

Шведовский П.В.

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ И ПРИЕМЛЕМОСТИ РИСКА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1, 2] в качестве пороговых уровней рисказащищённости экологических систем и объектов целесообразно оперировать предельно допустимым снижением уровня и качества жизни населения, за границами которого возникает опасность проявления неконтролируемых процессов и кризисных ситуаций, и предельно допустимым уровнем снижения затрат на поддержание и воспроизводство природно-экологического потенциала, за пределами которого возникает опасность необратимого разрушения элементов природной среды и нанесения ущерба здоровью нынешнего и особенно будущего поколений.

Отсюда приемлемый риск – это компромисс между реальным уровнем рисков (социально-экономических, технических и экологических) и возможностями их достижения, что и определяет необходимость выделения двух рисковых категорий – экологический вред (кризисная ситуация) и экологическая гибель (катастрофическая ситуация).

Всё это, с точки зрения рисказащищённости и приемлемости риска, позволяет все гео- и агроэкосистемы отнести к одному из следующих типов: самоорганизующиеся и саморазвивающиеся как целостность; динамические; с целенаправленным развитием; с определённой стратегией развития; с детерминированным развитием; спонтанно развивающиеся; гомеостатические; адаптивные.

Что же касается разделения области риска, то целесообразно выделение безрисковой области и областей минимального, повышенного, критического, катастрофического и недопустимого рисков.

При этом всё многообразие периодов жизнедеятельности объектов и систем, с позиции рисказащищённости, можно разделить на устойчивые, неустойчивые, стабильные, квазистабильные, переходные и квазипереходные.

Для устойчиво стабильного периода величина рисков настолько незначительна, что их можно не учитывать, т. е. для системы характерна полная рисказащищённость. Устойчиво квазистабильному периоду характерны достаточно значительные риски только для отдельных факторов, элементов и процессов, а устойчиво переходному уже характерны качественные изменения риска, т.е. поле рисков системы изменяет как свою структуру, так и элементный состав.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для математического описания любых переходных периодов целесообразно использовать матрицу и коридор рисков.

Матрица риска имеет вид:

	Π_1	Π_2	...	Π_i	...	Π_n
t_1	R_{11}	R_{21}	...	R_{i1}	...	
t_2	R_{12}	R_{22}	...	R_{i2}	...	R_{n2}
...
t_j	R_{1j}	R_{2j}	...	R_{ij}	...	R_{nj}
...
t_k	R_{1k}	R_{2k}	...	R_{ik}	...	R_{nk}

, (1)

где $\Pi_{1,n}$ – факторы жизнедеятельности системы; $t_{1,k}$ – расчетные моменты времени; $R_{1,nk}$ – величина риска, а коридор риска, определяющий возможный диапазон изменения риска, при котором система функционирует в устойчиво стабильном или устойчиво квазистабильном режиме, может быть описана в виде

$$R_i^{\min} < R_i^j < R_i^{\max}, \quad (2)$$

где $R_{ij}^{\min, \max}$ – соответственно минимально и максимально допустимые значения приемлемого риска.

Матрицы и коридор риска позволяют описать все уровни структуры устойчивого переходного периода. Для неустойчивого переходного периода характерно наличие различных подсистем с переходными процессами, которые не связаны между собой и разнонаправлены.

Что касается устойчивого квазипереходного периода, то для него характерно наличие закономерной смены системоциклов, а неустойчиво квазипереходного – случайная смена системоциклов, что достаточно полно можно описать случайной выборкой из любого множества альтернатив.

Для неустойчиво стабильных и неустойчиво квазистабильных периодов характерно наличие перенасыщенной стабильности всей системы или отдельных подсистем, т. е. система или её подсистемы готовы к переходу в новое (другое стабильное) состояние, но период перехода строго недетерминирован.

Следует отметить, что обычно периоды жизнедеятельности систем и объектов, связанные с неустойчивостью, являются кризисными и обладают большой неопределённостью и высокими рисками.

