

# МОДЕЛИ СТРАХОВАНИЯ И ШТРАФОВ В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Байрамов О.Б.

ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия  
orudzh\_bayramov@mail.ru

*Аннотация. Страхование и штрафы в управлении водными ресурсами сохраняя актуальность, в решении конкретных задач выступают как альтернативные факторы. Рассматриваются математические модели, реализующие модели штрафов и страхования, выделяются преимущества конкретного фактора в каждом конкретном случае. Математическое ожидание позволяет определиться предпочтениями.*

*Ключевые слова: управление водными ресурсами, экологическое страхование, штрафы, обязательное страхование, математическое ожидание, математические модели.*

## Введение

Анализ результатов водохозяйственных расчетов и оценка затрат на водоохранную деятельность с помощью моделей оптимизации и многокритериального анализа позволяют выработать эффективные стратегии очистки сбросных вод и распределения инвестиций в охрану вод отдельных субъектов на территории бассейна. Негативное состояние некоторых водных объектов в бассейнах рек обусловлено как техногенными нагрузками от организованных выпусков сточных вод, так и воздействиями неорганизованных нерегулируемых, а часто даже и неучитываемых источников загрязнения. Кроме того, принципиальное значение приобретает решение таких задач, как конструирование новых хозяйственных механизмов для согласования экономических интересов субъектов Федерации на федеральном уровне; поиск компромиссов в условиях неопределенности и несовпадения интересов управляющих структур бассейнового уровня; разработка экономических инструментов оптимизации водопользования на муниципальном уровне.

Ниже рассматривается сравнительное влияние двух подходов (страхование и штрафы) на деятельность пользователей водными ресурсами, руководствуясь экологическими категориями. За основными определениями и принципами страхования, сущности и функции экологического страхования можно обратиться к [1]. Целью экологического страхования является обеспечение страховой защиты материальных интересов физических и юридических лиц в виде полной или частичной компенсации убытков, причиняемых загрязнением окружающей среды, вызванными авариями, технологическими сбоями или стихийными бедствиями, природы, деградированной под воздействием хозяйственной деятельности. В настоящее время в нашей экономике виновники причиненных убытков и ущербов не несут практически никакой ответственности. С другой стороны, размер ущерба от отдельных техногенных катастроф зачастую бывает настолько велик, что его даже частичное возмещение не под силу виновнику. Поэтому существенную роль могут и должны играть механизмы страхования, перераспределяющие крупные риски и позволяющие в большей степени возмещать экологический и другие виды ущерба, причиняемы как природе, так и экономическим объектам и отдельным субъектам. Рассматриваемой теме управления водными ресурсами посвящена работа [2]. Ниже приводятся некоторые модели штрафов и страхования в сфере водного хозяйства.

## 1. Виды штрафов

В водном хозяйстве обязательное страхование регулируется законодательством РФ и может касаться различных аспектов, включая гражданскую ответственность, экологические риски и имущественное страхование.

В России предприятия, загрязняющие водные объекты, могут быть привлечены к ответственности в соответствии с экологическим законодательством. Основные виды штрафов и платежей включают:

1. Плата за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС)

Взимается за сброс загрязняющих веществ в водные объекты.

Размер зависит от объема и степени опасности загрязняющих веществ.

Регулируется Постановлением Правительства РФ № 913 (2023 г.).

2. Административные штрафы по КоАП РФ (Глава 8)

Статья 8.13, Статья 8.14, Статья 8.42 (с соответствующими размерами штрафов)

3. Уголовная ответственность (УК РФ, Статья 250)

4. Возмещение вреда по ГК РФ (Статья 1064)

Предприятие обязано компенсировать ущерб, рассчитанный по методикам Росприроднадзора.

##### 5. Повышающие коэффициенты

За сверхлимитные сбросы плата увеличивается в 5 раз (ст. 16.3 Закона № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды").

