

УДК 556.555.8(574)

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ  
УСТОЙЧИВОСТИ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

Канд.геогр.наук М. Ж.Бурлибаев

*К сожалению, в настоящее время несмотря на отсутствие понятия устойчивости природных экосистем, в том числе речных экосистем, в научной печати часто начали появляться статьи посвященные этой проблеме. В большинстве этих работ не только не содержатся элементарных понятия устойчивости экосистем, а зачастую иницируются антинаучные определения этого термина или же приводятся только философские измышления, под собою не имеющих никаких реальных природных и антропогенных факторов. Поэтому, представляется целесообразным изначально определиться концепцией самой устойчивости и после чего искать критериев для практических расчетов.*

Современная концепция "Схем комплексного использования и охрана водных ресурсов" не основывается на экосистемных подходах. В них практически не учитываются устойчивость экосистем к изменяющимся факторам внешнего воздействия, что повсеместно привело к полной или частичной деградации речных комплексов. Тому подтверждением служат современные трансформации речных экосистем таких рек, как Сырдарья, Или, Иртыш, Талас, Асса, Шу и др. Представляется, что при управлении такими сложными системами, как речные бассейны, первоосновой должен бы быть учет взаимодействия между всеми составляющими речного комплекса, включая речные экосистемы. В связи с чем необходимо было выработать оптимальные критерии и показатели взаимосвязей компонентов системы, определить цели управления, основывающиеся на приоритетности действий по сохранению речной экосистемы. Решение подобной задачи возможно лишь на основе объективной оценки условий состояния динамичного подвижного

равновесия речной экосистемы и прогнозирования последствий принимаемых решений и мероприятий в составе схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Общеизвестно, что эти "Схемы", будучи результатами экстенсивного водохозяйственного планирования, всецело были подчинены обоснованию минимально-необходимых расходов воды или так называемых санитарных попусков в нижний бьеф водохранилищ. Таким образом, обосновываемые расходы или санитарные попуски даже отдаленно не соответствуют требованиям и нуждам речной экосистемы, хотя и подчеркивается в их обосновании, что они определяются исходя из абстрактных гигиенических и рыбохозяйственных критериев.

Поэтому в настоящее время становится актуальной задача фундаментального и закономерного переосмысления концепции путей водохозяйственного планирования как прошлого, так современного и перспективного. Иная интерпретация концепции использования водных ресурсов, учитывая современные трансформации речных экосистем, была бы просто фальсификацией сложившихся фактов.

Представляется, что для оптимального решения поставленных задач необходима разработка единой системы критериев по восстановлению и сохранению речных экосистем, включающих в себя различные аспекты водоохранной деятельности, в том числе определение устойчивости речной экосистемы к антропогенным воздействиям. К сожалению, в современных условиях нет единой, общепризнанной системы критериев (во взаимосвязи с совокупностью правил водоохранных мероприятий) и разработка ее представляется проблематичной. Например, нет единства мнений относительно экологических критериев благополучия речных комплексов. В качестве основных показателей благополучия речной экосистемы различные авторы предлагают рассматривать такие признаки, как целостность, стабильность, надежность, буферность, аномальность, управляемость, бонитетность по народно-хозяйственной значимости и т.д. Согласитесь, что при столь широком разбросе мнений по предлагаемым критериям возникает вопрос об целесообразности их объединения в единую систему для разработки комплексной оценки по приоритетности. В этой связи считаем необходимым отметить работы следующих авторов: Б.Миркина и Г.Розенберга [3], Ю.Свирижева и Д.Логофет [4], В.Светлосанова [5], В.Федорова и С.Соколовой [6] и других. В этих работах само понятие устойчивости как интегрального понятия организации экосистемы трактуется по-разному, порою взаимоисключающему друг друга. Кажется, что различное толкование понятия устойчивости экосистемы изначально связано не с терминологической неточностью, а с различными подходами и понятиями в понимании самого существа проблемы. И эти работы, с учетом разнохарактерности и разнонаправ-

