

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»

А.С. Фадеев
(ФГУП «ЦЭНКИ»)

Рассматриваются актуальные вопросы оценивания экологического ресурса перспективного космодрома. Предлагается новая методика мониторинга экологических последствий падения отделяемых частей ракет-носителей в отведённые районы, учитывающая не только текущие арендные и штрафные платежи, но и затраты в будущем при восстановлении экологической обстановки, нарушенной ракетно-космической деятельностью. Разработаны дифференциальные модели для прогнозирования показателя биопродуктивности в районах падения в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: экология, ракетно-космическая деятельность, район падения, безопасность, экологическая устойчивость, прогнозирование.

Введение

До недавнего времени вопросам воздействия запусков космических аппаратов (КА) на экологические системы при создании и эксплуатации космической техники уделялось недостаточное внимание. Однако с начала 2000-х годов в связи с широким проникновением рыночных отношений во все сферы экономики появился положительный опыт внедрения ряда направлений экологического мониторинга на космодромах Байконур и Плесецк. Полученные наработки заслуживают высокой оценки и должны быть масштабно развёрнуты в ходе создания космодрома «Восточный», обеспечив приемлемый уровень экологической безопасности ракетно-космической деятельности (РКД).

Одной из ключевых для достижения данной цели является проблема организации и проведения мониторинга состояния экосистем районов падения (РП) отделяемых частей (ОЧ) ракет космического назначения (РКН), планируемых к запуску со стартовых комплексов космодрома «Восточный».

В настоящее время вопросы использования районов падения отделяющихся частей (РПОЧ) РКН регулируются, в основном, требованиями, изложенными Постановлением Правительства РФ от 31 мая 1995 № 536. Согласно этим требованиям организации, обеспечивающие пуск РКН, должны заключать договор с органами исполнительной власти субъектов РФ на эксплуатацию РП ОЧ РКН. Подобный договор предусматривает обеспечение не только безопасности населения, живущего или работающего в РП, но и компенсацию ущерба, возникающего в результате эксплуатации РП, а также проведение работ по эвакуации ОЧ РКН, и возвращению земель, отчужденных в РП, в хозяйственное пользование. Мониторинг экологического состояния РП позволит получать достоверную и оперативную информацию о воздействии на окружающую среду в РП падающих отработавших ракетных блоков. Таким образом во многих случаях появляется возможность существенно снизить суммы штрафных претензий к космодрому со стороны мест-

ных и федеральных природоохранных органов и сократить будущие затраты на восстановление природных комплексов при возвращении РП в хозяйственное пользование.

Под экологическим мониторингом понимается система регламентированных наблюдений с запрограммированным пространственным, временным и компонентным разрешением, оценки и прогнозирования состояния природной среды и природных ресурсов, включая биотическую составляющую, и источников антропогенного воздействия. В данной статье основное внимание уделяется системе прогнозирования состояния окружающей среды в РП.

1. Общая характеристика состояния экосистем в районах падения ОЧ РКН

Если учесть, что в рыночной экономике стоимость земли во времени имеет тенденцию к росту, а точки падения ОЧ для заранее неизвестных траекторий выведения РКН, вообще говоря, также неизвестны, то для удовлетворения широкого круга технических задач по выведению КА необходимо решать не только экономические задачи обеспечения возможности выведения РКД, но и задачу о количестве, местоположении, границах районов падения и их использовании с учётом экологических последствий РКД.

Приоритетность задач РКД в различных условиях общественно-политической обстановки можно представить следующей схемой (табл. 1).

Таблица 1

Периоды общественно-политической обстановки	Уровни приоритетов направлений РКД		
	Технико-баллистический	Экологический	Экономический
Конфликтный	Высший	Нет	Низкий
Угрожаемый	Высший	Средний	Средний/высший
Мирный	Средний	Высший	Высший

Из схемы в табл. 1 следует, что только в период ведения боевых действий экологическая обстановка не может приниматься во внимание в планах выведения КА. В рыночных условиях приоритетность эколого-экономических направлений РКД может существенно влиять на результаты планирования запусков КА.

Следует также учитывать, что характер влияния РКД в районах падения неоднороден по составу и в общем виде определяется нормативами, указанными в Федеральном Законе РФ «Об охране окружающей среды». Таким образом, возникает задача обеспечения законодательно закреплённых экологических нормативов при выборе конкретного района для падения ОЧ, запускаемой РКН. В современной природоохранной нормативно-методологической базе экологическая обстановка классифицируется следующими степенями экологического неблагополучия:

- относительно удовлетворительная;
- напряженная;
- критическая;
- кризисная (зона чрезвычайной экологической ситуации);
- катастрофическая (зона экологического бедствия).

Очевидно, что достижение каждой из перечисленных обстановок потребует различных по величине, но всегда относительно продолжительных экономических вложений, направленных на устранение негативных последствий. В связи с этим кроме платы за пользование землей всего РП, необходимо также учитывать и подобные экологические расходы, особенно если в ОЧ сохраняются остатки токсического топлива (после падения) или содержатся элементы с радиоактивными свойствами.

Обычно для получения обобщённой количественной оценки экологической обстановки по районам падения ОЧ предлагается воспользоваться, например, простой весовой схемой

$$\gamma_{\Sigma} = \sum_{k=1}^5 \gamma_k \sum_{q=1}^Q \sigma_{qk},$$

где σ_{qk} – доля площади S_q q -го района падения, имеющая k -ю степень экологического неблагополучия; γ_k – вес k -й степени, либо векторной схемой

$$\left\{ \gamma_k \sum_{q=1}^Q \sigma_{qk} \leq \gamma_{\Sigma k}^{\text{ПД}}, k = 1, \dots, 5 \right\},$$

где $\gamma_{\Sigma k}^{\text{ПД}}$ – предельно допустимые показатели.

С учётом этих схем далее можно оценить суммарные экономические затраты, направленные на устранение негативных последствий РКД:

для простого весового показателя

$$C_{\Sigma} = C_{\text{уд}} \gamma_{\Sigma},$$

где $C_{\text{уд}}$ – удельные затраты восстановления, приходящиеся на одну долю площади всех районов падения и на каждый балл веса экологического неблагополучия;

для векторной схемы

$$C_{\Sigma} = \sum_{k=1}^5 C_{\text{уд}k} / \left(\gamma_{\Sigma k}^{\text{ПД}} - \gamma_k \sum_{q=1}^Q \sigma_{qk} \right),$$

где $C_{\text{уд}k}$ – удельные затраты восстановления, приходящиеся на одну долю площади на каждый балл «недора» веса относительно предельного экологического неблагополучия.

Учитывая, что ведущая роль при вычислении степеней экологического неблагополучия от РКД отводится влиянию токсических компонентов ракетного топлива (ТКТ), в качестве веса γ предлагается использовать показатель критических нагрузок ТКТ:

$$\gamma = CL = \ln \left(CL(T) + \eta_{\text{SOL}} + \eta_{\text{OX}} + \eta_{\text{BIO}} + \eta_{\text{ELU}} \right),$$

где $CL(T)$ – критические нагрузки токсических соединений на наземные и пресноводные экосистемы с учётом эвтрофирующего воздействия; η_{SOL} – допустимое поглощение прочно-связных форм в составе твердой фазы почв, не вызывающее нарушения функционирования экосистем; η_{OX} – количество ТКТ, окисляемое кислородом и восстановленными формами химических элементов; η_{BIO} – биогенная иммобилизация; η_{ELU} – допустимое вымывание ТКТ из наземных экосистем без возможного загрязнения почвенно-грунтовых и поверхностных вод.

Все суммируемые под знаком логарифма величины измеряются однообразно [$\text{г}/\text{м}^2/\text{год}$].

