

УДК 338.224

**Т.Т. Исмаилов, А.В. Логачев, Б.С. Лузин, В.И. Голик,  
МЕХАНИЗМ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ  
И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ  
НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ**

---

**В**ероятность катастроф в регионе определяется количеством и качеством поражающих факторов, а также временем. Выветривание и выщелачивание минералов и отходов их переработки производства формирует потоки загрязненных вод, вследствие чего в почвах, подземных и поверхностных водах формируются ореолы загрязнения.

При миграции вещества во взвешенном состоянии, газы или пары проникают в почву, воздух или воду, или непосредственно воздействуют на живое вещество. При взаимодействии с экосистемами возможны пути: воздух → грунтовые и поверхностные воды → почвы → растения → животные → питание и корма → человек.

Время наступления катастрофы прогнозируют из условия, что увеличение скорости воздействия фактора до значений, превышающих обычную скорость в 3-4 раза, происходит за время, составляющее 0,7-0,8 периода до стадии прогрессирующего деформирования.

Ежегодно на Земле регистрируются сотни тысяч естественных землетрясений. Природные и техногенные объекты всегда находятся в поле напряжений, вызванных сейсмическим действием естественных вибраций и техногенных землетрясений. Поскольку для любого объекта существует резонансная частота колебаний,

он находит «свое» землетрясение и в резонансном режиме реагирует на него, выбирая свои частоты. Между резонансной частотой и скоростью развития геодинамических процессов установлена коррелятивная взаимосвязь.

В качестве критерия, определяющего степень сейсмического воздействия на массив, используют спектральный уровень горизонтальных колебаний пород на частоте основного тона собственных колебаний.

При прогнозировании природных катастроф приоритетным считается геомеханическое направление. Особенности решения задач горной геомеханики заключаются в том, что состояние и свойства массива, не выбираются, а являются исходными, что определяет необходимость изучения природных механических систем.

Более сложные по своей структуре и более богатые по числу входящих в них видов сообщества обладают и большей устойчивостью.

В настоящее время на первый план все более выходит проблема оценки влияния действующих и проектируемых природно-техногенных систем на безопасность жизнедеятельности общества (человека). В свою очередь решение этого вопроса существенно зависит от уровня их воздействия на биосферу.

Современные техногенные системы являются сложными образованиями, имеющими структуру неоднородных гетерогенных сред (промышленные предприятия, окружающая их городская застройка, горный ландшафт, включающий горнодобывающие предприятия и т.п.).

Прогнозирование загрязнения атмосферы непосредственно зависит от физико-химических процессов, протекающих в атмосфере, и уровня трансформации вредных веществ под действием природных факторов. При переносе вредных веществ в гомогенных средах действует теория (полуэмпирическая теория атмосферной и гидрологической дисперсии), которая систематизирует физико-математические модели переноса вредных веществ и методы их реализации. Она дает относительно точные представления о переносе и распределении вредных веществ при гомогенных средах. Однако, реальные природно-техногенные системы представляют собой сложные системы, организация которых является композицией нескольких видов сред.

В атмосфере концентрация загрязнителей описывается моделью диффузии:

$$U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial x} + W^* \frac{\partial C}{\partial x^*} = \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \left( \frac{H}{H - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q$$

где  $U$  - динамическая скорость;  $V$  - горизонтальная составляющая скорости ветра;  $W^1$  - вертикальная составляющая скорости ветра;  $C$  - концентрация загрязнителей;  $H$  - высота распространения загрязнителей;  $D_y$  - коэффициент горизонтальной диффузии;  $x, y, z$  - декартовы координаты;  $Q$  - конвективный тепловой поток от поверхности земли в атмосферу.

В гидросфере процесс распространения воздействий описывается моделью:

$$V_x \frac{dC}{dx} + V_y \frac{dC}{dy} + V_z \frac{dC}{dz} - D_x \frac{d^2C}{dx^2} - D_y \frac{d^2C}{dy^2} - D_z \frac{d^2C}{dz^2} = -\frac{dC}{dt},$$

где  $x, y, z$  - продольная, поперечная и вертикальная координаты;  $V_x, V_y, V_z$  - компоненты скорости распространения по координатам;  $D_x, D_y, D_z$  - коэффициенты турбулентного распространения по осям;  $C$  - концентрация загрязнителя;  $t$  - время транспортирования загрязнителя.