ленности не только понимания самой устойчивости, но и соответственно решаемых задач, можно разделить на условные группы. Первая группа - теоретические методы решения устойчивости, базирующиеся на изучении математических моделей биологических популяций и биологических сообществ по схеме "хищник-жертва". Вторая группа - экспериментальные методы, основанные на исследованиях природных экосистем на физических моделях. Третья группа - экспериментально-теоретические методы, являющиеся синтезом первых двух подходов. Не акцентируя внимание на положительных и отрицательных сторонах применения вышеперечисленных методов, необходимо подчеркнуть, что полученные ими результаты зачастую носят абстрактный характер из-за отсутствия в вводимой исходной информации реальных данных, полученных в результате многолетнего периода наблюдений как в естественном: так и в нарушенном режимах экосистем под влиянием антропогенных факторов. Единственным исключением из вышеперечисленных работ являются разработки Е. Федорова и С. Соколовой [ 6 ], где устойчивость экосистемы Карельского побережья Белого моря определяется как многофакторное явление через среднеквадратичное отклонение от среднемноголетнего периода наблюдения. Здесь необходимо некоторое отступление, для уточнения, что морская экосистема в отличие от речной, из-за отсутствия в ней стохастической природы стокообразующих факторов, всегда имеет относительную устойчивость в силу малых отклонений за отдельные годы от среднемноголетних значений. В случае даже некоторого отклонения отдельных биоконпонентов экосистемы от среднемноголетнего на короткий промежуток времени физика процесса стабилизации морской экосистемы эти возмущающие факторы приводят в принудительном порядке к среднемноголетним показателям (за исключением крупных морских аварий), за счет чего собственно и обеспечивается относительная устойчивость морской экосистемы.

На наш взгляд, восстановление и сохранение речной экосистемы должно быть сопряжено с обоснованием остаточного-экологического стока через определение критериев устойчивости по отношению к возмущающим внешним факторам. Как представляется при решении подобной задачи, обязательным условием выступает наличие реальных статистических данных по динамичному развитию речной экосистемы вообще, по отдельным биоконпонентам, в частности, полученными как в естественном, так и в нарушенном гидрологическом и гидрохимическом режимах водотоков. Поэтому, в нашей работе сделана попытка приблизить результаты математического моделирования устойчивости речной экосистемы р. Шу к реальности, за счет использования в детерминированной задаче стохастических данных динамики развития экосистемы, полученных в результате многолетнего периода наблюде-

ния за биопродуктивностью травостоя и соленакоплением в корнеобитаемом слое почв пойменных лугов в зависимости от обеспеченности весеннего половодья и паводков. При испытании устойчивости речной экосистемы в декартовых координатах нами также использованы гомеостатическая кривая Б. Фашевского по воспроизводству рыбных запасов для дополнительного контроля правильности решаемых задач.

Как подчеркнуто выше, в математической теории устойчивости существуют достаточное множество определений этого понятия, где одним из основных является определение устойчивости по академику А. Ляпунову [1, 2], получившее большое распространение в прикладной механике вообще, а в теории машин и механизмов в частности.

При определении устойчивости речной экосистемы нами подверглись преобразованию устойчивость А. Ляпунова, то есть задаваемые параметры по оси ординат ограничиваются как сверху (максимумы биопродуктивности травостоя пойменных лугов и воспроизводство рыбных запасов), так и снизу (минимумы соленакопления корнеобитаемого слоя почв пойменных лугов), что соответствует так называемой устойчивости по Лагранжу. Основным же постулатом хода решения задачи явились математические выкладки выдающихся советских математиков Л. Понтрягина и Л. Кудрявцева. Как показывает наше исследование при кажущемся разноплановости и разнохарактерности решаемых задач, не лишено смысла перенятие методов Кудрявцева и Понтрягина по испытанию устойчивости в теории машин и механизмов для решения устойчивости речных экосистем в декартовых координатах. Следует оговориться о том, что несмотря на наличие устойчивости по Ляпунову и Лагранжу, а также их правильное решение в строгом соответствии с математическими выкладками Л. Понтрягина и Л. Кудрявцева, эти методы не совсем корректны в отношении устойчивости речной экосистемы, где преобладающим фактором является состояние динамического подвижного равновесия, в противовес задачам прикладной механики. Поэтому, при решении задачи устойчивости как стационарных относительно точек перегиба парабол биопродуктивности, так и соленакопления, мы вынуждены были внести дополнительные ограничения, то есть ни один из задаваемых и оперируемых параметров аргументов и переменных в данном случае не могут быть равны ни нулю или бесконечности (это есть ни что иное, как дополнительные ограничения по оси абсцисс). Таким образом, решаемая задача превращается в детерминированную задачу с ограничением области определения функции. В противном случае, то есть без искусственных ограничений области определения функции, решаемые задачи не могут быть отнесены к решениям задачи устойчивости речной экосистемы.

