

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 624.131.1

Г.К. БОНДАРИК, Е.Н. ИЕРУСАЛИМСКАЯ, Л.А. ЯРГ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РИСКА
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Риск, обусловленный изменениями приповерхностных областей литосферы, рассматривается как вероятность достижения природно-технической системой (ПТС) предельного состояния, вызванного геологическими процессами, в том числе искусственного происхождения. Разработаны принципы оценки риска для однородной и неоднородной систем разных уровней организации, основанные на концепции предельного состояния.

Под риском понимаем вероятность неблагоприятного в экологическом отношении изменения свойств окружающей среды, в том числе приповерхностных областей литосферы (геологическая среда), вызванного каким-либо процессом. Иначе говоря, риск представляет собой вероятностную характеристику процесса. Такое понимание риска позволяет использовать для его оценки современные разработки теории ПТС в отношении движения, состояния, свойств¹, в частности, разработки, относящиеся к системе сооружение—геологическая среда (литотехническая система, ЛТС).

В соответствии с ними движение ЛТС (процесс) — последовательная смена состояний во времени. Отсюда риск представляет собой вероятностную характеристику состояния системы в некоторый момент времени.

Основополагающим является понятие о предельном состоянии ЛТС и предельно-допустимых (критических) значениях ее координат, определяющих положение границ области допустимых состояний (ОДС) в пространстве состояний. Устойчивая, благоприятно функционирующая ЛТС находится в динамическом равновесии с внешней средой, выполняя заданные ей функции. Значения основных параметров ее состояния изменяются в пределах, предусмотренных проектной документацией, а значения параметров-координат ЛТС находятся внутри области допустимых состояний (ОДС), не превышают предельно-допустимых значений (предельно-допустимые концентрации, уровни, нагрузки и др.). Неустойчивая, функцио-

нирующая в переходном режиме ЛТС находится в неравновесном состоянии с внешней средой, а значения координат приближаются к границам ОДС.

Предельное состояние ЛТС проявляется в виде повреждений (аварий) и катастроф (разрушения сооружений, нарушения целостности земель, недр, объектов гидро- и биосферы). Вероятность наступления этого состояния ЛТС, т. е. риск, зависит от того, насколько приблизилась к нему траектория, какова ее скорость приближения к границам ОДС, определяющая момент возможности катастрофы. Оценить риск можно, располагая информацией о текущих состояниях системы и предельно-допустимых значениях ее координат.

Положение о взаимосвязи риска с состоянием ЛТС составляет теоретическую базу оценки риска, что позволяет связать риск с геологическим процессом, так как процесс — смена состояний ЛТС, точнее ее литосферной компоненты, во времени; координатами пространства и времени, так как состояние ЛТС — случайная функция координат пространства-времени; пространством состояний ЛТС, в котором текущее состояние системы в некоторый момент времени определяет величины фиксированного набора координат; масштабом инженерно-геологических исследований — уровнем организации и видами ЛТС, поскольку состояние ЛТС разных уровней и видов описывается различными наборами координат; природными и техногенными условиями территории размещения ЛТС: состояние ЛТС в разных условиях определяется различными возмущающими и управляющими взаимодействиями — причинами процессов.

¹ Бондарик Г.К. Экологическая проблема и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 375 с.

Из этих положений вытекают следствия, касающиеся принципов расчетов риска. Они основаны на том, что ЛТС по мере движения за время $\Delta T = T_2 - T_1$ изменяет равновесный (квазипериодический) режим функционирования на переходный; от более благоприятного состояния к менее благоприятному, вплоть до достижения границ ОДС, характеризующих наиболее неблагоприятное, предельное состояние a_n . Соответственно возрастает величина риска, вплоть до $R = 1$. В реальных условиях состояние ЛТС со временем может стать более благоприятным и оценка риска окажется преувеличенной. Однако преувеличение риска следует рассматривать как менее серьезную ошибку, чем недооценку риска.

В интервале времени ΔT всегда можно выделить некий квазиоднородный интервал Δt , при котором состояние ЛТС $a_{\Delta t} = \text{const}$, т. е. интервал времени, отвечающий квазистационарному режиму процесса.

Для оценки риска, таким образом, необходимо задать период времени ΔT , в который определяется величина риска, и располагать информацией о состоянии системы в период t .

На рисунке показан ход развития некоего неблагоприятного процесса $\bar{\varphi}_1$ в j -й точке области взаимодействия ЛТС (S). Предположим, что $\bar{\varphi}_1$ — это процесс химического загрязнения грунтовых вод неким токсичным веществом A . Основным параметром этого процесса и одновременно координатой ЛТС является концентрация вещества A в 1 л воды (ψ_A). Риск процесса загрязнения соответственно есть функция $R(\psi_A)$.