Что касается множества факторов, влияющих на величину риска, то их целесообразно классифицировать по четырём категориям направленности воздействия – глобальные (фоновые), прямого воздействия, косвенного воздействия и внутрисистемные, и четырём категориям возможности реализации – природные, техногенные, постэкологические и социальные.

Самая неопределённая категория – это факторы косвенного воздействия, которые очень часто способны трансформироваться в факторы прямого воздействия и даже глобальные.

Каждая из категорий факторов специфически влияет на риск функционирования систем и объектов, формируя общую величину риска – $R_{\text{общ}} = f(R_k, R_n, R_p, R_c)$, где R_i – соответственно величины рисков, которые формируются соответствующими категориями факторов.

Таблица 1. Типичные модели рискозащищённости (приемлемости риска) для экологических систем и объектов

Сформировавшаяся модель динамики рисков	Особенности условий функционирования систем	Категория ситуации и уровень уязвимости систем	
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^{\Gamma}$	Факторы прямого воздействия переходят критическую границу и изменяют условия функционирования	Критическая	Низкий
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_p > R_p^{\Gamma}$	Факторы косвенного воздействия переходят критическую границу, частично переходя в прямые и изменяют условия функционирования		Минимальный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_c > R_c^{\Gamma}$	Факторы фонового воздействия переходят критическую границу, частично переходя в более низкие категории и изменяют условия функционирования		Повышенный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^{\Gamma}$ $R_p > R_p^{\Gamma}$	Факторы прямого и косвенного воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Средний
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_p > R_p^{\Gamma}$ $R_c > R_c^{\Gamma}$	Факторы косвенного и фонового воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Сильный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^{\Gamma}$ $R_p > R_p^{\Gamma}$ $R_c > R_c^{\Gamma}$	Факторы прямого, косвенного и фонового воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Недопустимый
$R_k > R_p > R_c$ $R_k > R_n$	Факторы прямого воздействия становятся более значимы чем внутрисистемные	Катастрофическая	Минимальный
$R_k > R_n > R_p$ $R_k > R_c$	Факторы прямого и косвенного воздействия становятся более значимы чем внутрисистемные		Средний
$R_k > R_n > R_p > R_c$	Факторы прямого, косвенного и фонового воздействия становятся более значимы чем внутрисистемные		Повышенный

Примечание: R_i^{Γ} – граничное значение рисков i -го воздействия.

Общая модель изменения величины риска функционирования систем и объектов в квазистабильный период, который наиболее характерен для практики, представима в виде – $R_k > R_n > R_p > R_c$.

Зная же динамику источников риска можно достаточно легко и достоверно прогнозировать степень критичности (категорию ситуации и уровень уязвимости) оптимального функционирования любой системы и любого объекта.

В табл. 1 приведены наиболее типичные модели рискозащищённости (приемлемости риска) для экологических систем и объектов.

Бесспорно, что прогнозируя для конкретной системы или объекта их состояние и особенности функционирования в определенный период, недостаточно знать только категорию ситуации и уровень уязвимости (например, ситуация критическая, уровень уязвимости – минимальный). Не менее важно знать принципы оценки рисков функционирования, качественный и количественный анализ рисков, исходя из функциональной неопределенности гео- и агро- ландшафтных систем и объектов, и проблемы их минимизации.

Анализ исследований в области создания общей структуры принципов оценки надёжности (рисков) структурно- и связевосложных систем, достоверность знаний о компонентах которой очень малая показывает, что любая структура должна удовлетворять принципам относительной полноты и непересекаемости и, соответственно, оценка (анализ и синтез) рисков должна базироваться на трехуровневой системе принци-

пов: первый – методологический (определяющий концептуальные положения), второй – методический (связанный со спецификой систем, надсистем, подсистем и конкретикой условий) и третий – операциональный (связанный с однозначностью и достоверностью информационных потоков).

Анализ концептуальных основ оптимизации решений экологических проблем [3, 4] позволил сформировать следующую значимую группу методологических принципов – объективность, корректность, ограниченность, системность, взаимозависимость, позитивность и однотипность.

