

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

## № 45

*Научно-теоретический журнал*

*Издается с октября 2005 года  
Выходит 4 раза в год*

ISSN 2074-2762

Санкт-Петербург



2016

УДК 3 + 502.52 + 55  
ББК 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 45. Научно-теоретический журнал. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 264 с.

В издании представлены статьи сотрудников университета и приглашенных специалистов по широкому спектру направлений научной деятельности университета. Материал сгруппирован по специальностям. Главное внимание уделено проблемам изменения климата, физических процессов в морях, водохозяйственных исследований, экономических механизмов рационального природопользования. В разделе «Хроника» освещены основные события жизни университета.

Предназначен для ученых, исследователей природной среды, экономистов природопользования, аспирантов и студентов, обучающихся по данным специальностям.

*Редакционный совет:*

**Михеев В.Л.**, канд. юрид. наук, и.о. ректора РГГМУ — *председатель совета.*

**Вильфанд Р.М.**, д-р техн. наук, проф., директор ГМНИЦ РФ; **Кулешов Ю.В.**, д-р техн. наук, проф., зам. начальника Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского по учебной и научной работе; **Лил В.У.**, д-р наук, проф. ун-та г. Гамбург (Германия) и ун-та г. Манчестер (Великобритания); **Румянцев В.А.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН, научный руководитель Института озераведения РАН; **Федоров М.П.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, научный руководитель программы НИУ СПб ГПУ; **Фролов И.Е.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАЕН, директор ГНЦ ААНИИ; **Хуакин Л.**, д-р наук, проф., вице-ректор Морского ун-та г. Джейянг (КНР); **Шапрон Б.**, д-р наук, ведущий ученый института морских исследований IFREMER (Франция); **Филатов Н.Н.**, д-р геогр. наук, проф., член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института водных проблем севера КарНЦ РАН.

*Редакционная коллегия:*

**Малинин В.Н.**, д-р геогр. наук, проф. — *главный редактор.*

**Ворожобов В.Н.**, канд. геогр. наук, проф. — *зам. главного редактора.*

**Шилин М.Б.**, д-р геогр. наук, проф. — *отв. секретарь.*

**Бескид П.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Быкова Е.В.**, д-р филолог. наук; **Гогоберидзе Г.Г.**, д-р эконом. наук; **Коваленко В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Кудрявцев В.Н.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Смышляев С.П.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Угрюмов А.И.**, д-р геогр. наук, проф.; **Фирова И.П.**, д-р эконом. наук, проф.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному Федеральному округу.

Свидетельство ПИ № ФС2-8484 от 07.02.2007 г.

Специализация: метеорология, гидрология, океанология, геоэкология, геофизика, общественные и гуманитарные науки.

Подписной индекс 78576 в каталоге «Каталог российской прессы «Почта России».

Журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>).

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции:  
Россия, 195196, Санкт-Петербург,  
Малоохтинский пр., 98.

ISSN 2074-2762

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2016  
© Авторы публикаций, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### Геофизика

*Шнеерсон Е.З.* О физической природе фрикционных сил в контактирующих парах и примерах моделирования трения в динамических системах . . . . . 9

### Гидрология

*Норматов П.И., Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т., Норматов И.Ш.*  
Метеорологические особенности и гидрохимия озера Искандеркуль и впадающих в него рек . . . . . 13

*Поздняков Ш.Р., Шмакова М.В.* Расчет расхода влекомых наносов на реках с крупнофракционными донными отложениями . . . . . 20

*Васильев Ю.С., Масликов В.И., Шилин М.Б.* Режим регулирования стока Рыбинского водохранилища как основной фактор формирования экологической ситуации в осушной зоне . . . . . 28

### Океанология

*Войнов Г.Н.* Приливы в Обской губе (Карское море). II. Влияние ледяного покрова на характеристики приливов . . . . . 43

*Заболотских Е.В.* Спутниковые пассивные микроволновые методы зондирования системы «океан – атмосфера» для изучения экстремальных погодных явлений . . . . . 64

*Зубкова Е.В., Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н.* Характеристики короткопериодных внутренних волн в Гренландском море по данным спутниковых радиолокационных наблюдений. . . . . 81

