

УДК 574.629.7.036.54(082)

© Ключников В.Ю., Долинина Ю.В.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАЙОНА ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

Представлены результаты разработки и апробации методики оценки экологического состояния района эксплуатации ракетно-космического вооружения. В основу оценки положено построение зависимостей «доза-эффект» для индикаторного биотопа, расположенного в районе эксплуатации.

Район эксплуатации ракетно-космического вооружения (стартовый комплекс, боевая стартовая позиция, заправочная станция, район падения отработавших ступеней ракет и т.п.) следует рассматривать как площадной источник различного рода неблагоприятных воздействий на окружающую среду. С точки зрения экологии пространственный масштаб таких воздействий естественным образом ограничен одной или несколькими экологическими системами (биотопами), входящими в сферу влияния района эксплуатации. Таким образом, объектом, на который воздействует ракетно-космическая техника (причем объектом живым) является экологическая система (экосистема).

Под экологической системой понимают взаимосвязанную совокупность живых организмов и среды их обитания. По существующим на сегодняшний день представлениям экосистема – это общее название для целого иерархического ряда эколого-географических систем – от биотопа до биосферы Земли в целом. Границы таких систем определяются в результате физико-географического районирования. Элементарной экосистемой является биотоп, под которым понимают однородный участок земной поверхности с определенным составом живых организмов и определенными условиями среды обитания, которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс. В общем случае район эксплуатации ракетно-космического вооружения (РЭ РКВ) может представлять собой мозаику биотопов, образующих экосистему РЭ РКВ.

Под экологическим состоянием РЭ РКВ следует понимать степень техногенной нарушенности экосистемы РЭ РКВ. В настоящее время экологическое состояние РЭ РКВ оценивают по косвенным показателям, характеризующим загрязнение отдельных природных сред

(атмосферного воздуха, почвы, воды). При этом критериями оценки состояния экосистемы РЭ РКВ являются установленные для различных природных сред предельно допустимые концентрации (ПДК) конкретных загрязняющих веществ. Однако система ПДК рассчитана на только на человека. Поэтому при опоре на систему ПДК возникает неопределенность в оценке реакции экосистемы на те или иные концентрации различных загрязнителей, а также в оценке экологического состояния тех РЭ РКВ, где люди отсутствуют (например, районов падения ступеней ракет).

Разработанная методология оценки экологического состояния РЭ РКВ подразумевает, во-первых, комплексный подход к оценке, во-вторых – использование принципа индикации и в третьих – отдельную оценку показателей состояния биотической (живой) и абиотической (неживой, косной) составляющих элементарной экосистемы – биотопа.

Комплексный подход к оценке экологического состояния РЭ РКВ следует из выбора объекта, по отношению к которому рассматривается воздействие РЭ РКВ: биотоп в общем случае объединяет все природные среды (воздух, почву, воду), кроме того, в него входит также и биотическая компонента.

Принцип индикации реализуется на уровне отдельных природных сред и на экосистемном уровне:

1. В качестве комплексного критерия загрязнения биотопа предложено использовать индекс загрязнения верхнего слоя почвы. Почва, аккумулируя загрязнения, поступающие из атмосферного воздуха, с осадками, с грунтовыми и подземными водами, с органическим опадом, играет ключевую роль в механизмах трансформации всего биотопа. Именно почвенная биота замыкает биологический круговорот. Его разрыв, обуславливающий дефицит доступных биогенов, а также прямое действие токсикантов, аккумулированных в почве, ведет к подавлению растений всех жизненных форм и кардинальной

Ключников Валерий Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела 4ЦНИИ МО РФ; Долинина Юлия Викторовна – адъюнкт.

перестройке всего биотопа.

2. Об экологическом состоянии РЭ РКВ судят по состоянию так называемого индикаторного биотопа. Индикаторный биотоп выбирают на основе результатов физико-географического районирования экосистемы РЭ РКВ, исходя из принципа наименьшей потенциальной экологической устойчивости в сочетании с максимальной техногенной нагрузкой.