В литосфере удобнее использовать аппарат классической теоретической механики, учитывая малую плотность и изолированность частиц массива при движении. Скатывающаяся со склона частица может быть представлена в виде геометрически правильного тела, испытывающего влияние ударов о подстилающую поверхность граней и трения.

Вероятность возникновения катастрофических оползневых зон:

$$P = \frac{\sum F_a}{t \cdot F},$$

где  $\sum F_a$  - площадь оползней в  $t$  лет в пределах опасной зоны площадью  $F$ .

Модель техногенного катастрофического поражения окружающей среды продуктами деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий увязывает процессы в окружающей среде:

$$Y_m = f(O_n, O_c, \Sigma, a, T) = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^p \sum_{o=1}^o \sum_{t=1}^T [(Q_a + Q_c + Q_d) \cdot (a_1 - a_2)] \cdot (K_c \cdot K_y \cdot K_o \cdot K_o \cdot K_e \cdot K_n)$$

где  $Y_m$  – потенциал техногенного катастрофического поражения;  $O_p$  – количество промышленных отходов, вес. ед.;  $O_c$  – количество сельскохозяйственных отходов, вес. ед.;  $\Sigma$  – количество загрязнителей, мигрирующее из отходов в окружающую среду;  $a$  – концентрация загрязнителей, вес. ед. /ед.объема;  $T$  – время, ед. времени;  $n$  – количество предприятий по переработке отходов;  $P$  – количество загрязняющих компонентов в отходах;  $O$  – количество операций технологической переработки;  $Q_a, Q_g, Q_l$  – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере;  $a_1, a_2$  – исходная и конечная концентрация загрязнителей в отходах;  $K_c$  – коэффициент самоорганизации загрязнителей в местах скопления;  $K_y$  – коэффициент утечки загрязнителей в окружающую среду;  $K_d$  – коэффициент дальности миграции загрязнителей;  $K_b$  – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу;

$K_b$  – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем;  $K_n$  – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Модель природного катастрофического поражения окружающей среды увязывает процессы в лито, атмо и гидросфере в результате взаимной интенсификации:

$$Y_n = f(C_d, E_c, Z_d, T) = \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^p \sum_{t=1}^t [(Q_a + Q_c + Q_l) \cdot P_z] \times K_n \cdot K_b \cdot K_y \cdot K_n,$$

где  $Y_n$  – потенциал природного катастрофического поражения;  $C_d$  – количество сейсмических явлений с деградацией экосистем;  $E_c$  – энергия, физ. ед.;  $Z_d$  – площадь деградированной земной поверхности;  $T$  – время;  $n$  –

номенклатура сейсмических проявлений с деформированием литосферы;  $m$  – количество изменений в экосистемах окружающей среды;  $p$  – количество работ по ликвидации последствий катастроф;  $Q_a, Q_g, Q_l$  – факторы поражения системам атмосферы, гидросферы и литосферы;  $P_z$  – количество работ по компенсации ущерба земле;  $K_n$  – коэффициент точности прогнозирования наступления катастрофы;  $K_b$  – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу;  $K_y$  – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем;  $K_n$  – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Интегральная модель совокупного природного и техногенного катастрофического поражения окружающей среды увязывает все процессы, причинно связанные друг с другом:

$$Y_u = Y_m + Y_g \\ Y_u = f(Q, \Sigma, E, T) = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^p \sum_{o=1}^o \sum_{t=1}^t [(Q_a + Q_c + Q_l) P_z] \times K_y \cdot K_n \cdot K_T K_H,$$

где  $Y_u$  – потенциал интегрального поражения окружающей среды;  $Q$  – объем подверженного катастрофе участка Земли;  $\Sigma$  – количество агентов воздействия на окружающую среду;  $E$  – энергия сейсмических явлений, физ. ед.;  $T$  – время, ед. времени;  $n$  – количество факторов поражения среды;  $p$  – количество работ по ликвидации последствий катастроф;  $Q_a, Q_g, Q_l$  – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере;  $P_z$  – количество работ по компенсации ущерба земле;  $K_y$  – коэффициент усиления воздействия на среду;  $K_n$  – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу;  $K_b$  – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем;  $K_T$  – коэффициент точности