##### 6. Дополнительные санкции

Приостановка деятельности предприятия.

Обязательство провести мероприятия по восстановлению водного объекта.

## 2. Виды обязательного страхования

Основные виды обязательного страхования в водном хозяйстве:

### 1. Обязательное страхование гражданской ответственности (ОСГО) судовладельцев

Регулируется ФЗ № 52 от 04.03.2021 ("Кодекс внутреннего водного транспорта РФ").

### 2. Обязательное экологическое страхование (при работе с опасными объектами)

Водохозяйственные объекты (плотины, гидроузлы, водохранилища) могут относиться к опасным производственным объектам (ОПО).

Если объект входит в перечень ОПО, требуется страхование ответственности за причинение вреда (ст. 15 ФЗ № 225-ФЗ "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта").

Покрывает ущерб от аварий (загрязнение водных ресурсов, разрушение гидрооборужений и т. д.).

### 3. Страхование ответственности за перевозку опасных грузов

### 4. Страхование работников (ОСАО – "Добровольное", но есть обязательные случаи)

Работники водного хозяйства (гидротехники, судовые экипажи) подпадают под обязательное социальное страхование от несчастных случаев (ФЗ № 125-ФЗ).

## 3. Примеры математических моделей, связанных с обязательным страхованием предприятий, потребляющих водные ресурсы

Вот несколько математических моделей, связанных с обязательным страхованием предприятий, потребляющих водные ресурсы ([3-7]).

### 3.1. Модель расчета страховых премий с учетом экологических рисков ([3])

Основная идея: Учет вероятности аварий и экологического ущерба при водопользовании.

Формула страховой премии

$$P = \lambda \cdot L \cdot (1 + r + \alpha),$$

где:

$\lambda$  – вероятность аварии (оценивается по статистике или экспертным данным),

$L$  – ожидаемые потери (включая очистку воды, штрафы, компенсации),

$r$  – норма прибыли страховщика,

$\alpha$  – рисковая надбавка.

### 3.2. Модель оценки ущерба водным ресурсам (LDA – Loss Distribution Approach) ([4])

Применяется: Для оценки распределения убытков от аварийных сбросов.

LDA – это актуарный метод, применяемый для оценки распределения потенциальных убытков, связанных с экологическими рисками, в частности, с загрязнением водных ресурсов. Этот подход широко используется в страховании экологических рисков, управлении операционными рисками и регулировании (например, в Basel II/III для банков).

Формула ущерба:

$$L = \sum_{i=1}^N X_i,$$

где:

$L$  – совокупный ущерб,

$N$  – случайная величина (число инцидентов),

$X_i$  – размер  $i$ -го убытка.

### 3.3. Модель влияния государственного регулирования (5)

Учет штрафов и обязательного страхования:

$$\Pi = P + \lambda \cdot (L + F),$$

где:

$\Pi$  – общие издержки предприятия (страховые выплаты + ожидаемые убытки),  
 $F$  – штрафы за загрязнение.

Оптимизация: Предприятие выбирает уровень защиты, минимизирующий  $\Pi$ .

### 3.4. Динамическая модель страхования (с учетом инвестиций в безопасность) (6)

Это мощный инструмент для анализа устойчивости страховой компании и оптимизации её стратегии. Это математическая модель, описывающая **изменение капитала страховой компании во времени**, учитывая: 1) поступления страховых премий; 2) выплаты по страховым случаям; 3) доход от инвестиций (в рисковые и безрисковые активы); 4) **инвестиции в безопасность**, которые снижают вероятность наступления страховых событий.

Пример уравнения (на основе модели Крамера–Лундберга):

$$\frac{dX(t)}{dt} = c + \lambda(u) \cdot E[z] + r \cdot X(t) - \varphi(u),$$

где:

$X(t)$  – капитал в момент времени  $t$ ;

$c$  – ставка страховых премий;

$\lambda(u)$  – интенсивность страховых случаев,

Чем выше  $u$ , тем ниже  $\lambda(u)$ , но выше  $\varphi(u)$  – задача в том, чтобы найти **оптимальный уровень  $u$** , минимизирующий риск разорения.