Очевидно, что явная аддитивность введенных экологических и экономических показателей позволяет сделать вывод о том, что при выборе падения ОЧ в q -й район в процессе выведения i -го КА по данной методике может быть вычислена суммарная оплата $C_{\Sigma qi} \Delta CL_{qi}^*$, связанная с поддержанием показателя критических нагрузок ТКТ в заданных пределах ΔCL_{qi}^* . При этом обычно оплата $C_{\Sigma qi} \Delta CL_{qi}^*$ распре-

ляется на m_{qi} одинаковых периодических платежей $C_{qi} \Delta CL^*_{qi}$ из расчёта объективно длительного периода восстановления экологической обстановки и с учётом особенностей q_i -го района падения.

2. Концептуальная модель экологической обстановки в районах падения отделяемых частей космодрома «Восточный»

Результатом оценки экологической обстановки в РП ОЧ РКН, которые предполагается запускать со стартовых комплексов космодрома «Восточный» должно являться определение степени экологического неблагополучия территории в соответствии с существующей классификацией. При оценке последствий падения ОЧ РКН в РП учитываются следующие допущения:

1. Собственно механическое повреждение почвенного покрова в РП ступеней РКН не носит площадного характера и локализовано на местах падений обломков. Однако наличие остатков взрыво- и пожароопасных КРТ может привести в возникновению серьёзных пожаров на больших площадях, особенно в лесных зонах РП.

2. Химическое воздействие носит локальный характер. Тем не менее, постоянное загрязнение создаёт опасность возникновения стойких изменений в функционировании экосистем, нарушая биотические процессы, изменяя видовой состав биогеоценозов.

3. Экосистемы способны активно противостоять негативному воздействию ОЧ РКН, однако количественные характеристики этого явления нуждаются в серьёзном изучении.

4. На настоящий момент не определены величины допустимых нагрузок на экосистемы, которые не вызывают химических изменений, приводящих к долговременным негативным воздействиям на структуру и функционирование экосистем.

Следует отметить, что общепринятая в настоящее время система нормирования техногенной нагрузки ориентирована, прежде всего, на сохранение здоровья человека. Эта система опирается на санитарно-гигиенические показатели пороговости, в основу которых в большинстве случаев положены предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в различных средах. Однако методика установления ПДК не лишена недостатков, анализ которых представлен в табл. 2.

Применение методики ПДК для РП не обеспечивает реализацию системного подхода и может привести к следующим парадоксальным ситуациям.

С одной стороны, техногенное воздействие, практически не наносящее вреда человеку, в перспективе может оказаться разрушительным для природных экосистем.

С другой стороны, загрязнение окружающей среды может не вызывать ощутимых изменений, но спровоцировать процессы, приводящие к разрушительным последствиям и при сохранении здоровья ныне живущих людей, нанести непоправимый ущерб будущим поколениям.

С учётом вышеизложенного необходимо, чтобы приоритет оценки экологической ситуации в РП был смещён с человека на природные экосистемы. При этом экологические нормы должны быть определены в расчёте на устойчивость и регенерационные возможности природной среды РП.

Согласно Федеральному Закону Российской Федерации «Об охране окружающей среды» выделяются следующие группы нормативов окружающей среды:

- нормативы, установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ;
- нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды;
- нормативы, установленные в соответствии с биологическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с учётом видов и групп растений, животных и других организмов, используемых как индикаторы качества окружающей среды.

При установлении нормативов качества окружающей среды РП должны учитываться:

- природные особенности территорий и акваторий;
- назначение природных объектов и природно-антропогенных объектов;
- особо охраняемые природные территории;
- природные ландшафты, имеющие особое природоохранное значение.

В результате проведённого анализа можно условно

Таблица 2

Анализ методических приёмов при определении ПДК

Методический прием	Недостатки
Разработка проводится по общему содержанию загрязнителя в почвах	Для живых организмов токсичны только подвижные формы элементов
Эксперименты проводятся на стандартных образцах почв с заданными свойствами	В природе встречается многообразие почв с различными свойствами, в которых токсичность одного и того же вещества различна
Методика установления ПДК для почв написана, исходя из загрязнения стабильными, долго не разлагающимися веществами	При оценке стабильности принято считать, что вещества с периодом полного распада в 5 – 6 дней не подлежат нормированию

выделить два основных вида воздействия ОЧ РКН на окружающую среду:

1. Физическое воздействие, которое вызывает:

- механическое повреждение почвенного и растительного покровов;
- механическое загрязнение поверхности фрагментами отделяющихся частей;
- возникновение пожаров.

2. Химическое воздействие, которое проявляется в загрязнении экосистем (почв, растительности, приземного слоя атмосферы и т. д.) КРТ, так и продуктами их трансформации или сгорания.

Для поддержания благоприятной окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в РП, подверженных воздействию ОЧ РКН, необходимо установить следующие экологические нормативы:

- лимиты на временное размещение фрагментов отделяющихся частей ракет-носителей с последующим обязательным вывозом и утилизацией;
- нормативы допустимого механического повреждения почвенного и растительного покрова;
- нормативы предельно допустимых (критических) нагрузок загрязняющих веществ КРТ и токсичных продуктов их разложения, на ландшафты территорий РП (или почвы, растения и т. д.).

Одним из распространенных способов полуколичественной оценки допустимой нагрузки является экспертная балльная характеристика устойчивости природных экосистем. Несмотря на то, что такая оценка вносит в характеристику устойчивости определенную долю субъективизма, система балльных оценок, максимально учитывающая всё многообразие факторов, позволяет достаточно объективно отразить уровень их устойчивости по отношению к антропогенному воздействию.

Количественную оценку возможного воздействия загрязняющих веществ, поступающих в РП на наземные и водные экосистемы, можно осуществить на основе одного из двух подходов: оценить различие между актуальными и критическими нагрузками; при заданной нагрузке оценить время достижения максимальной концентрации, установленной для загрязняющего вещества в компонентах экосистем.

Первый подход связан с расчётами критических нагрузок и использует биогеохимические показатели самоочищающей способности и устойчивости экосистем к КРТ. Второй подход предполагает предварительное установление ПДК для различных соединений, что само по себе связано с рядом неопределенностей, рассмотренных выше.

Под критической нагрузкой понимается максимальное количество загрязняющего вещества, поступление которого не сопровождается необрати-

мыми изменениями в биогеохимической структуре, биоразнообразии и продуктивности экосистем в течение длительного времени в соответствии с современным уровнем знаний.

Для расчёта критических нагрузок можно использовать два типа моделей:

– нединамические модели позволяют предсказать долговременные изменения в биогеохимической структуре как наземных, так и водных экосистем под воздействием антропогенного загрязнения;

– динамические модели необходимы для оценки периода, в течение которого эти изменения произойдут в той или иной экосистеме, что позволит моделировать различные сценарии воздействия ракетного топлива на экосистемы.

Входные параметры этих моделей для ОЧ РП рассчитываются на основе алгоритма для расчёта критических нагрузок ТКТ по уравнению для величины γ (см. выше).

Величины рассчитанных критических нагрузок сравниваются с экспериментальными или модельными значениями. Это позволяет рассчитать превышение критических нагрузок при его наличии для РП. Рассчитанные величины превышений могут быть использованы, например, в эколого-экономических моделях для выбора различных сценариев оптимизации программ выведения КА.

В отличие от оценки по ПДК, предлагаемая методика использует свойство устойчивости природных экосистем к данному виду воздействия и поэтому требует дополнительного сбора информации по всем параметрам модели. К этим данным относятся: данные о биогеохимических циклах химических элементов, о почвенных, геоботанических, геологических, климатических, гидрологических, гидрохимических и других условиях, поступлении загрязнителей с различными техногенными потоками, современном состоянии уровня загрязнения рассматриваемых природных наземных и водных экосистем, а также результаты модельных экспериментов по самоочищающей способности почв, загрязнённых КРТ.