Графическое изображение полученных зависимостей и искусственное ограничение области определения функции показывают, что

область определения функции принимает вид неправильной формы эллипсоиды. Считаю важным подчеркнуть тот факт, что при отрицательном решении задачи устойчивости речной экосистемы можно вести речь о периоде относительной стабильности (оптимум) в заданном отрезке обеспеченности весеннего половодья и паводков. Как показывает анализ полученных зависимостей и ограничения области определения функции, фазовое пространство системы уравнений, описывающей состояние нормального функционирования речной экосистемы, распадается на условные три области. Первая область - многоводный период с обеспеченностью  $P = 1 - 50 \%$  и стремящийся к среднемуголетнему отрезку для достижения максимума биопродуктивности травостоя и минимуму соленакопления корнеобитаемого слоя пойменных почв. Вторая область - с обеспеченностью в пределах от 50 до 60 % при относительной стабильности биопродуктивности и соленакопления, с ярко выраженным оптимумом. Третья область - период перехода от средних обеспеченностей к маловодному периоду, то есть от 60 до 99,9 %, при снижающейся биопродуктивности и повышении соленакопления. Сравнительный анализ показывает, что при господстве стохастической природы стокообразующих факторов, безо всякого ущерба для решаемых задач целесообразно объединить первую и третью области (многоводный и маловодный периоды) в область так называемых периодических решений, с целью минимизировать численности фазового пространства системы уравнений. В результате этого объединения получаем две области автономно существующего режима речной экосистемы.

Дальнейшие исследования в строгом соответствии с поставленной задачей показывают, что критерии устойчивости А. Ляпунова, применительно к задачам прикладной механики, в данном случае не выполняются, потому как в совокупности значений матриц в области точек перегиба парабол в декартовых координатах, отсутствуют отрицательные действительные части и как следствие положения равновесия системы уравнений не могут считаться асимптотически устойчивыми. Поэтому в данном конкретном случае можно вести речь об относительном положении устойчивости речной экосистемы. Определяемые критерии устойчивости относительно точек перегиба парабол могут служить только ориентиром для определения отклонений функционирования речной экосистемы от нормального среднего, где отмечаются оптимумы биопродуктивности и соленакопления в зависимости от обеспеченностей весеннего половодья и паводков. В качестве дополнительного доказательства относительной устойчивости в данной постановке было использовано в системе решаемых уравнений малое положительное число А. Ляпунова, что также подтверждает о непременном выходе получаемых результатов за границы эллипсоиды и, следовательно, покидает ее внутреннюю область, то есть области определения

функции. Иначе говоря в данной ситуации нет устойчивости в том понимании как применительно к теории машин и механизмов, а есть только относительное равновесное положение речной экосистемы, обеспечение которой определяется в жесткой взаимосвязи с гидрологическим режимом водотока и сопутствующими ему факторами. Поэтому, в определении устойчивости речной экосистемы, с учетом динамического равновесия, необходимо основываться на период относительной стабильности ( $P = 50 - 60 \%$ ), всецело принимая его за критерий устойчивости, как целенаправленного отрезка (векторную величину) при оценке толерантности экосистемы. Именно исходя из этой толерантности необходимо определять пределы допустимых значений по каждому фактору, участвующему в определении устойчивости, за пределами которых экосистема теряет свойства устойчивости относительно оптимума с помощью анабиоза.

В дополнение к выше сказанным подчеркнем, что к потери сообществами прежней ценотической роли относительно оптимума, 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. Голдовского [ 7 ], то есть временное прекращение активной жизнедеятельности в зависимости от условий среды обитания. Следует оговориться, что А. Голдовским рассматриваются только три вида анабиоза - при высыхании, охлаждении и в связи с высокой концентрацией солей приводящих к высоким осмотическим давлениям, то есть им полностью игнорируется процесс анабиоза при высоком переувлажнении, который на заре развития пойменного луговедения А. Шенниковым и Т. Работновым [ 8 ] объясненный переходом 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 в классификации 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 воздействие избытков ионов легкорастворимых солей, сказывающихся прежде всего в подавлении синтеза белка. Как правило, при этом, 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. Голдовского по высокой концентрации солей в почвах затопляемой поймы.

Соленакплению почв при отсутствии промывных вод, из - за краткочасности или отсутствия затопления, контролирующий эффект оказывает золотый солеперенос из окружающих солончаков за счет турбулентной диффузии атмосферного воздуха. При отсутствии затоплений, служащих промывным режимом пойменных почв в соленакплении возрастает роль сульфата натрия и хлористого магния при резком снижении фактической концентрации сульфата кальция, что, в свою очередь, приводит к преимущественному произрастанию в сообществе луговой растительности гало-, глико-, 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 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, что для отдельных фитоценозов, преобладающих при различных гидрологических режимах (длительное, среднее, краткое затопление или его отсутствие), в многолетнем разрезе наблюдений отсутствует биологическая устойчивость характерная для одной постоянной фазе гидрологического режима водотока. 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 → среднее по водности → маловодье → отсутствие затопления 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 оправданны. В отношении речной экосистемы применение понятия толерантности, то есть способности биоценозов выносить отклонение факторов среды обитания от опти-

мальных, более обоснованно к данной ситуации. 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 ( $P = 50-60\%$ ), за счет доминирования в растительном сообществе разнотравья. Этот же процесс смены растительности, согласно Л.Алексеевскому [9] и С.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 подхода.