Объективность риска означает, что при оценке необходимо обеспечить достоверность отражения структуры и характеристик системы (объекта), при этом нужно полно, по мере возможного, учесть как качественные и количественные параметры переходных процессов, так и степень недостоверности и неопределённости, объективно присущую будущему.

Корректность рисков означает, что при оценке должны выполняться такие формальные требования, как аддитивность, транзитивность, непропорциональность и интервальная монотонность, т. е.

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2; R_{\text{общ}}^i < R_{\text{общ}}^{i+1} < R_{\text{общ}}^{i+2}; R_i \notin R_{\text{общ}}^i,$$

где R_i – общие и частные риски.

Ограниченность рисков означает, что их формирование во многом зависит от наличия ресурсов однократного или многократного пользования (природные, социальные, трудовые, финансовые и информационные), а системность (комплекс-

ность) - что в своей совокупности они должны образовывать замкнутую систему иерархического типа: эмерджентные ↔ неэмерджентные риски.

Взаимозависимость рисков означает, что формирование (возникновение) одних рисков непосредственно или через сложные опосредованные связи приводит к формированию других (например, экологические-социальные – экономические), а однотипность, что независимо от типа риска, все они имеют противоречивую экономическую или внеэкономическую оценку, но обязательно – прямую.

Позитивность же рисков означает, что интегральный показатель риска не должен быть больше уровня приемлемости, т. е. риски не должны приводить к катастрофической ситуации.

Основные методические принципы – разновосприимчивость, динамичность, согласованность и диссонансируемость исходят из предположений, что любое действие вносит в систему (объект) и, соответственно, в окружающую среду что-то специфическое, при этом даже при несинхронности отдельных проявлений реальна однозначная характеристика предполагаемой динамики процессов.

Операциональные принципы определяют моделируемость и симплифицируемость рисков, т.е. возможность описания любой рискованной ситуации моделью с относительно простым информационно- вычислительным методом оценки риска.

Совокупность всех этих принципов позволяет любую экологическую проблему рассматривать и трактовать как абстрактную систему, познание которой требует анализа со структурным или функциональным подходом и синтеза, с эмерджентным или синергическим подходом.

Функциональный подход к анализу риска обуславливает возможности реализации одного из трёх принципиальных вариантов;

I вариант – риск представляют как неизвестное – «чёрный ящик», поведение которого полностью зависит от входных воздействий (факторов X_i) и внутреннего состояния системы, т. е. $X_i \in Y_i$, что позволяет определить номенклатуру факторов (X_i), параметров Y_i и функциональную связь между ними – $Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n)$, где Y - целевой параметр (риск);

II вариант – риск представляют как фактор (одно из входных воздействий (X_p)), который наряду с другими факторами определяет состояние и поведение системы, что позволяет определить значимость влияния риска на состояние объекта и взаимосвязь фактора (X_p) с параметрами (Y_i);

III вариант – риск представляют как параметр (одну из выходных реакций Y_p), который, наряду с другими, определяет функционирование системы, что позволяет определить значимость риска для функционирования системы и взаимосвязь факторов (X_i) с параметром (Y_p).

Для анализа структурных составляющих абстрактной системы на разных уровнях целесообразно использовать структурный подход, который также может быть реализован по одному из следующих трёх вариантов:

I вариант – риск структурируют на уровни с неизменяющимися свойствами, что обеспечивает постоянство свойств структурных составляющих, при переходе с низких на более высокие уровни ($E_0=E_1=E_2$, где E_0, E_1, E_2 – соответственно свойство на уровне ($j+1$) и j);

II вариант - риск структурируют на уровни с аддитивно изменяющимися свойствами, что обеспечивает аддитивную зависимость свойств структурных составляющих низкого и высокого уровней ($E_0=E_1+E_2$);

III вариант – риск структурируют на уровни, связанные взаимодозначной зависимостью ($E_0=f(E_1, E_2)$).