*Кудрявцева Е.А., Сивков В.В.* Использование диска Секки для определения толщины фотического слоя в юго-восточной Балтике по данным измерений первичной продукции *in situ* . . . . . 91

*Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Моделирование и раннее предупреждение природных и техногенных воздействий в прибрежных районах Азовского моря . . . 100

### Метеорология

*Денисенков Д.А., Жданова М.А., Жуков В.Ю., Шукин Г.Г.* Экспериментальная проверка метода определения сдвига ветра по ширине спектра радиолокационного сигнала . . . . . 113

*Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю.* Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках . . . . . 119

*Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Ефременко Д.С.* Об одном алгоритме выявления локальных трендов при анализе метеорологических временных рядов. . . . . 132

*Рождественский А.Е., Малышев Г.А.* К оценке источников и стоков тепла в атмосфере Северного полушария . . . . . 142

*Федоров В.М.* Корреляционный анализ инсоляции Земли и аномалии приповерхностной температуры. . . . . 151

*Вайновский П.А., Малинин В.Н., Митина Ю.В.* Статистический анализ температуры воздуха северного полушария за последние две тысячи лет. . . . . 169

## **Экология**

<i>Бурнашов Е.М., Карманов К.В.</i> Дефляционные процессы на морском побережье Куршской косы .....	180
<i>Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Максимова Е.Ю., Былина Т.С., Соловей Н.А., Максимова Т.В.</i> Опыт и перспективы использования некоторых количественных методов экологической оценки проектируемых гидротехнических сооружений .....	192
<i>Максимова Е.Ю., Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Жакова Л.В., Фёдоров В.А., Успенский А.А.</i> Исследование пространственно-временной динамики зарослевых экосистем Невской губы и прилегающей акватории восточной части Финского залива .....	202

## **Информационные технологии**

<i>Бескид П.П., Силин П.И.</i> Управление информационными рисками: базовые понятия, классификация, стандартизация .....	217
<i>Фокичева А.А., Степанов С.Ю.</i> Разработка модели управления пространственно-распределенными разнородными данными для поддержки принятия решений .....	223

## **Социально-гуманитарные науки**

<i>Лизун В.Н.</i> Инновации как драйвер развития российского Севера .....	228
<i>Лизун В.Н.</i> Политика государства как инструмент воздействия на научно-технический прогресс .....	237
<i>Шугалей И.В., Илюшин М.А., Судариков А.М., Возняковский А.П., Капитоненко З.В.</i> Перспективы и риски развития и внедрения нанотехнологий ...	245
Хроника .....	258
Список авторов .....	260
Условия публикации в журнале «Ученые записки РГГМУ» .....	262

*В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, Е. Ю. Максимова, Т. С. Былина,  
Н. А. Соловей, Т. В. Максимова*

### **ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

*V. Zhigulsky, V. Shuisky, E. Maksimova, T. Bylina, N. Solovey, T. Maksimova*

### **PREVIOUS EXPERIENCE AND PROSPECTS OF USING CERTAIN QUANTITATIVE METHODS FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS DURING THE DESIGN PROCESS**

Дается краткий обзор некоторых количественных методов выбора местоположения гидротехнических сооружений (ГТС), позволяющих минимизировать соответствующие экологические издержки. Рассматриваются: 1) многомерный кластерный анализ ожидаемого антропогенного воздействия; 2) оценка эколого-экономического риска как математического ожидания вреда (ущерба) окружающей среде; 3) экспресс-оценка ожидаемой «экологической стоимости» гидростроительства. Каждый из этих методов обосновывается, описывается, иллюстрируется конкретным примером.

**Ключевые слова:** гидротехнические работы, дноуглубление, намыв, водные экосистемы, антропогенное влияние.

Below is a brief overview of several quantitative methods for selecting the locations of hydraulic engineering constructions (HEC) to minimize the related environmental costs. We conduct the following: 1) a multidimensional cluster analysis of the expected human impact; 2) an assessment of the ecological-economic risk in the form of the expected value of the predicted harm to the environment; 3) an express estimation of the expected “environmental cost” of construction activities. Each of these methods is justified, described and illustrated by a specific example.