При окончательной оценке экосистемы в РП можно выделить следующие уровни её состояния:

- естественное состояние: фоновое воздействие ОЧ РКН; биомасса максимальна, биологическая продуктивность – в допустимых пределах;
- равновесное состояние: скорость восстановительных процессов выше или равна темпу нарушений, биологическая продуктивность больше естественной, биомасса начинает снижаться;
- кризисное состояние: нарушения за счёт ОЧ РКН превышают по скорости естественно-

восстановительные процессы, но сохраняется естественный характер экосистем, биомасса снижена, биологическая продуктивность резко повышена;

– критическое состояние: обратимая замена прежде существовавших экологических систем под воздействием ОЧ РКН на менее продуктивные (частичное опустынивание), биомасса мала и снижается;

– катастрофическое состояние: труднообратимый процесс закрепления малопродуктивных экосистем (сильное опустынивание), биомасса и биологическая продуктивность минимальны;

– состояние коллапса: необратимая потеря биологической продуктивности, биомасса стремится к нулю.

На основе этих показателей экологическая обстановка классифицируется по степени экологического неблагополучия:

- относительно удовлетворительная;
- напряжённая;
- критическая;
- кризисная (зона чрезвычайной экологической ситуации);
- катастрофическая (зона экологического бедствия).

3. Моделирование изменения экологической ситуации в РП

При моделировании (прогнозировании) развития ситуации в РП или определении возможных последствий планируемого изменения воздействия ОЧ РКН могут использоваться следующие методы:

– метод аналогов, основанный на анализе многолетних статистических данных об изменении окружающей среды под воздействием отдельных факторов;

– метод математического моделирования процессов, основанный на теоретических расчётах, характеризующих распространение загрязнений и изменение характеристик объектов окружающей среды.

Различают краткосрочное и долгосрочное прогнозирование изменения экологической обстановки. Применительно к РП ОЧ под краткосрочным прогнозированием следует понимать прогноз изменения ситуации в используемых районах с учётом плана пусков на очередной год. В зависимости от задач, определяемых Федеральной космической программой, программой пусков в интересах обеспечения обороны и безопасности и наличия заказов на запуск коммерческих космических аппаратов интенсивность использования конкретных РП может изменяться от одного пуска за два – три года до десяти-пятнадцати пусков в год. При составлении краткосрочного (годового) прогноза основной задачей является формирование предполагаемой картины состояния окружающей среды на основе известного воздействия единичных пусков и данных о реакции окру-

жающей среды. Наличие в программе запуска КА «единичных» новых РКН, использующих ранее не применявшиеся КРТ, вновь отведенные РП, оказывающих специфическое воздействие на окружающую среду, не имеет принципиального значения при составлении краткосрочного прогноза, так как количество таких пусков в первый год их осуществления заведомо мало.

При составлении долгосрочных прогнозов необходимо учитывать тенденции перспективного развития РКД. С точки зрения эксплуатации РП ОЧ РКН, перспективными изменениями факторов воздействия могут быть:

- уменьшение площади единичных РП (более кучное приземление ОЧ);
- использование новых КРТ;
- изменение массы и материала фрагментов конструкции, сочетание различных факторов воздействия на одной территории (комплексное использование одного РП для ОЧ различных РКН).

Вообще говоря, к долгосрочному прогнозированию следует отнести оценку возможного влияния падения ОЧ в морские акватории (предусмотренные планами создания космодрома «Восточный»), поскольку оценить влияние единичного падения в морскую акваторию невозможно. Однако в настоящее время даже принципы оценки последствий падения ОЧ РКН в морские акватории ещё не разработаны.

Для прогнозирования развития экологической ситуации на больших территориях при отсутствии данных о состоянии этой территории в предыдущие периоды наиболее предпочтительным представляется применение метода моделирования. Для этого расчётным путём определяется зона и уровень воздействия от планируемых нагрузок, затем на основе имеющейся информации прогнозируется ответная реакция объектов природной среды.

В итоге по результатам моделирования изменения экологической ситуации в РП ОЧ РКН необходимо рассчитать суммарные затраты на возможное восстановление относительно удовлетворительной ситуации. Для этого, в соответствии с изложенной выше классификацией методов оценки экологической ситуации, предлагается использовать методику расчёта прогнозируемого (возможного) ущерба от падения ОЧ РКН в РП, основные элементы которой представлены на рис. 1.

4. Модель долгосрочного прогнозирования косвенного ущерба от нарушения экологической устойчивости в РП

Классическая оценка устойчивости любых динамических систем опирается на понятие окрестности изменения параметров состояния экосистемы. При этом система считается устойчивой отно-

сительно введённого понятия окрестности, если при достаточно малых техногенных воздействиях на неё малы и изменения её параметров состояния.

Анализ методов А.М. Ляпунова для определения устойчивости экосистем дан в работе [1]. В работе рассмотрена устойчивость систем в целом (абсолютная устойчивость). Показано, что механизмы устойчивости экосистем настолько сложны и многообразны, что основная трудность в их теоретическом исследовании связана с построением адекватной математической модели. Учитывая принципиальную нерешённость на сегодняшний день вопроса о применимости понятия абсолютной устойчивости по Ляпунову для биологических систем, предлагается использовать конструктивный подход: судить об устойчивости природного комплекса РП в целом на основании результатов исследования основного регулирующего механизма поддержания экологического равновесия – продукции биомассы растительности.

Элементарная система уравнений модели продукции биомассы растительности (биопродуктивности):

$$\frac{dm_{6,м}}{dt} = -k_1 m_{6,м} + k_2 m_{6,п};$$

$$\frac{dm_{6,п}}{dt} = -k_3 (m_{6,п} - m_{6,п}^{\min}) - k_4 m_{6,м} + u,$$

где $m_{6,м}$ – биологическая масса; $m_{6,п}$ – биологическая продуктивность; $k_i > 0$ – параметры модели, $i = \overline{1,4}$; $m_{6,п}^{\min}$ – минимальная («естественная») биопродуктивность; $u = \sum_{h=1}^H u_{oh}(r_{oh}) e^{-\beta(t-t_{ochh})} \Delta(t-t_{ochh})$ – суммарное возмущение биопродуктивности от падения H ОЧ (каждая в момент t_{ochh} , заданный из предыдущей методики технико-баллистического проектирования); β – показатель скорости ослабления вредного влияния КРТ; $u_{oh}(r_{oh})$ – начальное возмущение биопродуктивности, определяемое начальной круговой зоной разлива КРТ с радиусом r_{oh} .

Для определения параметра $u_{oh}(r_{oh})$ также используется алгоритм расчёта критических нагрузок ТКТ на экосистему:

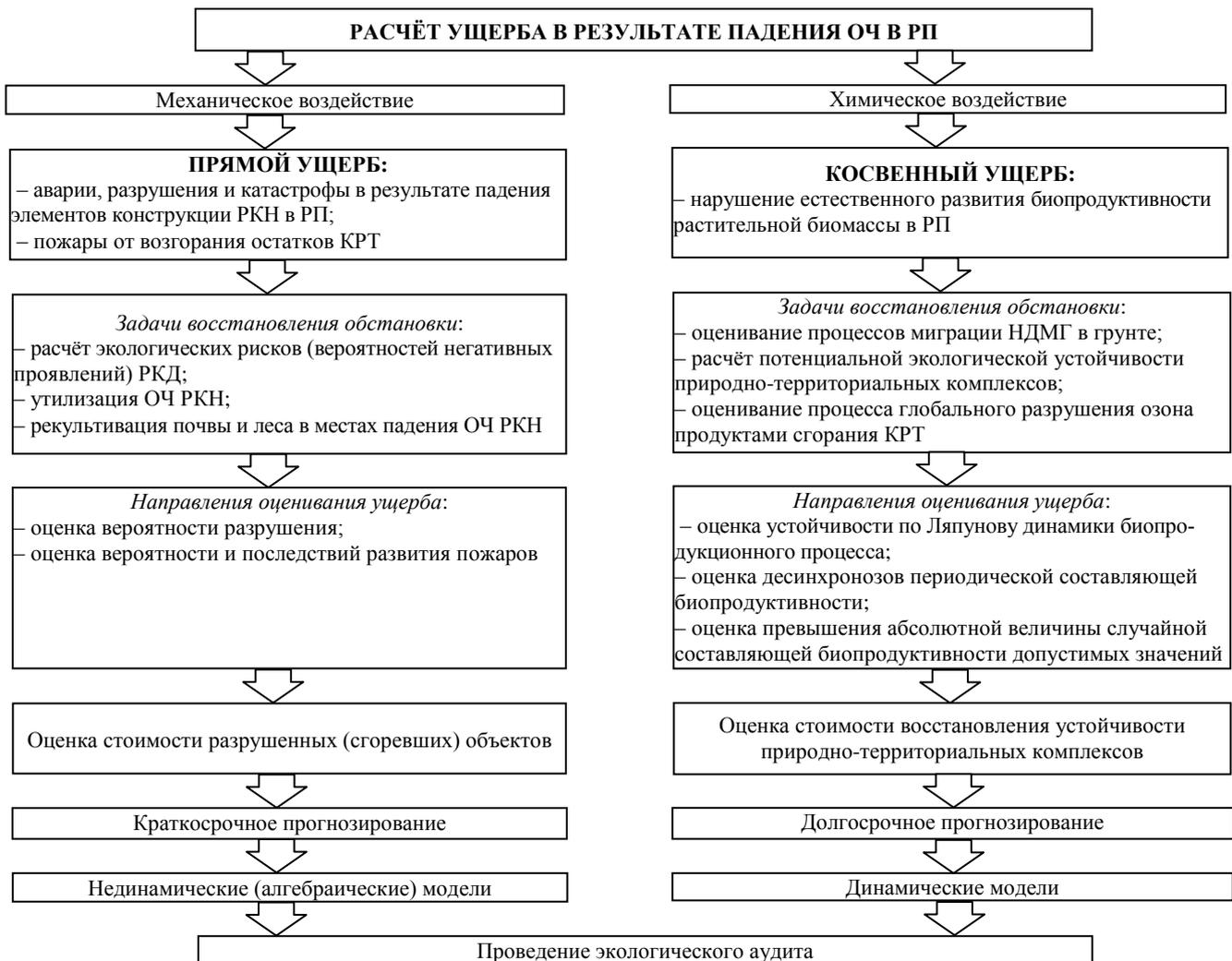


Рис. 1. Структура методики мониторинга экологических последствий падения ОЧ в РП

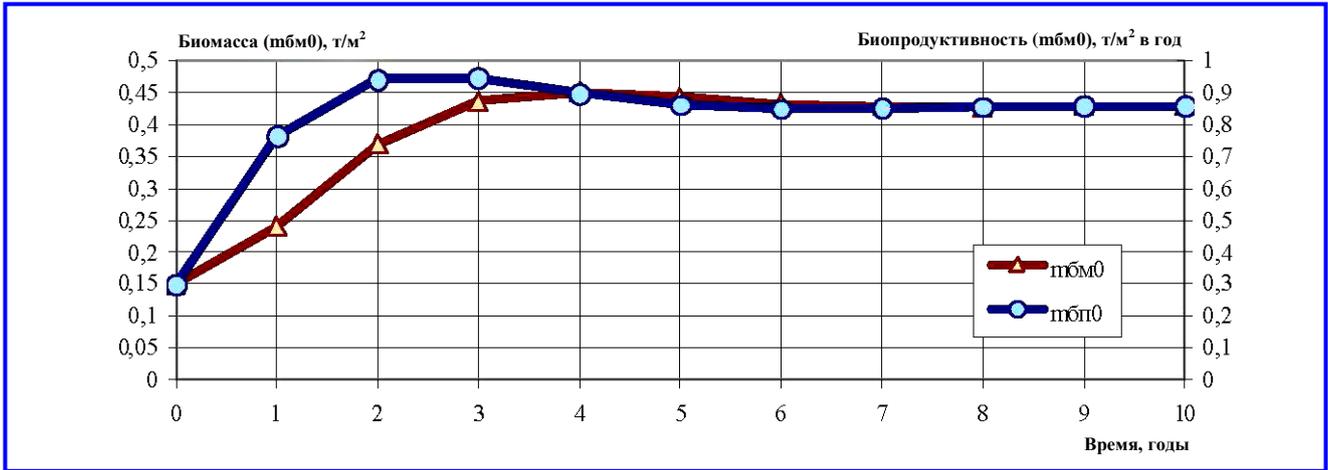


Рис. 2. Процесс «пионерской» стадии установления экологической устойчивости со слабо выраженным десинхронизмом

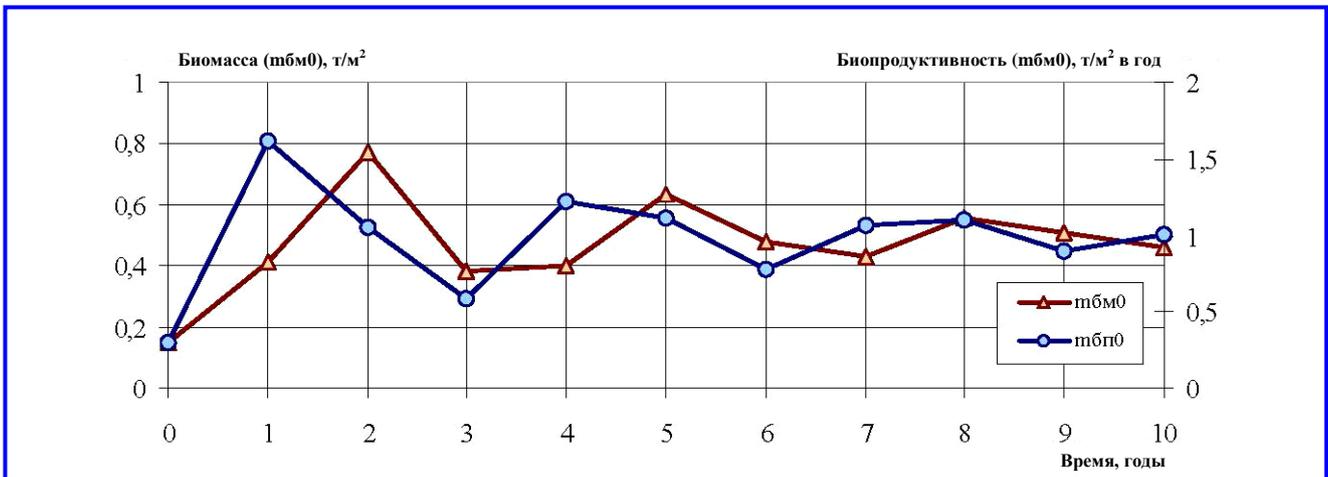


Рис. 3. Процесс «климатической» стадии экологического состояния с выраженным десинхронизмом