Представляется необходимым, дополнительно к выводам вышеперечисленных 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 на меняющийся из года в год гидрологическому режиму водотока. При такой постановке задачи появляются более объективные комплексные показатели смены растительного сообщества в прямой зависимости от гидрологического, гидрохимического, почвенного, температурного и т.д. режимов, 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 экосистемой, 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.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 речной экосистемы на воздействие внешних факторов, то есть гидрологического, гидрохимического и др. режимы. В связи с чем еще раз подчеркнем, что в речной экосистеме, в отличие от материковой части геоэкосистемы, большая роль принадлежит толерантности, нежели сукцессии.

В наших исследованиях привлеченная гомеостатическая кривая Б.Фашевского по воспроизводству фитофильных рыб также показывает, что максимальные показатели ската молоди наблюдаются именно



при средних значениях затопляемости пойменных лугов. При длительном затоплении, с учетом повышенного содержания взвешенных наносов в стоке и больших скоростей весеннего половодья и паводков, минимизация скатываемости молоди объясняется заилением ареала нерестилищ в виде наилок, что в свою очередь приводит к их гибели. При отсутствии затопления многие виды половозрелых фиофильных рыб не участвуют в воспроизводстве рыбных запасов, что обусловлено, прежде всего, отсутствием традиционных мест нереста, то есть затопляемых пойменных лугов.

Таким образом, полученные результаты исследований показывают, что у речной экосистемы по динамике биопродуктивности травостоя, соленакопления, почвообразовательному процессу и по воспроизводству фиофильных рыбных запасов, наблюдаемых в условиях условно - естественного гидрологического режима, нет достаточной самоорганизации по сохранению устойчивости 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 смысле толковании толерантность означает и устойчивость, и выносливость, и переносимость речной экосистемы, с учетом ее специфики выживания с включением в этот ряд процессов сопротивления, мобилизации всех компенсаторных механизмов системы, то есть 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 по самосохранению каждый год 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 экологического стока рек ниже крупных гидротехнических сооружений, в основу которых должны быть положены показатели и критерии устойчивости для различных обеспеченностей года по водности, определяемая для каждого речного бассейна в отдельности,

исходя из их толерантности. При этом экологический сток из года в год не может быть постоянной величиной, его количественная характеристика для отдельно взятых лет определяется и зависит только от водности реального рассматриваемого года.

### Литература

1. Ляпунов А.М. Исследование одного из особенных случаев задачи об устойчивости движения. - Л.: ЛГУ, 1963. - 116 с.
2. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения (рассуждения А. Ляпунова) - Харьков, Изд-во Харьковского математического общества, 1892.- 250 с.
3. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Системный подход к фитоценологии. /Журнал общ. биологии. - 1978.-Т.39.-N 2.-С.167-178.
4. Свирежев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ - М.: Наука, 1978.- 352 с.
5. Светлосанов В.А. О стабильности экосистем // Вестн. МГУ.- 1976.- N 4.- С.89-94.
6. Федоров В.Д., Соколова С.А. Опыт оценки устойчивости водной экосистемы // Гидробиологический журнал.- 1973.- Т. IX.- N2.- С.11-14.
7. Голдовский А. М. Анабиоз. - Л.: Наука, 1981. - 136 с.
8. Работнов Т. А. Луговедение. - М.: Изд - во: 1984. - 320 с.
9. Алексеенко Л. Н. Продуктивность луговых растений в зависимости от условий среды. - Л.: Изд - во: ЛГУ, 1967. - 168 с.
10. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. - М.:Наука, 1981. - 232 с.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

### ӨЗЕН ЭКОЛОГИЯСЫ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ТҮРАҚТЫЛЫҒЫ КОНЦЕПЦИЯСЫН АНЫҚТАУ МЕСЕЛЕЛЕРІНЕ

Геогр. ғыл. канд. М.Ж. Бүрлібаев

Ғылыми басылымдарда табиғат экожүйесінің, соның ішінде өзен экожүйелеріне түсініктеме болмасада, осыған байланысты көп мәселелер қозғалып жүр. Олар осы мәселеге, тек қана, философиялық тұрғыдан қарастыруда, қайсібір түсініктемелері дәлелсіз, оған қайшы келеді. Сондықтан оның тұрақтылықтық концепциясын анықтау қажет және содан кейін іс жүзінде есептерге көрсеткіштерді ескеру қажет.