Цель модели: оценить вероятность разорения, найти оптимальный баланс между страхованием, инвестициями и безопасностью; построить стратегию, при которой компания максимально устойчива к убыткам.

Некоторые выводы:

- **Страховые модели** помогают распределить риски между предприятием и страховщиком. **Обязательное страхование** заставляет предприятия учитывать экологические риски. **Динамические модели** позволяют учесть долгосрочные эффекты.
- **Тарифы страхования** должны зависеть от водопотребления, чтобы стимулировать снижение нагрузки на ресурсы.
- **Государственное регулирование** может дополнять страхование (налоги, квоты). Такие модели помогают балансировать экономическую деятельность и экологическую устойчивость.
- **Страховые модели** помогают распределить риски между предприятием и страховщиком.
- **Динамические модели** позволяют учесть долгосрочные эффекты.

## 4. Модели страхования и штрафов

Моделирование регулирования водопользования через **штрафы и обязательное страхование** позволяет:

- Компенсировать экологический ущерб от загрязнения/перерасхода воды,
- Стимулировать предприятия к снижению водопотребления,
- Обеспечить финансовую устойчивость системы возмещения ущерба.

### 4.1. Базовая модель со штрафами и страхованием (7)

А. Параметры модели:

$Q$  – объем водопотребления предприятия,

$Q_{max}$  – лимит, установленный регулятором,

$D(Q)$  – экологический ущерб (например,  $D(Q) = k \cdot (Q - Q_{max})$ ),

$F(Q)$  – штраф за превышение лимита ( $F(Q) = f \cdot (Q - Q_{max})$ ),

$S$  – страховая сумма (покрытие ущерба),

$\pi$  – страховая премия (может зависеть от  $Q$ ).

Б. Функция затрат предприятия:

$$\Pi(Q) = P(Q) - \pi(Q) - F(Q) - E[(1 - I) \cdot D(Q)],$$

где:

$P(Q)$  – прибыль от использования воды,

$I = SD(Q) \cdot S$  (покрытие страхования,  $I \leq 1$ )

В. Оптимизация поведения предприятия:

Предприятие выбирает  $Q^*$ , максимизирующее  $\Pi(Q)$ .

Условие первого порядка:

$$P'(Q^*) = \pi'(Q^*) + F'(Q^*) + E[(1 - I) \cdot D'(Q^*)].$$

4.2. Модель с вероятностным ущербом ([8])

А. Стochasticный ущерб:

$Q$  – объем водопотребления предприятия,

$p(Q)$  – вероятность аварии (загрязнения) при водопотреблении  $Q$ ,

$L$  – ущерб при аварии.

Б. Ожидаемые затраты предприятия:

$Q$  – объем водопотребления предприятия,

$$E[\text{Затраты}] = \pi(Q) + F(Q) + p(Q) \cdot (L - I \cdot L).$$

В. Условие бездефицитности страховой компании:

$Q$  – объем водопотребления предприятия,

$$\pi(Q) \geq p(Q) \cdot I \cdot L + C,$$

где  $C$  – административные издержки.

4.3. Модель с регулируемыми штрафами ([□])

Государство может динамически корректировать штрафы для достижения целевого уровня водопотребления:

$$F(Q) = \begin{cases} 0, & Q \leq Q_{\max}, \tau(Q - Q_{\max}) \\ 2, & Q > Q_{\max}, \end{cases}$$

где  $\tau$  – коэффициент жесткости штрафа.