Что касается синтеза абстрактных систем, т. е. образования новых эмерджентных или не эмерджентных свойств в процессе взаимодействия систем (элементов), то он также может быть реализован по одному из трёх вариантов:

I вариант – взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит, как минимум, к образованию у одного свойства нового качества, т.е. свойство E_k системы C_0 имеет новое качество (другие характеристики) по сравнению со свойствами E_1 и E_2 составляющих её систем (элементов);

II вариант - взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит, как минимум, к образованию нового свойства, принадлежащего тому же сингулярному классу систем, что и изучаемая система (объект), т.е. свойство E_k системы C_0 не имеет аналогов у составляющих её систем (элементов) C_1 и C_2 , но оно принадлежит тому же сингулярному классу;

III вариант - взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит, как минимум, к образованию одного нового свойства, принадлежащего другому сингулярному классу, чем изучаемая система (объект), т.е. свойство E_k системы C_0 не имеет аналогов у составляющих её систем (элементов) C_1 и C_2 и оно принадлежит другому сингулярному классу.

Все эти варианты чётко определены следующими свойствами эмерджентных систем:

- эмерджентные свойства не сводимы к свойствам элементов, составляющих систему, т. к. они существуют только при взаимодействии элементов (систем);
- эмерджентных свойств у системы всегда меньше, чем неэмерджентных;
- появление хотя бы одного эмерджентного свойства у совокупности взаимодействующих элементов трансформирует это образование в систему;
- не всякое взаимодействие элементов приводит к образованию у их совокупности эмерджентных свойств.

Отсюда, если взаимодействие приводит к изменению свойств структурных составляющих, то синтез абстрактных систем необходимо осуществлять на синергетическом подходе по аналогичным вариантам.

Однако, независимо от подхода, все методы анализа риска и неопределённости можно подразделить на следующие группы: качественные (экспертные, рейтинговых оценок, концептуальных переносов, историко-аналоговые, историко-ассоциативные), количественные статические (факторные изменяющиеся, функциональные с плавающими параметрами) и аналитические (по устойчивости и предельным значениям, критическим точкам, с формализацией неопределённости, определением адекватности по слабым связям и взаимодействиям).

Анализ же жизнеспособности систем и объектов [4], в зависимости от периода их функционирования, требует также выделять стратегический (в квазистабильный период) и тактический (в переходной период) риск. При этом учёт рисков в функционировании может быть слабым, только отдельных рискологических проблем и в интегральной форме, что и определяет кратко-, средне- и долгосрочную перспективы функционирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все это позволяет сделать вывод, что для практики бесспорно важнее является проблема не оценки риска и неопределённости функционирования, а выявление рискозащищённости систем и объектов, как параметра, характеризующего вероятность сохранения работоспособности внутрисистемных связей и адаптационную способность структурных составляющих и компонент системы к формируемой “враждебной” среде, т.е. экстремальным внешним и внутренним воздействиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. – С.Пб.: НИЦЭБ РАМ, 1998. – 482с.
2. Шведовский П.В., Волчек А.А., Лукша В.В. Оценка риска и неопределенностей при анализе эксплуатационной надежности инженерных объектов. Вестник БГТУ. Серия «Строительство и архитектура» Ч.1. – Брест.: Изд. БрГТУ, 2004, с. 245-249
3. Прикладные нечеткие системы. Пер. с япон./Под ред. Т.Терко. – М.: Мир, 1993. – 386с.
4. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. – Алматы.: Каганат, 2003. – 532 с.

УДК 551.58:626.8(476.7)

Мешик О.П.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА РЕЖИМЫ ГИДРОМЕЛИОРАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ)