Раздельная оценка показателей состояния биотической и абиотической компонент биотопа (точнее индикаторного биотопа) составляет суть разработанной методологии и реализуется на основе двух базовых критериев оценки: биосферном потенциале биотопа и обобщенной техногенной нагрузки на биотоп.

Термин *биосферный потенциал* был впервые введен академиком С.С.Шварцем [1], предложившим считать максимум произведения биомассы на продуктивность одним из признаков «хорошего» биотопа

$$G = M \frac{dM}{dt}, \quad (1)$$

где M и $\frac{dM}{dt}$ – соответственно биомасса (т/га) и биопродуктивность (т/га в год) индикаторного биотопа.

Поскольку удельные биомасса и биопродуктивность растительности на три-четыре порядка больше, чем биомасса животных [2, 3], то под массой и продуктивностью биотопа предложено понимать фитомассу и фитопродуктивность.

Под обобщенной техногенной нагрузкой на биотоп будем понимать индекс загрязнения почвы

$$X = \sum_{i=1}^M \frac{q_i}{q_{нормi}}, \quad (2)$$

где q_i – концентрация i -го загрязнителя в верхнем слое почвы;

$q_{нормi}$ – предельно допустимый или фоновый уровень концентрации i -го загрязняющего вещества в верхнем слое почвы.

Очевидно, что уровень биосферного потенциала индикаторного биотопа будет зависеть от уровня обобщенной техногенной нагрузки. Такая зависимость является дозовой зависимостью (зависимостью «доза – эффект»), характеризующей влияние техногенной нагрузки на биотическую составляющую биотопа. Для любого биологического объекта с математической точки зрения дозовая зависимость представляет собой логистическую кривую (рис. 1), описываемую уравнением вида

$$G = \frac{G_A - G_C}{1 + \exp(\alpha + \beta X + \gamma \tilde{D}^2)} + G_C, \quad (3)$$

где G – биосферный потенциал биотопа; X – величина

техногенной нагрузки; α, β, γ – коэффициенты; G_C – минимальный уровень биосферного потенциала; G_A – максимальный уровень биосферного потенциала.

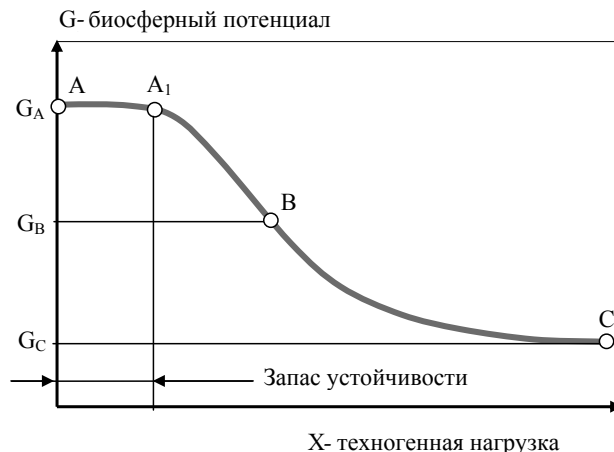


Рис. 1. Характерная логистическая кривая для биотопа

Существование порога в реакции биотопа, т. е. области нагрузок, при которых не обнаруживается существенных изменений, есть проявление феномена экологической устойчивости, наличия эффективных механизмов саморегуляции. Соответственно подпороговые значения нагрузок оценивают запас устойчивости биотопа [4], в пределах которого воздействия на него допустимы (точки $A-A_1$). Различные биотопы будут описываться различными логистическими уравнениями.

Таким образом, экологическое состояние РЭ РКВ оценивается по положению изображающей точки на логистической кривой, построенной для индикаторного биотопа.

Экологическое состояние РЭ РКВ предлагается оценивать по следующей шкале [5] (рис. 2):

1. Нормальное состояние биотопа, - не отличимое от фонового уровня.
2. Выпадение чувствительных видов. По большинству остальных параметров биогеоценоз неотличим от фонового уровня.
3. Структурная перестройка биотопа. Регистрируется ухудшение санитарного состояния деревьев, но плотность древостоя и его запас не изменяются.
4. Частичное разрушение биотопа. Древесный ярус угнетен и изрежен, значительно уменьшены его запас и полнота, нарушено возобновление. В травяном ярусе почти отсутствуют лесные виды.
5. Полное разрушение («коллапс») биотопа. Древесный ярус полностью разрушен, сохраняются лишь отдельные сильно угнетенные экземпляры деревьев. Травяной ярус представлен одним-двумя видами злаков, в увлажненных местах встречается хвощ.