**Keywords:** hydraulic engineering works, dredging, land reclamation, aquatic ecosystem, man-made impact.

#### **Введение**

В настоящей работе представлены некоторые примеры применения количественных методов экологической оценки проектируемых гидротехнических сооружений. Для решения такой задачи в современных условиях требуется создание и применение количественных аналитических методов, учитывающих закономерности реакции морской среды на многокомпонентную антропогенную нагрузку.

Здесь использован опыт разработки и применения таких методов специалистами крупнейшей эколого-проектной компании Северо-Запада — «Эко-Экспресс-Сервис». Компания имеет более чем двадцатилетний стаж и богатейший опыт проектирования гидротехнических сооружений (ГТС) на морских акваториях [3, 4].

В рамках настоящей статьи речь пойдет о возможностях использования лишь трех таких методов: многомерного кластерного анализа, анализа эколого-экономического риска и экспресс-оценки ожидаемой «экологической стоимости» гидростроительства.

### **Использование многомерного кластерного анализа**

Выбор оптимального варианта местоположения ГТС осуществляется с учетом множества критериев, имеющих различную размерность. При этом требуется сравнить альтернативные варианты как между собой, так и с так называемым нулевым вариантом (при отсутствии вмешательства и его влияния на дальнейший ход сукцессии экосистемы). Логике решения обеих задач хорошо соответствует многомерный кластерный анализ. Его использование может быть продемонстрировано на примере выбора местоположения глубоководного порта в Калининградской области по результатам многокритериальной технико-эколого-экономической оценки альтернативных вариантов его размещения (предварительная, внепроектная стадия, 2008–2010 гг.).

Создание глубоководного узлового порта («порта-хаба») в Калининградской области предусмотрено федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России». Этот порт проектируется как крупный транспортно-логистический узел, который будет являться важнейшим элементом российской транспортной системы, обеспечивая торгово-экономические интересы России в Балтийском регионе. Целесообразность создания крупного транспортно-логистического узла обусловлена тенденциями возрастающих грузоперевозок в Балтийском регионе и географическими особенностями намеченного района портового строительства.

Как альтернативные варианты размещения глубоководного порта рассматривались следующие (рис. 1):

- вариант 1 — открытое побережье Балтийского моря;
- вариант 2 — западное побережье бухты Приморская;
- вариант 3 — восточное побережье бухты Приморская;
- вариант 4 — район м. Северный на п-ове Бальга.

Сравнительный технико-эколого-экономический анализ альтернативных вариантов осуществлялся на основе многокритериальной системы, экологический блок которой включал следующие количественные показатели состояния окружающей среды и ожидаемого воздействия на нее:

- прямое расстояние до ближайшей жилой застройки;
- статус земельного участка;
- прямое расстояние до ближайшей ООПТ;
- общий объем дноуглубления;
- объем грунтов дноуглубления, пригодных для образования территорий;
- общий объем намывных работ;
- площадь отторгаемой акватории;
- ежегодное осадконакопление в подходящих каналах и на операционной акватории;
- периодичность необходимого ремонтного дноуглубления;
- расстояние до ближайших мест обитания особо охраняемых видов;