### Технологии предотвращения катастроф

Экосистемы	Технологии	Варианты оснащения
Атмосфера	Улавливание при выбросе	Фильтры, скрубберы, циклоны, мокрые камеры, осадители
	Рассеивание при выбросе	Оптимизация высоты выброса с учетом аэродинамики местности
	Нейтрализация при выбросе	Связывание и утилизация элементарных частиц
Гидросфера	Улавливание перед сбросом	Фильтры, циклоны, осадители, ПАВ, осветлители
	Рассеивание при сбросе	Дозирование величины сброса с учетом гидродинамики потоков
	Нейтрализация при сбросе	Связывание и утилизация элементарных частиц
Литосфера	Упрочнение массива	Бетоном, полимерами, асфальтом, анкерами и т.п.
	Разгрузка напряжений	Скважинами, камуфлетным взрыванием ВВ, проходкой выработок
	Дренаж подземных вод	Канавами, скважинами, горными выработками

прогнозирования наступления катастрофы;  $K_n$  - коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Условия уменьшения опасности возникновения, течения и последствий катастроф применением природоохранных технологий систематизированы нами в рамках табл.

Ежегодное число погибших от природных опасностей в России за последние 20-30 лет – от 16 до 130 человек. Риск гибели от стихийных бедствий в России за последние четыре года составил  $(1,1-6,5) \cdot 10^{-7}$  в год. Величина прямого экономического ущерба от природных опасностей в России составляет около 2 млрд. долл. в год.

Наибольшим риском стихийных бедствий характеризуются регионы Дальнего Востока и Северного Кавказа. Прогнозы специалистов о вероятном в близком будущем землетрясении на Камчатке, а также о возобновлении вулканической деятельности вулкана Эльбрус, усиливают напряженность в указанных регионах.

Количество катастроф с экономическим ущербом в 1% и более от ва-

лового годового продукта страны, в которой они произошли, возросло в мире за 1962-1992 гг. в 4,1 раза. Количество пострадавших за этот же период увеличилось в 3,5 раза, а погибших – в 2,1 раза.

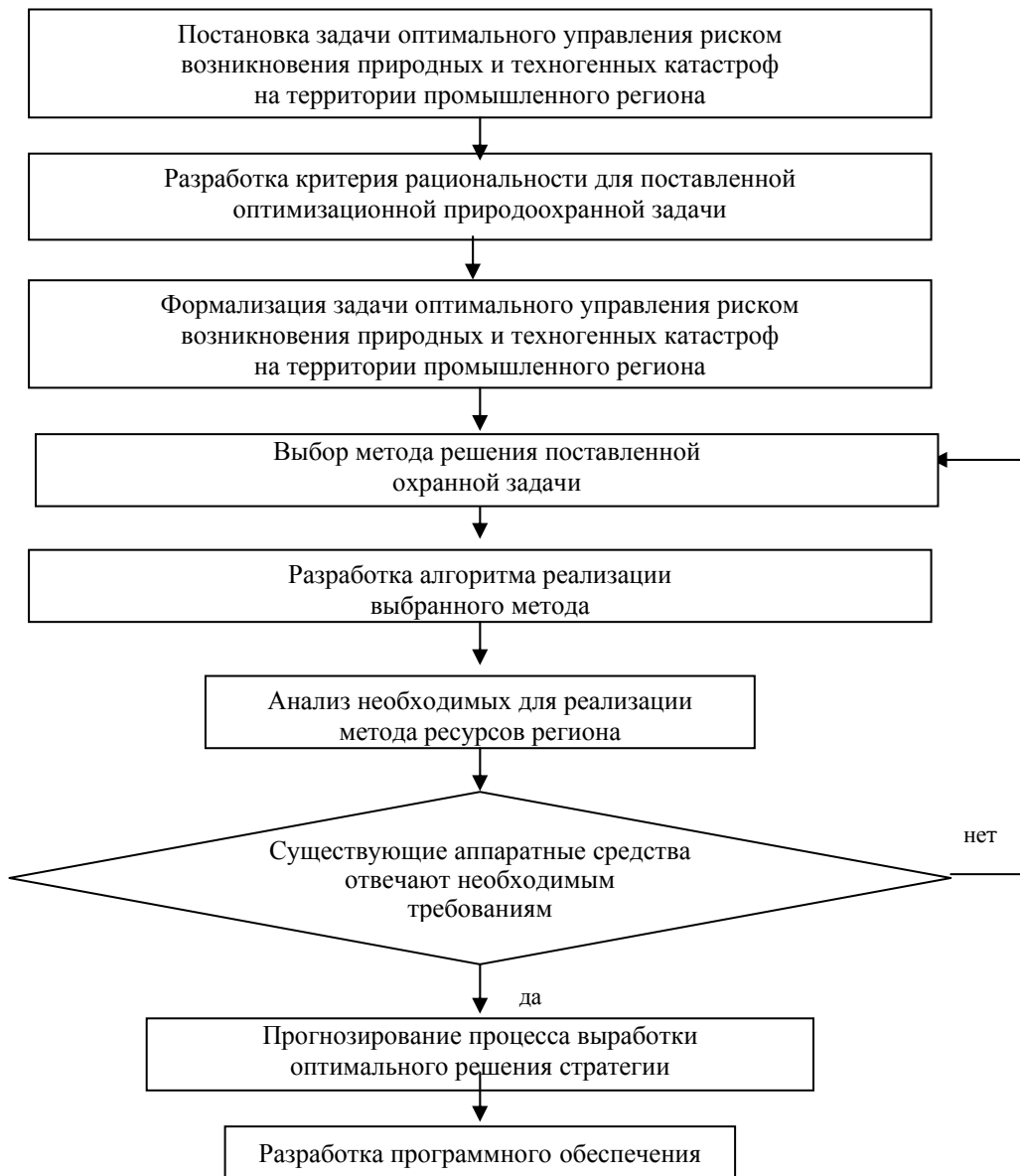
В России и в мире увеличивается количества синергетических или многоступенчатых катастроф, когда природная катастрофа приводит к развитию технических катастроф или аварий и наоборот. Примером синергетических катастроф являются массовые пожары, сопровождающие землетрясения, разрушение плотин при сходе оползней, разнос загрязняющих веществ паводками, ураганами и т.д.