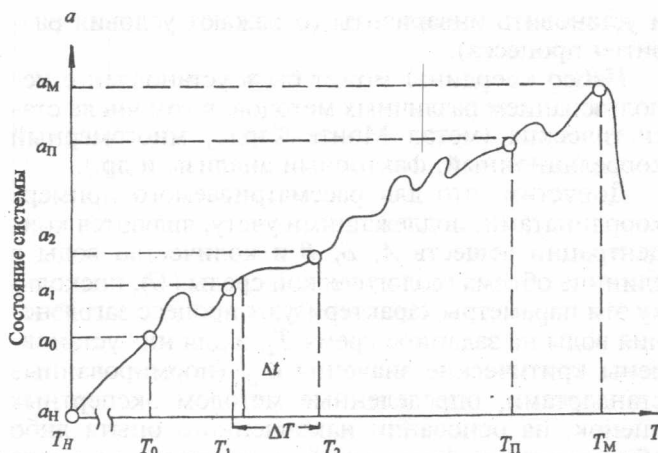
На кривой, показывающей ход процесса $\bar{\varphi}_1$ имеется ряд характерных точек. Точка с координатами a_n, T_n отвечает времени начала процесса, когда концентрация $\psi_A = 0$, а точка с координатами a_m, T_m — момент окончания процесса, когда концентрация вещества A такова, что вещество выпадает в осадок.

Точка с координатами a_0, T_0 отвечает времени создания ЛТС, началу ее функционирования. Если в момент T_0 в грунтовой воде не содержалось вещество A , точки с координатами a_n, T_n и a_0, T_0 совпадают. В противном случае отрезок времени от T_n до T_0 сопоставим с масштабом геологического времени.

Точка с координатами a_n, T_n соответствует такой концентрации вещества A в воде, при которой последняя становится непригодной для использования по назначению — предельно-допустимая концентрация A (граница ОДС).

Точка с координатами a_1, T_1 характеризует состояние системы в настоящее время. Требуется определить риск R к моменту времени $T_2 = T_1 + \Delta T$.

Оценить риск $R(T_2)$ можно, располагая режимной информацией о процессе загрязнения веществом A , используя которую можно дать оценку состояния $a_2 = a_1 + \Delta a$, где Δa — градиент концентрации вещества A .



Кривая развития неблагоприятного геологического процесса $\bar{\varphi}_1$

При отсутствии информации режимного характера или ограниченности во времени или пространстве рядов наблюдений, когда корректную оценку a_2 дать невозможно, величину $R(T_2)$ численно оценить нельзя. Эта величина будет находиться в пределах: $R(T_1) \leq R(T_2) = 1$ (принцип преувеличения риска), где $R(T_1)$ есть оценка риска во время T_1 , определенная для некоторого квазиоднородного отрезка времени $T_1 \pm \Delta t$, в течение которого система функционирует в равновесном режиме.

Задача в этом случае состоит в нахождении интервала времени Δt , измерении случайной величины ψ_A , характеризующей a_1 , и расчете риска на текущий момент времени $R(T_1)$.

Поскольку вероятность отказа² ЛТС, достигшей предельного состояния a_n , равна единице, т. е. событие достоверно, величину риска при некотором случайном состоянии ЛТС a_i можно выразить в виде:

$$R(T_1) = f(\psi_{Ai} / \psi_{An}),$$

где отношение ψ_{Ai} / ψ_{An} характеризует удаленность параметра состояния $a_i - \psi_{Ai}$ от его критического значения ψ_{An} ³. В случае $\psi_{Ai} / \psi_{An} = 1$ имеет место отказ системы. Для совокупности значений ψ_{Ai} риск можно оценить через частоту отказов m/N , где m — число случаев отказа, N — общее число случаев оценки (число измерений концентрации вещества A в точке j).

Мы рассмотрели пример оценки риска для простейшего случая, когда состояние ЛТС определяется состоянием только одного ее компонента, величиной одной координаты ψ_A . В реальных условиях процесс загрязнения воды $\bar{\varphi}_1$ может быть функцией фиксированного набора координат $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_i, \dots, \psi_K$, величина которых определяет состояние системы a_i в точке пространства ее состояний j , а значит и риск. Необходимо определить вклад каждого из них в функцию риска. Для этого прежде всего необходимо обосновать набор координат — совокупность геологических параметров, которые характеризуют состояние системы в некоторый момент времени, траекторию ее движения,

² Здесь и далее термин «отказ» системы означает достижение ее траекторией границ ОДС в пространстве состояний системы.

³ Для некоторых параметров в этих целях вычисляют отношение ψ_{An} / ψ_{Ai} .

и установить инварианты (отражают условия развития процесса).

Набор координат может быть установлен с использованием различных методов, в том числе статистических (метод Монте-Карло, многомерный корреляционный, факторный анализы и др.).

Допустим, что для рассматриваемого примера координатами, подлежащими учету, являются концентрации веществ A, B, V и количество воды в единице объема геологической среды (G), поскольку эти параметры характеризуют процесс загрязнения воды на заданное время T_2 , и для них установлены критические значения ψ_{II} (нормированные стандартами, определенные методом экспертных оценок, на основании накопленного опыта либо обусловленные физической сущностью параметра его значения).