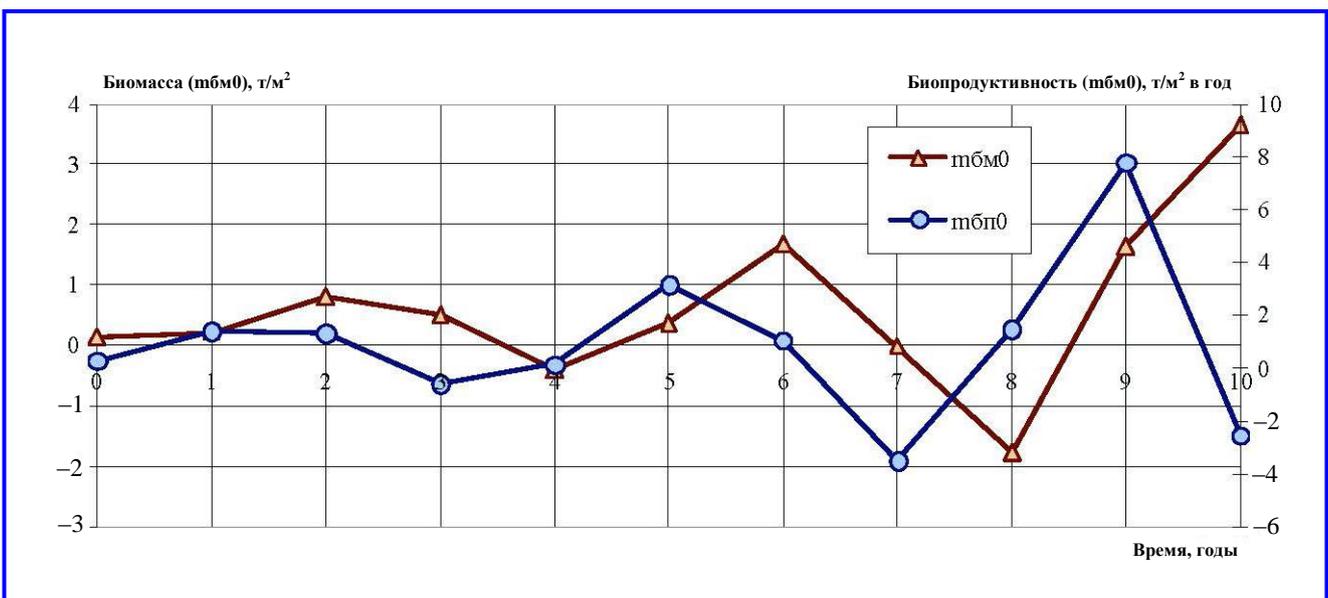


Рис. 4. Процесс катастрофического десинхронизма экологического состояния

$$\gamma = CL = \ln(CL(E) + \eta_{SOL} + \eta_{OX} + \eta_{BIO} + \eta_{ELU}).$$

Параметры модели оцениваются по результатам среднеквадратического отклонения от временного ряда R_0 для случая невозмущенного движения.

4.1. Оценка десинхронизации периодической составляющей невозмущенной биопродуктивности

Для биологических систем, в том числе для растительности, характерно периодическое изменение их характеристик. Период таких колебаний может быть связан как с естественными геокосмическими циклами (сменой дня и ночи, времени года, солнечной активностью и т. д.), так и с другими, внутренне обусловленными причинами, например, колебаниями биологических макромолекул, интенсивностью протекания биохимических реакций, структурными особенностями и т. д. В свою очередь, характеристики биологических ритмов подвержены флуктуациям, имеющим естественные и техногенные причины.

Периодические изменения биопродуктивности обусловлены, прежде всего, сезонными (циклическими изменениями температуры, влажности, продолжительности светового дня) и геокосмическими (циклы солнечной активности) факторами. Эти внешние факторы синхронизируют периодические изменения биопродуктивности. Десинхронизация может быть выявлена путём вычисления корреляций временных рядов наблюдений биопродуктивности с временными рядами сезонных и геокосмических факторов. В случае ухудшения таких корреляций можно сделать вывод о десинхронизации.

В предложенной дифференциальной модели десинхронизация учитывается с помощью коэффициентов $k_i > 0$, $i = \overline{1,4}$ при невозмущённом движении $u \equiv 0$. Результаты исследований десинхронизации представлены на рис. 2 – 4.

4.2. Влияние ОЧ РКН на отклонения биопродуктивности в РП от допустимых значений

Отклонение биопродуктивности природного комплекса РП от допустимых значений может быть обусловлено как нарушением внешних задающих сезонных и геокосмических ритмов, так и техногенным воздействием ОЧ РКН на природную среду. Очевидно, что выход периодической составляющей биопродуктивности за допустимый (заданный) предел с большой вероятностью может привести к необратимым экологическим нарушениям в состоянии природного комплекса РП. Для определения этого предела вводится понятие экологиче-

ской техноёмкости территории (ЭТТ) [2, 3].

Определение. Под ЭТТ понимают обобщённую характеристику природного комплекса, количественно соответствующую максимальной техногенной нагрузке, которую он может выдержать и переносить в течение длительного времени (годы) без нарушения своих структурных и функциональных свойств.

С одной стороны, ЭТТ – это показатель способности природной системы к регенерации изъятых из неё ресурсов и к нейтрализации вредных антропогенных воздействий, с другой – это мера максимально допустимого вмешательства человеческой деятельности в природные циклы.

Расчёт предельной ЭТТ основан на эмпирически подтверждённом допущении, согласно которому ЭТТ составляет долю общей экологической ёмкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений (в данном случае) абсолютных величин биопродуктивности от естественного уровня. Достижение предела устойчивости природного комплекса фиксируется по превышению уровня изменчивости ЭТТ. Для заданного РП это можно отнести на счёт воздействия ОЧ РКН.

Рассмотренная выше модель позволяет оценить показатель ЭТТ в случае периодического попадания ОЧ в заданный РП. Для этого в модель вводится комплексный параметр возмущения биопродуктивности вследствие падения ОЧ, связанный с величиной критических нагрузок НДМГ. Пример изменения такого возмущения во времени представлен на рис. 5.

Долгосрочный прогноз влияния возмущения от падения ОЧ в РП представлен на рис. 6 – 11. При этом на рис. 6, 8 и 10 представлены результаты расчёта десинхронизации периодической составляющей биопродуктивности.

На рис. 7, 9, 11 представлены результаты прогноза показателя ЭТТ для изменяющейся частоты падения ОЧ в РП. Для расчётов задавалась величина критического уровня ЭТТ в 0,2 ед. по биопродуктивности (минимум на рис. 7). Для этой величины показатель ЭТТ при однократном падении ОЧ в РП равен 1.

Справедливость такой оценки очевидна при сравнении результатов на рис. 2 и 7. Расчёты по рис. 9 и 11 дают величины ЭТТ 0,568 и 0,342 соответственно. Таким образом, значение показателя ЭТТ ниже 0,5 может служить индикатором существенного ухудшения экологической обстановки в РП.

В качестве примера практического применения предложенной методики в интересах реализации общей методики планирования запусков можно определить алгоритм расчёта косвенного экономического ущерба, нанесённого падением ОЧ в РП.

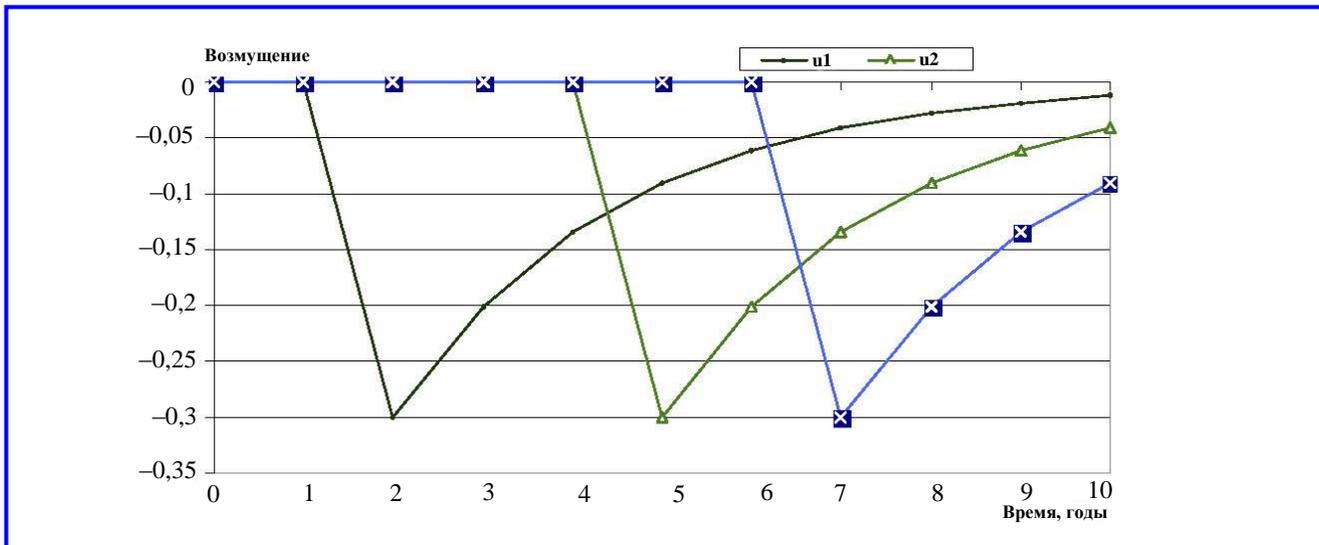


Рис. 5. Оценка изменения возмущений биопродуктивности при трёх попаданиях ОЧ в РП