Интегральной оценкой последствий воздействия на природную среду является его стоимостное выражение:

$$Y_{\text{общ.}} = \sum_{n=1}^n Y_{\text{инж.}} + \sum_{m=1}^m Y_{\text{экол.}} + \sum_{k=1}^k Y_{\text{соц.}}$$

где  $n, m, k$  – число последствий одного вида (материальные, экологические и социальные).

Экологическая безопасность среды оценивается по степени управляемости воздействий на регион и величиной возможного ущерба окружающей среде в результате воздействий, зави-



**Структурно-функциональная схема системы минимизации катастроф**

сящего от эффективности мер ее защиты:

$$\sum_{t=1}^{t_p} \Pi_t = \sum_{t=1}^{t_p} Q(\Pi_{\text{впр}} - C_{\text{а.т.}}) \frac{1}{(1+E)^{t-1}} - \sum_{t=1}^{t_c} C_{\text{пор}} (1-E_{\text{ит}})$$

где  $\Pi_i$  - прибыль по отдельному показателю; Q - количество ресурсов региона;  $C_{\text{а.т.}}$  - затраты на активные технологии охраны среды;  $C_{\text{пор}}$  - затраты на оборудование для реализации технологий в t-м году; E - коэффициент дисконтирования.

В предложенной нами модели эффективность охраны окружающей среды определяется соотношением последствий катастроф в денежном выражении и затратами по профилактике и предупреждению их возникновения и развития.

$$\Pi_3 = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^p \sum_{c=1}^c \sum_{t=1}^T [(Q_a + Q_z + Q_n) \times (P_z \cdot C_k - P_o \cdot C_o)] \times K_y \cdot K_n \cdot K_T \cdot K_H$$

где  $\Pi_3$  – прибыль от использования технологий защиты окружающей среды;  $\Sigma$  – количество агентов воздействия на окружающую среду;  $T$  – время, ед. времени;  $n$  – количество факторов поражения среды;  $p$  – количество работ по ликвидации последст-

вий катастроф;  $Q_a, Q_z, Q_n$  – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере;  $P_k$  – количество работ по компенсации ущерба окружающей среде;  $C_k$  – стоимость работ по компенсации ущерба;  $P_o$  – количество работ по охране окружающей среды;  $C_o$  – стоимость работ по окружающей среде;  $K_y$  – коэффициент усиления воздействия на среду;  $K_n$  – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу;  $K_B$  – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем;  $K_T$  – коэффициент точности прогнозирования наступления катастрофы;  $K_H$  – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Минимизация катастроф осуществляется в рамках структурно-функциональной схемы (рисунок).

#### Коротко об авторах

*Исмаилов Т.Т.* – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный горный университет.

*Логачев А.В.* – кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный технический университет,

*Голик В.И.* – доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт,

*Лузин Б.С.*

Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*