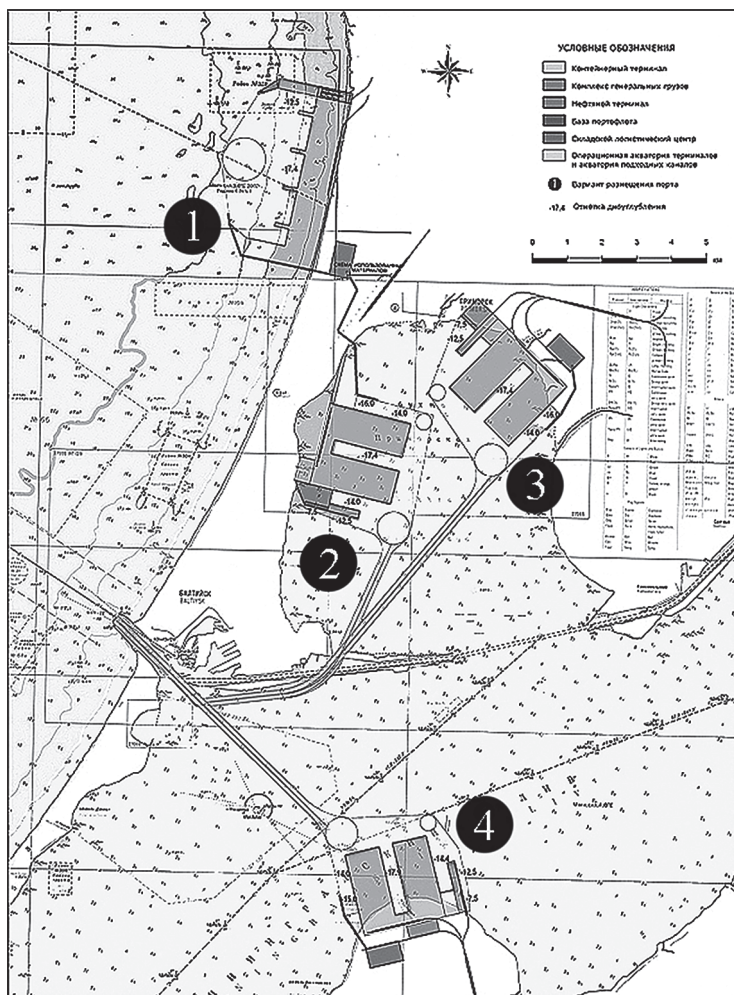


Рис. 1. Схема четырех альтернативных вариантов расположения глубоководного порта-хаба в Калининградской области

- расстояние до ближайших регулярных скоплений водоплавающих и околоводных птиц;
- расстояние до ближайших нерестово-выростных участков ценных видов рыб;
- платежи за негативное воздействие на окружающую среду в период строительства;
- платежи за негативное воздействие на окружающую среду в период эксплуатации;
- ущерб наземной и околководной биоте (в том числе, в ООПТ);
- ущерб водным биологическим ресурсам.



Результаты сравнительной оценки четырех вариантов в евклидовом пространстве этих показателей представлены дендрограммой на рис. 2.

Евклидовы расстояния между четырьмя вариантами, оцененные по совокупности вышеуказанных характеристик, показывают, что варианты 2, 3 и 4 относительно сходны по уровню общего воздействия на окружающую среду, а вариант 1 существенно от них отличается (значительное евклидово расстояние от группы вариантов 2–4).

Как показывает дендрограмма, по степени ожидаемого воздействия на окружающую среду наиболее сходными оказались варианты 3 и 4, а наиболее отличным от остальных — вариант 1.