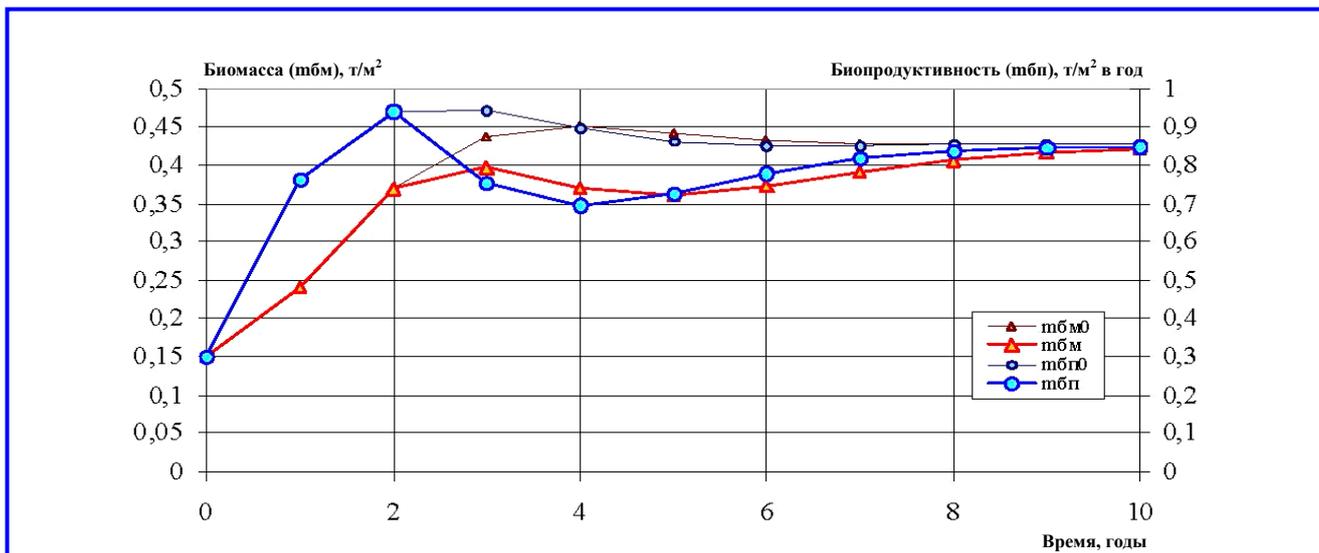


Рис. 6. Процесс со слабо выраженным десинхронизмом в результате однократного падения ОЧ в РП

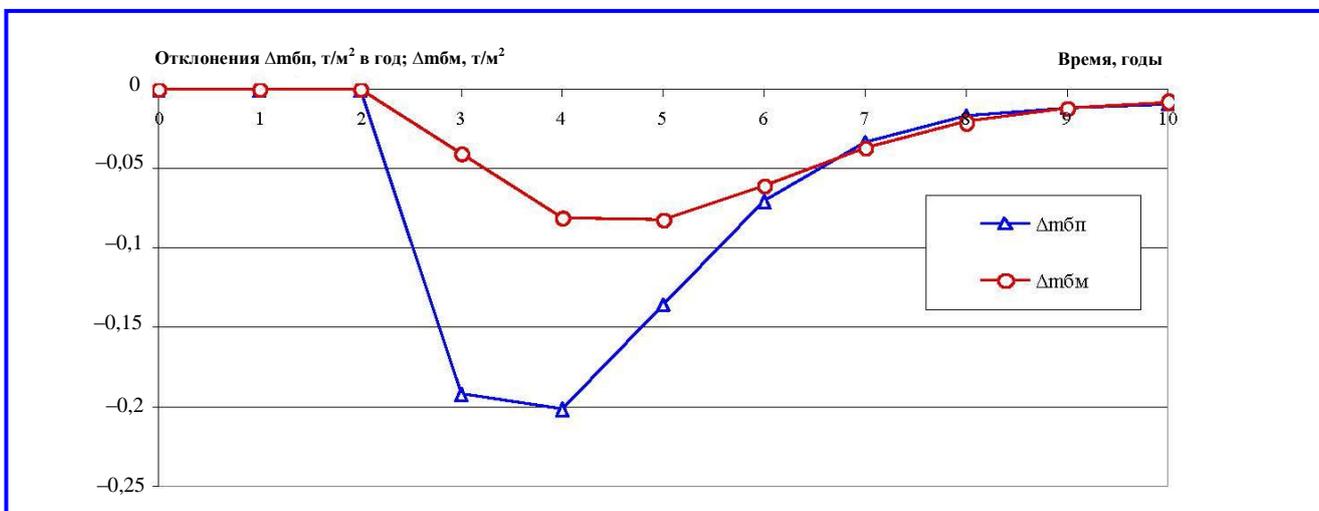


Рис. 7. К расчёту показателя ЭТТ для случая однократного падения ОЧ в РП

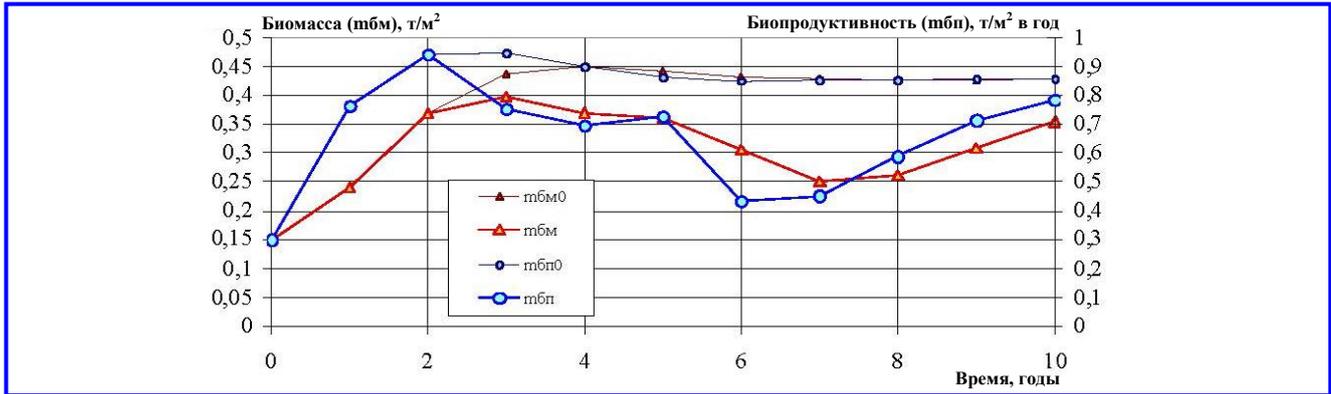


Рис. 8. Процесс с сильно выраженным десинхронозом в результате двукратного падения ОЧ в РП