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в научной литературе широко дискутируется вопрос влияния естественных и антропогенных факторов на изменение режима климатических характеристик. Глобальное потепление климата увязывается, в первую очередь, с антропогенными выбросами в атмосферу «парниковых» газов. За последнее столетие в Северном полушарии отмечается рост среднегодовой температуры приземного слоя воздуха на $0,6^{\circ}\text{C}$, а к середине XXI века ожидается ее увеличение еще на $2,5^{\circ}\text{C}$ и более [1]. Для территории Беларуси такие трансформации весьма значимы и способны оказать серьезное влияние на экономику. В частности, увеличение теплообеспеченности приведет к адекватному увеличению продолжительности вегетационного периода, что позволит, в итоге, при достижении оптимальной влагообеспеченности получать высокие и стабильные урожаи сельхозкультур. Рост температур воздуха неизбежно влечет за собой структурные изменения в режиме естественного увлажнения, прежде всего, увеличение суммарного испарения и асимметричные трансформации режима атмосферных осадков. Прогнозируемые изменения теплообеспеченности территорий повлекут за собой необходимость учета при планировании размещения сельхозкультур, проектировании водохозяйственных и мелиоративных мероприятий. Наиболее важным антропогенным фактором, повлиявшим на региональный климат Беларуси, признается широкомасштабная осушительная мелиорация, проведенная на территории Полесья в 1965-1984 гг. [2, 3, 4 и др.].

Основной целью работы является оценка современных режимов гидромелиораций в условиях изменяющегося климата.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются дефициты / избытки водопотребления основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в юго – западной, наиболее мелиорированной части Беларуси. В качестве исходных данных использовались материалы, расположенных на исследуемой территории шести метеостанций: Брест, Пружаны, Пинск, Ивацевичи, Ганцевичи, Барановичи. В качестве основного метода исследований принят тепловоднобалансовый, расчетное уравнение которого имеет вид [5]

$$W_{i+1} = W_{i-1} + KX_i - Z_{oi} - Y_i + G_i - J_i, \quad (1)$$

где W_{i+1} ; W_{i-1} – почвенные влагозапасы, соответственно, на конец и начало расчетного интервала времени (t); X_i – сумма атмосферных осадков за расчетный период; K – поправочный коэффициент, отражающий недоучет атмосферных

осадков, измеряемых осадкомерными приборами; Z_{oi} – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры (оптимальное суммарное испарение естественного растительного покрова) за расчетный интервал времени; Y_i – поверхностный сток; G_i – грунтовая составляющая водного баланса за тот же период; J_i – инфильтрация почвенной влаги из зоны аэрации в более глубокие слои почвогрунтов за время (t).

В течение вегетационного периода поверхностный сток на сельскохозяйственных полях наблюдается крайне редко и его среднее значение пренебрежительно мало, что делает возможным сокращение величины (Y_i) при решении балансового уравнения (1) для месячных интервалов времени. Оценка суммарного испарения прямыми измерениями практически невозможна, что предполагает ее аналитические расчеты с использованием связей с массово наблюдаемыми характеристиками, например, температурами воздуха. Инфильтрационная составляющая вертикального влагообмена зоны аэрации находится по методике, изложенной в [6]. Расчеты дефицитов / избытков водопотребления заданной обеспеченности ведутся с использованием средних многолетних балансовых величин уравнения (1). Гидромелиоративные нормы заданной обеспеченности определяются по формуле, исходя из нормального распределения вероятностей искомых величин [5]

$$M_{P\%} = M_{50\%}(1 + \Phi_{P\%} \cdot C_V), \quad (2)$$

где $M_{50\%}$ – гидромелиоративная норма 50% - ной обеспеченности; $\Phi_{P\%}$ – нормированное отклонение от среднего; C_V – коэффициент вариации.

Подход, при котором используются в инженерных расчетах средние многолетние значения характеристик (нормы), имеет определенные трудности. Так, в 1960 году Всемирная метеорологическая организация (ВМО) предложила для вычисления климатических норм использовать 30 – летние периоды наблюдений: 1931 – 1960 гг., затем 1961 – 1990 гг. Этот подход позволяет проводить обобщение данных всего мира, сохраняя, одновременно, однородность рядов наблюдений во времени. Однако в конце 80 – х годов прошлого столетия Региональная ассоциация VI (Европа) ВМО произвела пересмотр климатических норм, ввиду недостаточной обоснованности принятого периода (три «последних предшествующих десятилетия»). В настоящее время под периодом для вычисления норм понимается определенный период времени, достаточный для оценки параметров, получаемых из вероятностных распределений. Эти параметры за пределами данного периода для достаточно долгого времени должны оста-

Мешик Олег Павлович, доцент каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика