

# УПРАВЛЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Д.А. МАНУКЬЯН, Н.П. КАРПЕНКО

**Ключевые слова:** мелиоративные системы, геоэкологические риски и ущербы, вероятностный подход, имитационное моделирование, экологомелиоративный мониторинг, управление рисками.

**Keywords:** *meliiorative systems, geo-ecological risks and damages, a probabilistic approach, simulation, monitoring, risk management.*

Предлагается решать проблему экологической безопасности функционирования мелиоративных систем с использованием теории рисков. В рамках этой теории в качестве нового научного подхода рассматривается экспертно-аналитическая система оценки и управления геоэкологическими рисками.

*It is proposed to solve the problem of ecological safety of the meliorative systems operation by using the theory of risk. Under this theory as a new scientific approach is considered an expert analysis system of geo-ecological risks assessment and management.*

Обеспечение экологической безопасности среды обитания всегда являлось одной из важнейших проблем общества. Развитие цивилизации привело к активизации опасных техногенетических процессов, нарушению

---

**Манукьян Давид Ашикович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Геология и гидрогеология»;**

**Карпенко Нина Петровна, д-р техн. наук, проф. кафедры «Геология и гидрогеология» (МГУ природообустройства).**

экологического баланса, деградации природной среды на всех уровнях: детальном, локальном, региональном и глобальном.

Анализ, оценка и прогноз изменения природной среды на мелиоративных системах и связанных с ними опасностей и рисков являются важнейшими элементами обеспечения их экологически безопасного функционирования. Несмотря на то, что в последние годы исследования рисков активно проводятся, единая теоретическая и методологическая база этих исследований разработана недостаточно.

Для прогноза и оценки развития негативных последствий при функционировании мелиоративных систем предлагается использовать понятие геоэкологических рисков. Для их качественной и количественной оценки авторы выделяют два основных подхода: детерминистический и вероятностный.

Детерминистический подход основан на совмещении, как правило, нескольких факторов. При этом для оценки опасности геоэкологической ситуации на разных объектах используют различные санитарно-гигиенические и санитарно-токсикологические нормативы и показатели. Однако применение их во многих случаях недостаточно обосновано – требуется совершенствование методологической базы.

Вероятностный подход включает анализ и оценку неопределённостей. Получение вероятностных оценок при анализе риска базируется на методах, основанных на теории вероятности. При таком подходе под геоэкологическим риском понимается вероятностная мера опасности или вероятность нарушения устойчивости окружающей среды при любых воздействиях на неё хозяйственной деятельности. Оценка экологического риска включает следующие показатели: вероятность формирования опасностей и их реализация; ущерб при реализации экологической опасности.

Геоэкологический риск  $R_r$  имеет двухкомпонентную структуру и определяется как вероятность возникновения негативных последствий, вызываемых развитием природно-антропогенных (природно-мелиоративных) процессов, приводящих к экологическим ущербам [2]:

$$R_r = \sum_{i=1}^n P_k_i \sum_{j=1}^m U_k_j, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятности возникновения негативных последствий и их ущербов  $U$ ;  $k$  – вес фактора (весовой коэффициент);  $i, j$  – число факторов.

К основным факторам, которые влияют на геоэкологический риск, можно отнести: исходное экологическое состояние природной среды и её потенциальную устойчивость; характер, масштаб и длительность антропогенных воздействий на окружающую среду; надёжность и долговечность инженерных сооружений и др. На величину возможного ущерба влияют интенсивность антропогенных нагрузок, токсичность антропогенных воздействий, ценность экосистем и отдельных компонентов природной среды и др.

При оценке риска используют следующую классификацию неопределённостей:

неопределённость знаний о природной среде, закономерностях её развития и протекающих в ней процессах, реакции на внешние воздействия и т. п.;

неопределённости, возникающие при получении информации – измерениях, обработке и т. д.;

неопределённости, получаемые при прогнозе формирования опасностей и возникновении риска (неадекватность исходной математической модели, невозможность полного перебора вариантов и т. д.);

неопределённости, связанные с техногенными источниками (надёжность оборудования, соблюдение правил эксплуатации систем и сооружений и т. д.);

неопределённость погодных условий и др.

Основные методы оценки риска – методы Монте-Карло, Байеса, экспертные оценки риска, балльные оценки, ранжирование и др.