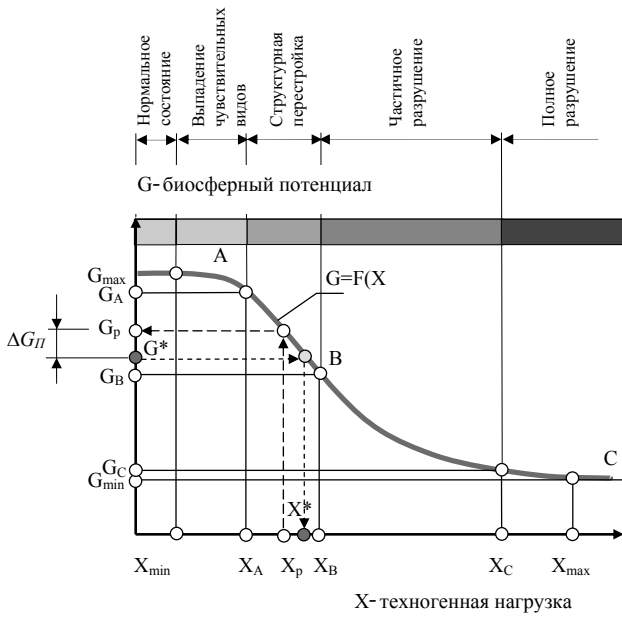


Рис. 2. Оценка состояния индикаторного биотопа

Район эксплуатации ракетно-космического вооружения (РЭ РКВ) способен оказывать на окружающую среду как специфическое воздействие, характерное только для такого рода объектов, так и неспецифическое, сходное с общепромышленным.

К специфическим воздействиям РЭ РКВ на экосистемы относят химическое загрязнение природной среды высокотоксичными компонентами ракетного топлива (КРТ), механическое загрязнение территорий районов падения отделяющихся частей (РП ОЧ) баллистических ракет и ракет-носителей (РН) фрагментами отработавших ступеней, локальное повышение фона биологически активной части ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца вследствие разрушения озона по траектории полета ракет и образования так называемых «озоновых дыр», локальное воздействие высокочастотных электромагнитных излучений в районах размещения радиотехнических систем и т.д.

К неспецифическим воздействиям РЭ РКВ на наземные экосистемы относят химическое загрязнение почвы углеводородами, в том числе – нефтепродуктами, и углеводородными горючими, используемыми в качестве РКТ, химическое загрязнение атмосферы газовыми выбросами, характерными для объектов тепло- и энергоснабжения, транспорта, предприятий бытового обслуживания, строительной индустрии, местной промышленности, разрушение природных ландшафтов (вырубки лесов, снятие верхнего слоя почвы и т.д.), особенно при строительстве и развитии наземной инфраструктуры, загрязнение водных объектов бытовыми стоками и т.д.

Для построения дозовой кривой «биосферный по-

тенциал – обобщенная техногенная нагрузка» допустим, что под действием техногенной нагрузки биотопы могут деградировать, переходить из одного устойчивого состояния в другое следующим образом:

степь луговая → степь сухая;

степь сухая → пустыня;

лес → степь луговая;

болото → (изменение способа питания болот – от низовых к верховым) → пустошь.