Вычислив отношения $\psi_{Ai}/\psi_{An}; \psi_{Bi}/\psi_{Bn}; \psi_{Gi}/\psi_{Gn}$, получим совокупность нормированных относительно ψ_{II} случайных величин в безразмерных единицах. Имея набор нормированных значений координат, можно определить величину риска $R(T_1)$ в точке j , исходя из частоты отказов в этой совокупности: $R(T_1) = m/N$, где N — общее число членов совокупности, т. е. общее число измерений координат, m — общее число случаев отказа, т. е. число событий: $(\psi_{Ai}, \psi_{Bi}, \psi_{Gi}) \geq (\psi_{An}, \psi_{Bn}, \psi_{Gn})$.

Зная величину риска $R(T_1)$, можно установить интервал, внутри которого лежит риск $R(T_2)$: $R(T_1) \leq R(T_2) = 1$.

Выше рассмотрен принцип расчета риска, обусловленного проявлением в ЛТС одного процесса $\bar{\varphi}_1$. На деле в ЛТС действуют парагенезисы процессов, обусловленных большим числом различных взаимодействий геологической среды с другими средами (динамических) и внутри между ее компонентами (имманентных). Выделяют процессы первичные и вторичные, рассредоточенные и сосредоточенные в какой-либо части области взаимодействия ЛТС, развивающиеся и затухающие, обладающие разными режимами. Для определения вклада каждого из них в функцию риска необходимо разделить эти процессы на группы опасных и неопасных для функционирования ЛТС, так как только с опасными процессами связан риск, т. е. $R(T_1) = f(\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2, \dots, \bar{\varphi}_i, \dots, \bar{\varphi}_N)$, где $R(T_i)$ — риск от комплекса N опасных процессов в области S на время T_i .

Некоторые из опасных процессов, входящих в комплекс N , практически полностью реализовались к моменту времени T_1 так, что риск от их проявления во время T_2 ничтожно мал и с некоторой погрешностью может быть принят равным нулю (если, конечно, не ожидается существенного изменения условий на входах в ЛТС). Наряду с ними существуют медленно текущие процессы, негативные последствия от которых проявятся в дальнейшем по истечении времени T_2 . Задавшись интервалом $\Delta T = T_2 - T_1$ (временем функционирования ЛТС),

возможно установить комплекс опасных процессов, подлежащих учету при оценке риска (K).

Способ оценки риска $R(T_1)$ идентичен рассмотренной выше оценке риска $R(T_1)$ процесса $\bar{\varphi}_1$. При этом увеличивается число учитываемых параметров риска за счет координат системы, характеризующих процессы, входящие в комплекс K .

Риск оценивают, таким образом, всегда применительно к определенному отрезку времени и для определенной территории, которая должна быть однородной в отношении риска, поскольку он обладает свойствами не только временной, но и пространственной изменчивости.

Пространственная изменчивость риска определяется взаимодействием геологической среды области взаимодействия и пространственной структурой различных видов хозяйственной деятельности в пределах территории, для которой выполняется оценка риска.

Если область взаимодействия ЛТС однородна, риск $R(T_1)$ или $R(T_2)$ вычисляется для всей области. В противном случае задача решается путем разграничения неоднородной области S на квазиоднородные зоны ΔS , каждой из которых в соответствие может быть поставлен один процесс $\bar{\varphi}$ (параметры процесса — координаты системы).

Состояние области взаимодействия в момент времени T_i можно представить в виде случайного поля состояний — $a(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ с экстремумами $a_0(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ и $a_n(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$, где a, a_0, a_n — оценки состояний ЛТС в некоторых точках области взаимодействия i, j, f , имеющих координаты ξ_1, ξ_2, ξ_3 . Соответственно и риск также можно представить в виде случайного поля $R(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ с экстремумами $R(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = 0$ и $R(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = 1$.

Разработанные теоретические основы оценки риска относятся к ЛТС разных уровней организации.

Поскольку область S для ЛТС разных уровней организации различна по размерам, структурам, неоднородности, оценка риска для них имеет свои особенности. Так, для региональных и локальных ЛТС могут быть построены поля рисков процессов, структуры которых дают возможность выделить зоны максимального для этих ЛТС риска от совокупности этих процессов.

Таким образом, теоретические основы предусматривают использование для оценки риска представлений теорий ЛТС, геологического поля, надежности технических систем. Они позволяют использовать для оценки риска представления о предельном (критическом) состоянии систем, их отказе выполнять заданные функции, устойчивости (надежности) систем, дают возможность оперировать количественными параметрами природно-технических систем, закономерностями их пространственной и временной изменчивости.

Российский государственный
геологоразведочный университет
Рецензент — С.Д. Ганова