Особенностью анализа и идентификации геоэкологического риска на мелиоративных системах является высокая степень неопределённости, которая снижает как достоверность получаемых результатов, так и обоснованность принимаемых решений. В связи с этим затраты на проведение природоохранных мероприятий могут быть значительными по двум

основным причинам: во-первых, из-за недооценки риска возникновения негативных процессов возрастает ущерб от них; во-вторых, при переоценке риска, как правило, увеличиваются расходы на проведение защитных мероприятий. Для снижения уровня неопределенности используется ряд процедур, базирующихся на сочетании формальных и неформальных подходов, принципах принятия решений.

Отличительной чертой исследований по оценке геоэкологических рисков на мелиоративных системах является наличие факторов стохастической неопределенности представлений о природной среде (генетических особенностей формирования горных пород и их свойств; геометрии и структуры пространства поровых сред; литологической и геофильтрационной неоднородности; исходной гидрогеологической информации – геофильтрационных, ёмкостных и других параметрах, свойствах горных пород и водоносных горизонтов, их изменчивости и разнообразия, связанных с наличием случайных флюктуаций фильтрационных свойств и неоднородностей фильтрационного поля, которые сформировались в результате взаимодействия физических, физико-химических и других полей при литогенезе, и т. д.).

Важным фактором проявления геоэкологического риска являются также стохастичность и флюктуационность климатических условий; характер воздействия их является главным элементом неопределенности метеорологических прогнозов, учёт которых связан с расчётами режимов увлажнения разной вероятности превышения (50, 75 и 95 %).

Проявление факторов стохастичности погодных условий, неопределенности природной среды и неполнота базы данных, закладываемых в расчёты при проектировании мелиоративных систем, существенно повышают риск возникновения неблагоприятных ситуаций и снижают обоснованность принимаемых инженерных решений по разработке природоохранных мероприятий.

Наиболее эффективным при обосновании мелиоративных проектов в условиях неопределенности является критерий минимального среднего

**Таблица 1. Экспертная оценка вероятности возникновения негативных последствий при мелиоративном воздействии**

Негативные последствия	Вероятность возникновения
<i>На оросительных системах</i>	
Повышение уровней грунтовых вод при орошении	0,8...1,0
Подтопление земель при работе магистральных каналов	0,4...0,5
Возникновение ирригационной эрозии	0,3...0,4
Вторичное засоление	0,5...0,6
Деградация почвенного покрова	0,4...0,6
Уменьшение органического вещества в почвах	0,5...0,6
<i>На осушительных системах</i>	
Деструкция торфяной массы	0,4...0,6
Осадка и сработка торфа	0,4...0,5
Минерализация торфа	0,3...0,4
Дефляция осущененных торфяников	0,3...0,4
Оседание местности	0,1...0,3

риска (критерий Байеса), значения которого определяются по формуле [1]:

$$e(A^*) = \min(e_i) = \min\{\sum_{j=1}^n P_j\}, \quad (2)$$

где  $e_i$  – элементы матрицы рисков;  $P_j$  – распределение вероятностей возможных состояний факторов риска;  $n$  – общее число состояний факторов риска.

Оценка вероятности проявления негативных процессов на мелиоративных системах может быть проведена статистическими, аналитическими, расчётно-аналитическими, экспертными методами, а также путём моделирования. Наиболее достоверная характеристика вероятностного риска получается на основе оценки текущего экологического состояния. Проведённые авторами экспертные оценки обобщающих количественных значений геоэкологических рисков возникновения негативных последствий при мелиоративной деятельности представлены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы, основным негативным процессом, который наблюдается при оросительных мелиорациях и имеет высокую вероятность возникновения, является подъём уровней грунтовых вод (УГВ), приводящий к подтоплению и переувлажнению значительных территорий. Это приводит к ухудшению экологических условий, нарушению устойчивости инженерных сооружений, снижению

продуктивности агроландшафтов и т.п. При осушительных мелиорациях и длительном использовании осушаемых болот происходит понижение УГВ, переосушение почв, сработка торфа, его уплотнение и минерализация, ускоренная дефляция торфяников и др.

Оценку режима функционирования мелиоративной системы можно проводить на основе приемлемого геоэкологического риска, который не требует применения мероприятий по его снижению и величина которого не должна превышать общеэкологических значений – 0,15. Ранжирование режимов по величине приемлемого риска возникновения негативных последствий

целесообразно проводить по трём категориям: экологически безопасному (0...10 %), экологически допустимому (10...25 %) и экологически недопустимому (> 25 %) (табл. 2).

Основой безопасности мелиоративных систем является разработка технологий управления геоэкологическими рисками, в систему которого входят прогноз и предупреждение развития негативных процессов.