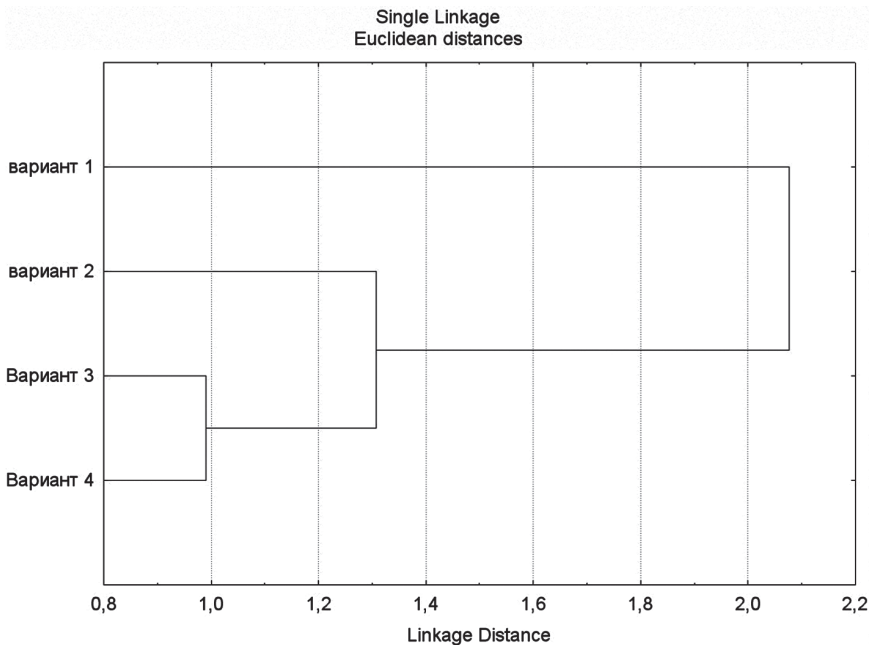


Рис. 2. Результаты кластерного анализа совокупности характеристик воздействия на окружающую среду глубоководного порта при четырех рассматриваемых вариантах его размещения

Как обобщенная мера негативного воздействия на окружающую среду при каждом из вариантов расположения порта может рассматриваться ближайшее евклидово расстояние между границами областей в многомерном критериальном пространстве, соответствующих отсутствию намечаемого воздействия («нулевой вариант») и реализации данного варианта размещения.

При сравнении всех четырех полученных вариантов с «нулевым» (то есть с невмешательством в фоновую сукцессию) по совокупности всех природоохранных количественных критериев воздействие варианта 1 на окружающую среду представляется наименее сильным, варианта 2 — наиболее сильным, а варианты 3 и 4 занимают промежуточное между ними, среднее положение.



### Количественный анализ эколого-экономического риска

Традиционно при оценке ожидаемых последствий намечаемого гидростроительства рассматривается один упрощенный сценарий развития экологически опасных событий. Оценивается некая условная, единственно возможная величина техногенного ущерба, как бы детерминированная воздействием. На самом же деле очевидно, что развитие экологически опасных событий здесь не может быть строго детерминировано и носит вероятностный характер. Соответственно, для прогнозирования и минимизации экологических последствий как всей развивающейся системы морского транспорта в целом, так и ее отдельных элементов, необходимо активное развитие и внедрение методологии и методов количественного анализа экологического риска. Это даст подход к обоснованному регулированию экологической опасности портостроения, предотвращению избыточных воздействий на водные экосистемы еще на стадии принятия предпроектных и проектных решений. Причем при выборе меры риска следует учесть, что унифицированной количественной характеристикой разнообразных негативных последствий воздействия на различные компоненты среды может служить только стоимостной эквивалент их вызываемых изменений — экологический ущерб. Соответственно, оценка антропогенных воздействий на окружающую среду должна иметь вероятностно-стоимостной характер: учитывать и *возможность реализации* негативных последствий, и *степень их тяжести*.

Наиболее адекватным для оценки экологической опасности представляется количественный вероятностно-стоимостной подход, ставший уже общепринятым для оценки технологического риска [7, 8 и др.]. При этом величина экологического риска ( $R$ ), обусловленного экологически опасным событием, трактуется как математическое ожидание экологического ущерба ( $U$ ):

$$R = p \times U, \quad (1)$$

где  $p$  — вероятность реализации события, ведущего к нанесению ущерба  $U$ .

При возможности выделения и количественного анализа различных сценариев развития экологически опасных событий строится их дерево. Для каждого из возможных альтернативных событий (или сценариев — последовательностей событий) должны быть учтены их вероятности и полные величины ущерба реципиентам воздействия в стоимостном выражении ( $U$ ). Вероятность реализации каждого  $i$ -го независимого сценария экологически опасных событий из  $n$  потенциально возможных сценариев ( $p_i$ ) определяется мультипликативно:

$$p_i = \prod_{j=1}^k p_{ij}, \quad (2)$$

где  $p_{ij}$  — вероятность реализации  $i$ -го сценария при каждой альтернативной ситуации дальнейшего развития событий, дающей  $k$  вариантов.

Ожидаемый ущерб  $R$  в стоимостном выражении определяется как сумма математических ожиданий ущерба от реализации альтернативных сценариев экологически опасных событий по уравнению:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (U_i \times p_i) = \sum_{i=1}^n \left( U_i \times \prod_{j=1}^k p_{ij} \right), \quad (3)$$

где  $n$  — количество проанализированных альтернативных сценариев экологически опасных событий, вызываемых воздействием объекта;  $R_i$  — вероятный экологический ущерб от реализации  $i$ -го сценария в стоимостном выражении;  $U_i$  — полная величина экологического ущерба в натуральном выражении.