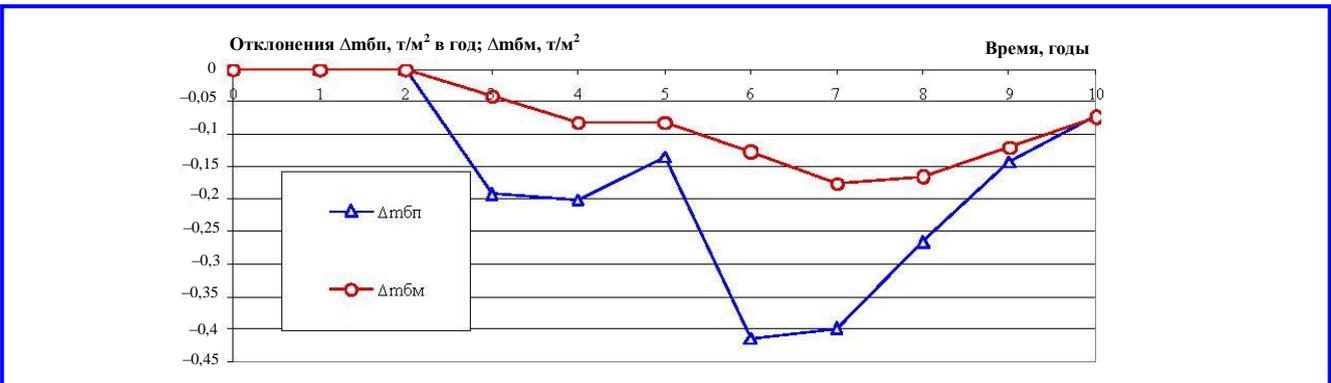


Рис. 9. К расчёту показателя ЭТТ для случая двукратного падения ОЧ в РП

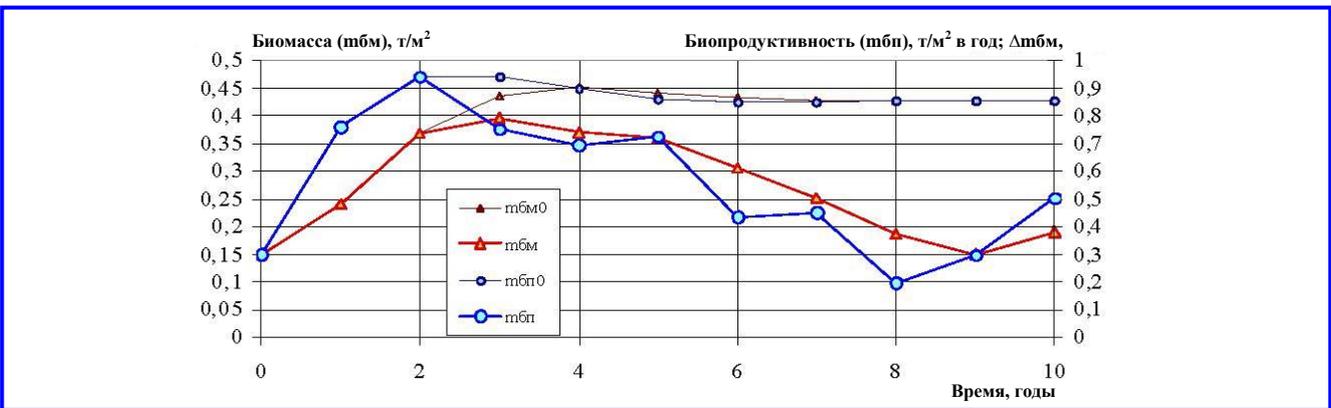


Рис. 10. Катастрофический десинхроноз, вызванный частым падением ОЧ в РП

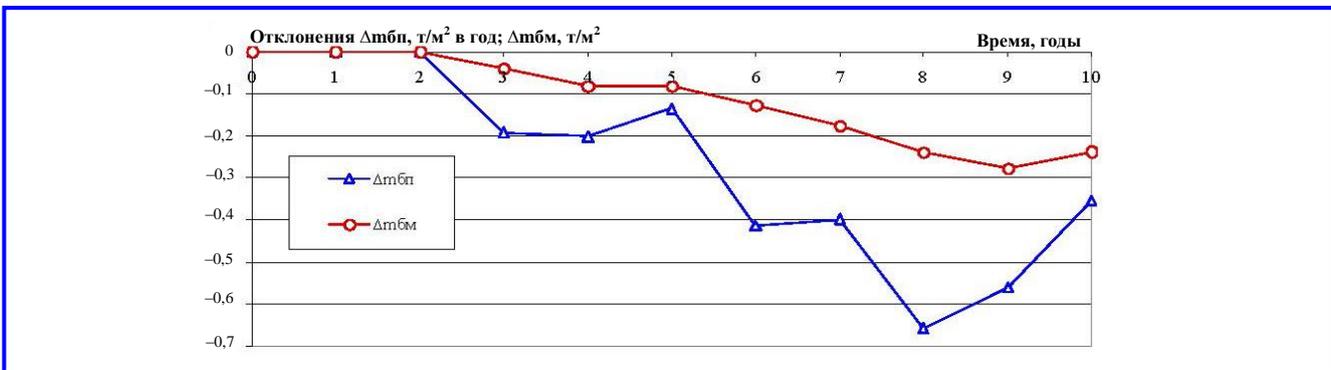


Рис. 11. Показатель ЭТТ на пределе устойчивости экосистемы для случая многократного падения ОЧ в РП

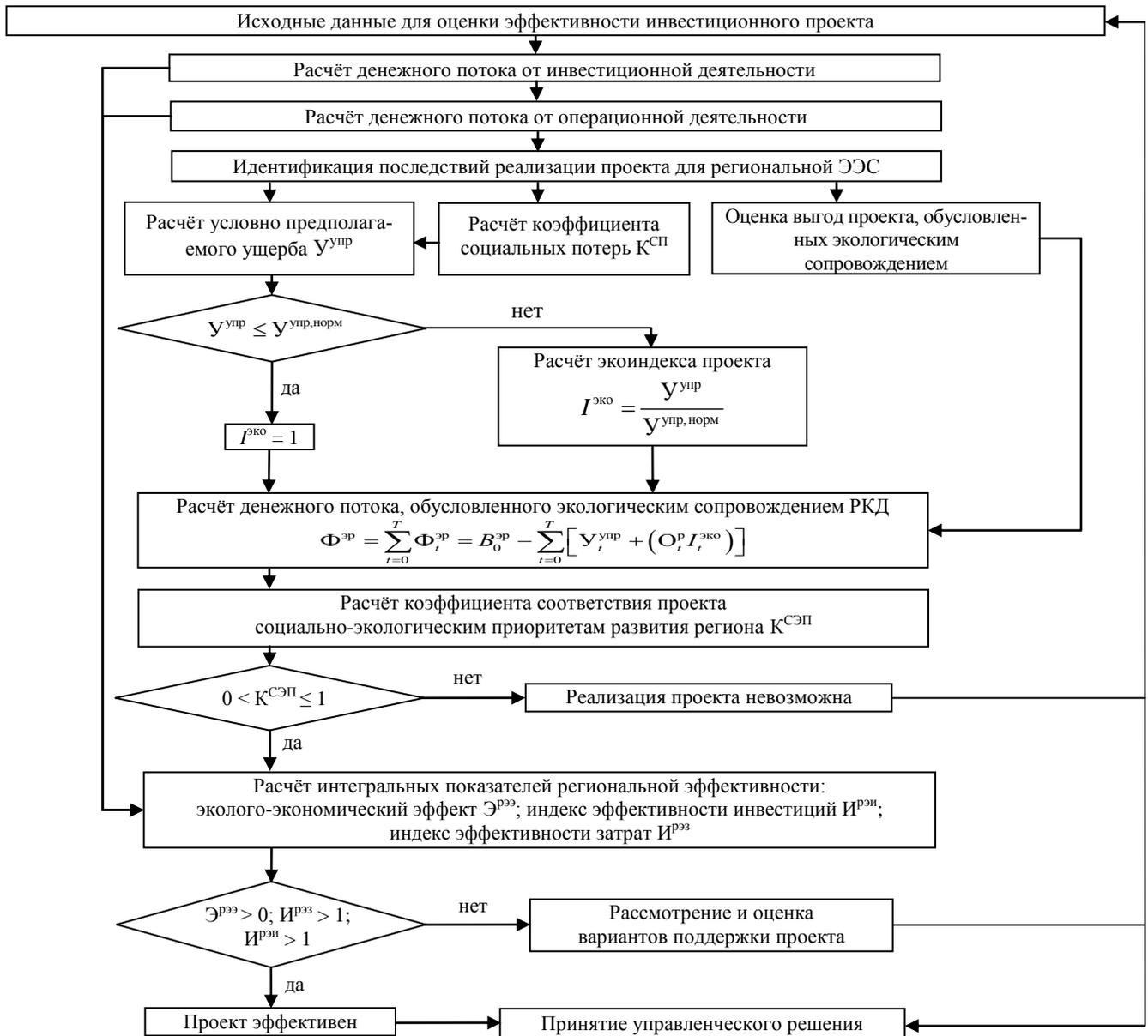


Рис. 12. Алгоритм оценивания показателей региональной эколого-экономической эффективности проекта «Восточный»