**Эффект:** При увеличении  $\tau$  предприятие сильнее стремится снизить  $Q$ .

**Выводы:**

**Штрафы** эффективны для прямого ограничения водопользования.

**Страхование** распределяет риски, но требует грамотного расчета премий.

**Комбинация** двух инструментов дает наилучший результат.

5. Сравнение моделей и рекомендации по их выбору

Сравнение моделей обязательного страхования и штрафования предприятий за загрязнение водных бассейнов

5.1. Эффективность моделей

Государство может динамически корректировать штрафы для достижения целевого уровня

А. Страхование:

Плюсы:

- Создает устойчивый компенсационный фонд
- Меньше сопротивления со стороны бизнеса

Минусы:

- Может привести к моральному риску (moral hazard)
- Требует сложных актуарных расчетов

Б. Штрафы:

### Плюсы:

- Простота администрирования
- Ясные стимулы для предприятий

### Минусы:

- Не гарантируют компенсацию пострадавшим;
- Могут провоцировать уклонение.

## 5.2. Рекомендации по выбору модели

Государство может **динамически корректировать штрафы** для достижения целевого уровня

**Для развитых стран:** Комбинированная модель с:

- обязательным страхованием базовых рисков;
- прогрессивными штрафами за систематические нарушения.

**Для развивающихся стран:** Упрощенная модель штрафов:

- четкие нормативы с автоматическим начислением
- постепенное внедрение страховых механизмов

**Вывод:** Оптимальная стратегия требует сочетания обоих подходов с адаптацией к местным условиям. Страхование обеспечивает стабильность, а штрафы – оперативное реагирование на нарушения.

## 5.3. Преимущество обязательного страхования

Государство может **динамически корректировать штрафы** для достижения целевого уровня

Обязательное экологическое страхование предприятий, использующих водные ресурсы, имеет ряд преимуществ перед простым штрафованием за загрязнение окружающей среды. Вот ключевые аргументы в его пользу:

### **А. Гарантированная компенсация ущерба**

Штрафы могут быть недостаточными для покрытия реального экологического вреда или задерживаться из-за судебных споров.

Страхование обеспечивает заранее определённый финансовый механизм возмещения ущерба, что ускоряет восстановление экосистем.

### **Б. Стимулирование профилактики загрязнений**

Страховые компании заинтересованы в снижении рисков и могут требовать от предприятий внедрения **предупредительных мер** (модернизация очистных сооружений, экологический аудит).

Штрафы же часто воспринимаются как «плата за загрязнение» и не всегда мотивируют к изменениям.

### **В. Снижение нагрузки на бюджет и судебную систему**

Страховые выплаты **не зависят от бюджетного процесса**, в отличие от штрафов, которые могут оспариваться в суде годами.

Пострадавшие (например, местные жители или рыбные хозяйства) получают компенсацию быстрее.

### **Г. Экономическая устойчивость бизнеса**

Крупные экологические аварии могут привести к банкротству предприятия, оставив ущерб **непокрытым**.

Страхование распределяет риски и защищает как природу, так и сам бизнес от катастрофических затрат.

### **Д. Соответствие международным стандартам**

В ЕС и США механизмы **обязательного экологического страхования** (например, директива ЕС об ответственности за экологический ущерб) доказали свою эффективность.

### **Вывод:**

Страхование создаёт **системную ответственность**, тогда как штрафы – лишь карательный инструмент. Для водопользователей это особенно важно, так как ущерб водным экосистемам часто имеет долгосрочный и масштабный характер.

Перечисленные модели показывают, что страхование:

**Гибче** адаптируется к рискам.

**Снижает** транзакционные издержки (судебные споры).

**Связывает** премии с реальными действиями предприятия.

Для водных ресурсов критично, что страхование учитывает **долгосрочный ущерб**, который штрафы часто игнорируют.

## 5.4. Достоинства штрафования

Хотя обязательное страхование часто считается более эффективным, в некоторых случаях штрафы могут давать преимущества – особенно при высокой предсказуемости ущерба, низких транзакционных издержках контроля и слабой чувствительности предприятий к рыночным стимулам. Рассмотрим модели, обосновывающие этот тезис.