Прогноз геоэкологических рисков связан с оценкой всех составляющих риска, выбором метода оценки, моделированием и выполнением прогнозных расчётов, анализом полученных результатов. Важным звеном в этой системе является блок математического имитационного моделирования геофилтрационных процессов, прогнозных расчётов и сценарных исследований, позволяющих учесть фактор случайных неоднородностей природных параметров. Имитационное моделирование целесообразно применять в двух постановках: де-

терминированной – для построения статистических имитационных моделей и стохастической – для прогноза этих моделей по методу Монте-Карло, где входящая информация по исходным параметрам среды задаётся в виде статистических распределений их эффективных значений. Это позволяет составить более точные прогнозные оценки развития природно-мелиоративных процессов и выявить максимальные вероятности развития неблагоприятных процессов в разные периоды прогнозного времени. Составляющие риска можно рассчитывать на стадии обоснования инвестиций в мелиоративный проект (при этом рекомендуется применять аналитические методы с использованием упрощённых статистических распределений) или на стадии проектирования и обоснования строительства мелиоративных систем, применяя стохастическое моделирование.

Управление риском требует привлечения многих междисциплинарных дисциплин, среди которых важное место должна занимать синергетика – теория самоорганизации сложных, открытых, неравновесных, нелинейных систем [4]. К таким динамически развивающимся и открытым системам можно отнести все техноприродные системы, в том числе и мелиоративные. Трудности управления рисками на этих системах, наличие многочисленных факторов неопределённости и стохастического характера развития ситуаций определяют особую важность эколого-мелиоративного мониторинга как инструмента в системе управления геоэкологическим

**Таблица 2. Оценка режима функционирования мелиоративных систем по величине геоэкологического риска**

Основные негативные природно-мелиоративные процессы	Приемлемый геоэкологический риск	Режим функционирования мелиоративной системы		
		экологически безопасный	экологически допустимый	экологически недопустимый
Подтопление территории	0,10	0,10...0,15	0,15...0,25	> 0,25
Переувлажнение почв	0,15	0,15...0,20	0,20...0,25	> 0,25
Деградация почвенного покрова	0,05	0,05...0,10	0,10...0,15	> 0,15
Осолонцевание почв	0,15	0,15...0,20	0,20...0,25	> 0,25
Потеря гумуса в почвах	0,05	0,05...0,10	0,10...0,15	> 0,15

риском, позволяющего отслеживать, оценивать, своевременно корректировать программы наблюдений и расчётные модели, принимать соответствующие управляющие решения [3].

На основе эколого-мелиоративного мониторинга формируется достоверная и своевременная информация об основных показателях природной и технической подсистем, их текущего состояния. Эта информация необходима для прогноза и своевременного предупреждения негативных последствий. Управление геоэкологическими рисками методически и организационно связано с мониторингом природной среды [3]. Все его звенья направлены на решение проблемы экологической безопасности и в той или иной степени призваны способствовать уменьшению риска, однако эффективное функционирование мониторинга возможно только при создании целенаправленной системы.

### Выводы

1. В основе управления геоэкологическими рисками на мелиоративных системах лежит их прогноз и предупреждение. Определяющее место в этой системе занимает математическое имитационное моделирование геофильтрационных и геомиграционных процессов, позволяющее учесть в них фактор случайных неоднородностей, стохастический характер и на этой основе составить надёжные прогнозные оценки развития неблагоприятных процессов в разные периоды прогнозного времени и выявить максимальные вероятности их проявления.

2. Сочетание прогнозирования развития природно-мелиоративных процессов и организации эколого-мелиоративного мониторинга является важным средством обеспечения экологической безопасности функционирования мелиоративных систем.

3. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий, необходимых для снижения геоэкологических рисков до приемлемого уровня, не всегда очевидна, однако известно, что затраты на предотвращение негативных последствий, как правило, в десятки (и даже сотни) раз меньше, чем затраты на их ликвидацию.

4. Управление геоэкологическими рисками и реализация компенсаци-

онных природоохранных и природо-восстанавливающих мероприятий по снижению этих рисков являются не только эффективным средством обеспечения и повышения экологической безопасности функционирования мелиоративных систем, но и важным современным инструментом управления и охраны окружающей природной среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лабскер Л.Г., Бабешко Л.О. Игровые методы в управлении экономикой и бизнесом. – М.: Дело, 2001. – 205 с.
2. Карпенко Н.П. Структура и оценка геоэкологических рисков // Природообустройство. – 2009. – № 3. – С. 45 – 50.
3. Манукьян Д.А., Карпенко Н.П. Теория и методология ведения мониторинга техноприродных систем: Монография. – М.: МГУП, 2009. – 307 с.
4. Николис Г., Пригожин И.Р. Познание сложного: Введение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 344 с.