Анализ обширных экспериментальных данных, полученных различными авторами, позволяет определить максимальные и минимальные значения G и X , а также значения G и X в точках перегиба логистической кривой практически для биотопа любого типа. После чего строят логистическую кривую для данного типа биотопа на основе метода Левенберга-Марквардта [6]. Итерационную процедуру, реализующую указанный метод, можно описать в виде

$$a_{k+1} = a_k - \left[\frac{\partial G}{\partial a} W G - \frac{\partial^2 G}{\partial a^2} W O \right]^{-1} \cdot \frac{\partial G}{\partial a} W O, \quad (4)$$

где \mathbf{a} – вектор постоянных коэффициентов в уравнении: $\mathbf{a} = (\alpha, \beta, \gamma)^T$; \mathbf{a}_0 – вектор начальных приближений постоянных коэффициентов;

G – функция $G=f(X, \mathbf{a})$, описываемая уравнением (4);

$\frac{\partial G}{\partial a}$ – вектор первых частных производных функции G по вектору \mathbf{a} ; $\frac{\partial^2 G}{\partial a^2}$ – вектор вторых частных производных функции G по вектору \mathbf{a} ;

O – вектор рассогласования заданных и вычисленных значений функции G ;

W – весовая матрица;

k – номер итерации (все векторы рассчитываются в точке \mathbf{a}_k).

В математическом пакете MathCad имеется стандартная встроенная функция genfit(), реализующая метод Левенберга-Марквардта восстановления функциональной зависимости заданного вида по имеющимся точкам.

Действующие значения G и (или) X определяют либо расчетным методом, либо на основе инструментальных измерений.

В таблице представлены результаты оценки экологического состояния позиционного района 13 рд (г. Ясный, Оренбургской области) и РП ОЧ 1-й ступени МБР типа 15А18М по разработанной методике и для сравнения оценка состояния экосистемы Новодвоицкого алюминиевого комбината (Карелия).

Изложенная методология оценки экологического состояния РЭ РКВ позволяет выдвинуть альтернативную идеологию мониторинга состояния окружающей сре-

Результаты оценки экологического состояния РЭ РКВ

РЭ РКВ	Уравнение логистической кривой	Значения показателей экологического состояния		Оценка экологического состояния
		$G, \text{ц}^2/\text{га}^2 \cdot \text{год}$	X	
ПР 13-й рд	$G = \frac{4140}{1 + \exp(-5,003 + 0,107X + 2,629X^2)} + 860$	$G < 5000,$ $G > 4000$	≤ 1	Нормальное состояние
РП ОЧ «Тюмень»	$G = \frac{2,975 \cdot 10^5}{1 + \exp(-6,33 + 0,113 \cdot X + 0,004114 \cdot X^2)} + 5 \cdot 10^3$ - для лесного биотопа;	$G < 302500$ $G > 175000$	$\ll 1$	Нормальное состояние
	$G = \frac{5,15 \cdot 10^3}{1 + \exp(-11,489 - 8,861 \cdot X + 0,345 \cdot X^2)} + 9,6 \cdot 10^2$ - для биотопа болота;	$G < 6110$ $G > 2530$		
	$G = \frac{4,42 \cdot 10^4}{1 + \exp(-12,165 - 8,834 \cdot X + 0,409 \cdot X^2)} + 8 \cdot 10^2$ - для биотопа луга.	$G < 45000$ $G > 15000$		
Новодвоицкий алюминиевый комбинат	$G = \frac{2,975 \cdot 10^5}{1 + \exp(-6,33 + 0,113 \cdot X + 0,004114 \cdot X^2)} + 5 \cdot 10^3$	$G < 302500$ $G > 175000$	≈ 10	Структурная перестройка биотопа

ды в РЭ РКВ. При этом первоочередной задачей мониторинговых наблюдений за экологическим состоянием районов эксплуатации РКВ является построение дозовых кривых для каждого из биотопов. Для этого необходимо,

во-первых, дополнить перечень мониторинговых параметров экосистемной характеристикой, – биосферным потенциалом, а во-вторых, увеличить объем наблюдений за индексом загрязнения верхнего слоя почвы.

Литература:

1. Шварц С.С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования // Всесторонний анализ окружающей природной среды: Тр. II Сов.-амер. симпоз. Л., 1976. С. 181 – 191.
2. Крапивин В.Ф., Свиричев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. – М.: Наука, 1982.–272 с.
3. Гориков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни / Отв. ред. Лосев К.С. – М.: 1995. – 470 с.
4. Экосистемы в критических состояниях / Под ред. Ю. Г. Пузаченко. М.: Наука, 1989. 155 с.
5. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994, – 280 с.
6. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.

Материал поступил в редакцию 13.03. 2008г.