### А. Модель "Жёсткого регулирования" (Command-and-Control)

**Идея:** Если загрязнение имеет **пороговый эффект** (например, превышение ПДК ведёт к катастрофическим последствиям), штрафы могут быть эффективнее страхования.

### Б. Модель "Нулевой терпимости" (Zero-Tolerance Enforcement)

**Идея:** Для токсичных загрязнителей (например, ртуть в воде) даже малые утечки недопустимы.

#### Условия:

Ущерб  $D(e) = \infty$  при  $e > 0$  (необратимое загрязнение).

Страхование **невозможно**, так как ущерб неподъёмен для рынка.

Оптимальная политика: штраф  $F \rightarrow \infty$  при любом  $e > 0$ .

### В. Модель "Дешёвого нарушения" (Cheap Non-Compliance) ([10])

**Идея:** Если вероятность обнаружения загрязнения ( $\pi$ ) мала, а страховые премии не зависят от реальных выбросов, штрафы могут быть сильнее.

#### Формализация:

Прибыль предприятия:  $\Pi = R - C(e) - \pi F(e) - S(e)$ .

Если  $\pi \rightarrow 0$ , страхование  $S(e)$  становится **единственным ограничителем**, но страховщики могут недооценивать риски.

Штраф  $F(e)$  с высокой ставкой (например,  $F = 10 \cdot D(e)$ ) компенсирует низкую  $\pi$ .

### Г. Модель "Коррупции и асимметрии информации" ([11])

**Идея:** В странах со слабым регулированием страховщики могут занижать риски из-за лоббизма или недостатка данных.

#### Уравнения:

Реальный ущерб:  $D(e)$ .

Страховая премия:

$S = p^\wedge \cdot D^\wedge$ , где  $p^\wedge < p(e)$ ,  $D^\wedge < D(e)$  (заниженные оценки).

Штраф  $F$ , установленный международными нормами (например, Водная рамочная директива ЕС), обходит коррупцию.

#### Пример:

Сброс неочищенных стоков в развивающихся странах.

### Д. Динамическая модель "Накопленного загрязнения" ([12])

**Идея:** Если загрязнение водных ресурсов **кумулятивно** (тяжёлые металлы), штрафы за превышение лимитов могут быть проще в контроле, чем страховые тарифы.

#### Формализация:

Накопление загрязнения:  $Pt + 1 = \delta Pt + et$  ( $\delta$  – коэффициент распада).

Штраф:  $Ft = k \cdot \max(0, Pt - P^\wedge)$ .

Страхование: требует сложного моделирования  $Pt$ , что дорого и неточно.

**Вывод:** Для кумулятивных загрязнителей штрафы **прозрачнее** и требуют меньше данных.

#### Заключение

Штрафы могут превосходить страхование в случаях:

**Катастрофических рисков** (нулевая терпимость).

**Низкой вероятности обнаружения** (высокие штрафы компенсируют слабый контроль).

**Коррупции в страховом секторе.**

**Кумулятивного загрязнения** (проще установить жёсткие лимиты).

Однако для **непредсказуемых/диффузных загрязнений** комбинация штрафов и страхования часто оптимальна.

Вот пример для совместного применения штрафов и страхования:

Современная экологическая политика в сфере водопользования сталкивается с комплексными вызовами, особенно в регионах с интенсивной добывающей промышленностью и наличием затяжных трансграничных конфликтов. Ярким примером, имеющим не только экологическое, но и высокое политическое значение, является проблема загрязнения реки Охччай, берущей начало в Армении и принимающей сточные воды Каджаранского медно-молибденового комбината. Токсичные тяжёлые