С учётом количества ОЧ попавших в данный РП определяются периоды времени $\Delta t_l^{HEУСТ}$ выхода экосистемы из состояния равновесия. Тогда косвенный экологический ущерб вычисляется по формуле:

$$C_{KB}(t_{монитор}) = \sum_l \alpha_l \left(\sum_{Entry} C_{Entryl} \right) \Delta t_l^{HEУСТ},$$

где α_l – удельный коэффициент зависимости затрат от длительности неустойчивого состояния, определенной за период мониторинга $t_{монитор}$; $C_{Entry l}$ – постоянные затраты на восстановление экологического равновесия.

5. Алгоритм оценивания показателей региональной эколого-экономической эффективности проекта создания и эксплуатации космодрома «Восточный»

Предлагаемый алгоритм построен на основе учёта рассмотренных выше методик оценивания параметров, характеризующих последствия реализации РКД космодрома «Восточный» для региональной эколого-экономической системы и соответствия этого проекта социально-экологическим приоритетам развития территории. Схема данного алгоритма представлена на рис. 12.

В качестве базовых характеристик для расчёта денежного потока, обусловленного экологическим сопровождением РКД, предлагается использовать

следующие показатели:

- условно предполагаемый ущерб $Y_{\text{exp}}^{\text{усл}}$;
- инвестиционные (капитальные) затраты $K^{\text{ип}}$;
- текущие затраты $C^{\text{ип}}$, обусловленные экологическим сопровождением РКД («экозатраты»).

Денежный «экопоток» в оценке региональной эколого-экономической эффективности $\Phi^{\text{эп}}$ рассчитывается как разница экологической составляющей притока $\Pi^{\text{эп}}$ и оттока $O^{\text{эп}}$ денежных средств: $\Phi^{\text{эп}} = \Pi^{\text{эп}} - O^{\text{эп}}$.

В составе экологической составляющей оттока денежных средств можно выделить две компоненты: реальный отток денежных средств и условный отток денежных средств. Первая составляющая аккумулирует инвестиционные и текущие затраты на реализацию мер природоохранного характера, реально предусмотренные проектом: $O^{\text{р}} = K^{\text{ип}} + C^{\text{ип}}$. Вторая составляющая – это стоимостная оценка условно предполагаемого ущерба $Y_{\text{exp}}^{\text{усл}}$.

Для обеспечения устойчивого развития региона космодрома «Восточный» масштаб природоохранных мер и соответствующих затрат, предусмотренных проектом, должны быть такими, чтобы величина условно предполагаемого ущерба по проекту не должна превышать своего нормативного значения $Y_{\text{упр. норм}}^{\text{усл}} \leq Y_{\text{упр. норм}}$.

Обычно значение $Y_{\text{упр. норм}}^{\text{усл}}$ рассчитывается с учётом соблюдения нормативных (допустимых) параметров воздействия на окружающую среду. Использование технологических нормативов предусмотрено Федеральным законом «Об охране окружающей среды» (№ 7-ФЗ, ст. 23). Однако с переходом от экологического нормирования на технологическое в качестве нормативов воздействия на окружающую среду предполагается использовать показатели «наилучших существующих технологий».

Следует учесть, что задача разработки проекта космодрома, соответствующего по всем параметрам воздействия указанным выше требованиям, не всегда сразу и в полном объёме может быть решена по объективным причинам. В такой ситуации для учёта соотношения допустимого и условно предполагаемого ущерба предлагается использовать экоиндекс проекта ($I^{\text{эко}}$). Индекс $I^{\text{эко}}$ принимает значение равное 1, если $Y_{\text{упр}}^{\text{усл}} \leq Y_{\text{упр. норм}}$. Если $Y_{\text{упр}}^{\text{усл}} > Y_{\text{упр. норм}}$, то $I^{\text{эко}}$ принимает свое фактическое значение ($I^{\text{эко}} > 1$). В соответствии со значением $I^{\text{эко}}$ корректируется реальный отток денежных средств в расчёте денежного экопоточка, обусловленного экологическим сопровождением проекта $\Phi^{\text{эп}}$.

Условием экологически приемлемой РКД является соответствие реализуемого проекта создания космодрома основным социальным и экологическим

приоритетам развития региона. Это обуславливает необходимость использования при расчёте интегральных показателей эффективности соответствующего поправочного коэффициента, отражающего степень соответствия проекта социальным и экологическим приоритетам развития региона $K^{\text{ип}}$. Соответствующим основным социальным и экологическим приоритетам развития региона признается тот инвестиционный проект, который при достижении требуемого уровня коммерческой эффективности для инвестора не увеличивает антропогенную нагрузку на региональную эколого-экономическую систему и способствует достижению стратегической цели развития социально-экономической сферы региона. Значение коэффициента (от 0 до 1) определяется экспертным методом на основе системы критериев, отражающих степень удовлетворения проекта социально-экологическим требованиям. С учётом вышеизложенного расчёт интегрального регионального эколого-экономического эффекта производится по следующей формуле:

$$\mathcal{E}^{\text{РЭЭ}} = K^{\text{СЭП}} \left(\sum_{t=0}^T \Phi_t^{\text{и}} \alpha_t + \sum_{t=0}^T \Phi_t^{\text{о}} \alpha_t + \sum_{t=0}^T \Phi_t^{\text{эп}} \alpha_t \right),$$

где $\Phi_t^{\text{и}}, \Phi_t^{\text{о}}, \Phi_t^{\text{эп}}$ – потоки денежных средств, соответственно от инвестиционной, операционной деятельности, денежный поток, обусловленный экологическим сопровождением проекта на t -м шаге, руб.; α_t – коэффициент дисконтирования на t -м шаге. Проект считается приемлемым, если $\mathcal{E}^{\text{РЭЭ}} > 0$.

Литература

1. Гурман В. И. Принцип расширения в задачах управления / В. И. Гурман. – М. : Наука, 1985. – С. 246 – 259.
2. Космодромы – настоящее и будущее космических стартов / А. С. Фадеев // Транспортная стратегия – XXI век. – 2009. – № 5.
3. Нужина И. П. Эколого-экономическое регулирование инвестиционно-строительной деятельности в регионе: монография / И. П. Нужина. – СПб. : СПбГУЭФ, 2010. – 248 с.
4. Нужина И. П. Теоретические основы оценки эколого-экономической эффективности инвестиционного проекта / И. П. Нужина. – отв. ред. А. М. Платонов, Н. А. Самарская // Проблемы и перспективы экономического развития России: инновации, финансирование, управление производством: сборник научных трудов. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2010. – С. 30 – 39.
5. Радионов Н. В. Модели выбора в задачах инвестиционного проектирования / Н. В. Радионов, С. П. Радионова, А. С. Фадеев. – М. : РЕСТАРТ, 2012. – 192 с.

Поступила в редакцию 02.10.2012

Александр Сергеевич Фадеев, канд. техн. наук,
генеральный директор, т. (495) 631-82-89,
e-mail: tsenki@roskosmos.ru.