессу.

Привлеченная гомеостатическая кривая Б. В. Фащевского по воспроизводству фитофильных рыбных запасов также показывает, что оптимальные значения ската молоди наблюдаются именно при среднеголетних показателях затопляемости пойменных лугов. При длительном затоплении, с учетом повышенного содержания взвешенных наносов в стоке весеннего половодья и паводков, уменьшение скатываемости молоди объясняется заилением арсала нерестилищ в виде наилок и их гибелью. При отсутствии затопления многие виды половозрелых фитофильных рыб не участвуют в воспроизводстве, что обусловлено, прежде всего, отсутствием традиционных мест нереста.

Таким образом, полученные результаты исследований показывают, что у речной экосистемы по динамике биопродуктивности травостоя, соленакопления, почвообразовательному процессу и по воспроизводству фитофильных рыбных запасов, наблюдаемых в условиях условно-естественного гидрологического режима, нет достаточной самоорганизации внутренних возможностей по сохранению их на уровне оптимальных показателей в противовес изменяющемуся из года в год гидрологическому режиму.

Иначе говоря, у речной экосистемы нет возможности устойчивого сопротивления, как отклик, наступающему адаптационному синдрому, а есть только толерантность экосистемы. В итоге мы получаем закономерный вопрос, что понимать в таком случае под устойчивостью речной экосистемы.

В данном случае под устойчивостью речной экосистемы необходимо понимать, сам процесс толерантности, ибо в широком толковании толерантность означает и устойчивость, и выносливость, и переносимость речной экосистемы, с учетом ее специфики процесса выживания с включением в этот ряд процессов сопротивления, мобилизации всех компенсаторных механизмов системы (поведенческих, физиологических, биохимических и т.д.), против

действия внешних возмущающих факторов. Однозначно, что эта устойчивость не есть устойчивость из теории механики, где под устойчивостью понимается автоматическое восстановление равновесного состояния системы после воздействия внешнего возмущающего фактора.

Здесь более приемлема к речной экосистеме биологическая устойчивость, несмотря на незначительность признаков устойчивости речной экосистемы по самосохранению на уровне оптимальных показателей по биопродуктивности травостоя, соленакоплению и воспроизводству рыбных запасов в зависимости от гидрологического режима.

В этой связи, в плане восстановления деградированных речных экосистем республики, на первое место выходит разработка методов по обоснованию остаточного-экологических стоков рек ниже крупных гидротехнических сооружений, в основу которых должны быть заложены показатели и критерии устойчивости для различных обеспеченностей года, определяемые для каждого речного бассейна в отдельности, исходя из их толерантности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко Л.Н. Продуктивность луговых растений в зависимости от условий среды. - Л.: Изд-во: ЛГУ, 1967. - 168 с.
2. Аханов У. Ж. Почвообразование в дельтовых равнинах Южного Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1987. - 240 с.
3. Голдовский А. М. Анабиоз. - Л.: Наука, 1981. - 136 с.
4. Бурлибаев М. Ж. Биопродуктивность травостоя пойменных лугов р. Шу как индикатор динамичного развития речной экосистемы // Гидрометеорология и экология. - 1998. - № 1-2. - С. 79 - 93.
5. Бурлибаев М. Ж., Зубаиров О. З. Экологическая оценка стока как критерий продуктивности пойменных лугов р. Шу // Водные ресурсы: опыт использования и проблемы /Сб. научных трудов ЖГМСИ. - Тараз: ЖГМСИ, 1997. - Вып. 2. - С. 31-35.
6. Бурлибаев М. Ж. К вопросу определения устойчивости речных экосистем // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. - Алматы: Гылым, 1998. - С. 212 - 216.



7. Бурлибаев М. Ж. Об одной попытке испытания устойчивости речной экосистемы на примере р. Шу // Гидрометеорология и экология. - 1998. - № 1-2. - С. 94 - 106.
8. Демина О. М., Арыстангалиев С. А. Луговая растительность Казахстана - Алма-Ата: Наука, 1986. - 272 с.
9. Работнов Т. А. Луговедение. - М.: Изд-во: МГУ, 1984. - 320 с.
10. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. - М.: Наука, 1981. - 232 с.
11. Реймерс Н. Ф. Природопользование. - М.: Мысль, 1990. - 637 с.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

### **ӨЗЕН ЭКОСИСТЕМАСЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ОНЫҢ ҚАЛЫПТЫ ДАМУ КҮШІ ЗАҢДЫЛЫҒЫ ТҰРАСЫНАН БАҒАЛАУ ТУРАЛЫ**

Геогр. г. канд. М. Ж. Бұрлібаев

Мақалада көп жылдық өзен экосистемасының тұрақтылығы өзен комплексінің жеке алынған биологиялық компоненттерінің негізінде және мысалында талқыланады. Бұл бағалаудың нәтижелері өзен экосистемасының қолайлы дамуы үшін өте қажет экологиялық ағындардың мөлшерін дәлелдеу процессінде қолдану керектігі көрсетілген.