металлы с территории комбината, попадая в Охчучай, а затем в трансграничную реку Араз, несут серьезнейшую угрозу экосистемам и населению Азербайджана, а в перспективе – и бассейну Каспийского моря. Разрешение данной ситуации выходит за рамки чисто экологической проблемы и может стать практической площадкой для построения доверия между сторонами. Внедрение прозрачных и экономически обоснованных механизмов, таких как гибридная модель, сочетающая страховые и штрафные инструменты, способно выполнить двоякую роль. Во-первых, оно создает объективный, деполитизированный финансовый регулятор для предприятия-загрязнителя, гарантируя компенсацию ущерба и стимулируя к модернизации. Во-вторых, и это ключевое значение, такой подход может стать важным компонентом мирного урегулирования, переводя спорную проблему из политической плоскости в конструктивное русло технико-экономического сотрудничества. Совместная работа экспертов, страховых компаний и регуляторов над созданием такой модели способна заложить основу для диалога и сотрудничества в других смежных сферах. Таким образом, анализ и продвижение гибридных моделей управления водными ресурсами в данном контексте представляется не только научной или управленческой задачей, но и вкладом в процесс стабилизации и мирного сосуществования в регионе.

## 6. Заключение и выводы

Математическое ожидание лучше всего отражает преимущество обязательного страхования над штрафами при сравнении **ожидаемых финансовых потерь** для участников системы. Можно выделить показатели, для которых математическое ожидание оправдано:

### **Ожидаемые затраты страхователя**

Сравнение средних выплат по страховке и штрафам.

Если  $E[\text{Страховка}] < E[\text{Штраф}]$ , страхование выгоднее.

### **Риск непредвиденных убытков**

Страхование снижает дисперсию убытков (риск катастрофических потерь).

### **Социально-экономическая эффективность**

Математическое ожидание совокупных затрат общества (штрафы, страховые выплаты).

## Литература

1. Бурков В.Н., Заложненев А.Ю., Кулик О.С., Новиков Д.А. Механизмы страхования в социально-экономических системах. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 109 с.
2. Агасандян Г.А., Гасанов И.И., Ерешко Ф.И. Новые подходы в проблеме комплексного управления водными ресурсами. – М. Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына РАН, 2003. – 54 с.
3. Ermolieva T., Ermoliev Y., & Norkin V. Stochastic Optimization of Insurance Portfolios for Managing Exposure to Catastrophic Risks. // Annals of Operations Research. – 2010. – Vol. 99, № 1–4. – P. 207–225.
4. Kaas R., Goovaerts M., Dhaene J., & Denuit M. Modern Actuarial Risk Theory. Springer Berlin, Heidelberg, 2008. – 382 с.
5. Hogarth R.M., & Kunreuther H. Decision Making under Ignorance: Arguing for the Importance of Insurance. // Journal of Risk and Uncertainty. – 1995. – Vol. 10, № 1. – P. 15–36.
6. Kunreuther H., & Heal G. Interdependent Security // Journal of Risk and Uncertainty. – 2003. – Vol. 26, № 2–3. – P. 231–249.
7. Shogren J., & Crocker N. Risk, self-protection, and ex ante economic value // Journal of Environmental Economics and Management. – 1991. – Vol. 20, № 1. – P. 1–15.
8. Ehrlich I., & Becker G. Market Insurance, Self-Insurance, and Self-Protection // Journal of Political Economy. – 1972. – Vol. 80, № 4. – P. 623–648.
9. Kaplow L. & Shavell S. Economic analysis of law // Auerbach A.J. & Feldstein M. eds., Handbook of Public Economics. – 2002. – Vol. 3. – P. 1661–1784.
10. Becker G. Crime and Punishment: An Economic Approach // Journal of Political Economy. – 1968. – Vol. 76, № 2. – P. 169–217.
11. Stiglitz J. Markets, Market Failures, and Development // The American Economic Review. – 1989. – Vol. 79, № 2. – P. 197–203.
12. Mäler K.-G. Development, Ecological Resources and their Management // European Economic Review. – 2000. – Vol. 44, № 4–6. – P. 645–665.