**Примером** использования такого подхода в проектировании портовых комплексов может служить предварительная оценка воздействия на окружающую среду (ПОВОС) аванпортов Большого порта Санкт-Петербург, выполненная ООО «Эко-Экспресс-Сервис» в 2008 г. [6]. Согласно техническому заданию, рассматривались два альтернативных варианта размещения будущих аванпортов. В обоих случаях система аванпортов заняла бы большое пространство — ее отдельные объекты охватывают южную часть КЗС, береговую полосу восточнее и, по одному из вариантов, западнее КЗС, южную часть острова Котлин.

Была выполнена всесторонняя сравнительная оценка ожидаемого воздействия системы аванпортов на окружающую среду при обоих сопоставляемых вариантах размещения портов с элементами риск-анализа. Как известно, основные составляющие общей величины экологического ущерба от гидростроительства обуславливаются загрязнением и взмучиванием вод и сопутствующим уменьшением запасов водных биологических ресурсов. Теоретической основой для проведения вычислительных исследований ожидаемой динамики облака повышенной мутности послужила синтезированная система из двух математических моделей — адаптированной трехмерной термогидродинамической модели и модели распространения и седиментации взвешенных частиц Принстонского университета (США) [1].

Обычно ожидаемый ущерб компонентам водной среды от замутнения и загрязнения вод оценивается по результатам лишь одного варианта их моделирования. При этом многие модельные условия для расчета выбираются довольно субъективно, что значительно обесценивает получаемый результат. Но при разработке данного ПОВОС было выполнено моделирование замутнения вод для различных вариантов возможных гидрометеорологических условий в период ведения работ, с учетом вероятности реализации каждого из них. Соответственно, по результатам анализа данных альтернативных сценариев развития экологически опасных событий результирующая оценка ущерба компонентам водной среды выполнялась по уравнению (3). В итоге величина экологического риска от замутнения и химического загрязнения вод составила: 505 млн руб. — по первому варианту размещения объектов и 501 млн руб. — по второму. Величина экологического риска для рыбных запасов составила 523 и 497 млн руб. соответственно.

Итоги всесторонней сравнительной оценки экологической опасности альтернативных вариантов размещения позволили обоснованно рекомендовать второй из них — с частичным выносом объектов западнее КЗС. Это дало возможность сохранить группу проектируемых (сейчас — уже действующих) региональных заказников между портом «Бронка» и г. Ломоносовым и в то же время не выйти за пределы допустимого воздействия на действующую ООПТ — заказник «Лебязье».

Таким образом, предлагаемый подход к оценке и регулированию экологического риска, связанного с хозяйственным освоением морского пространства, демонстрирует явные преимущества по сравнению с традиционной «односценарной» оценкой. Расчет якобы единственной, детерминированной воздействием величины будущего ущерба заменяется анализом дерева возможных экологически опасных событий с учетом вероятности и стоимости последствий каждого из сценариев. Этот метод более адекватен, реалистичен, дает возможность принятия количественно обоснованных проектных и управленческих решений.

### **Экспресс-оценка ожидаемой «экологической стоимости» проекта**

Очевидно, что масштаб будущего антропогенного воздействия намечаемого гидростроительства на окружающую среду во многом предопределяется еще на предпроектной стадии, при выборе варианта альтернативных проектных решений. Анализ многочисленных проектных и мониторинговых работ компании «Эко-Экспресс-Сервис», связанных с сооружением морских ГТС, позволил нам разработать и предложить весьма простой метод ориентировочной прогнозной оценки экологической опасности намечаемого гидростроительства еще на предпроектной стадии. В рамках настоящей работы метод удобнее продемонстрировать на примере совокупности объектов гидростроительства на Финском заливе Балтийского моря.

Метод базируется на выявленных закономерностях соотношения следующих показателей.

#### **1. Показатели уровня воздействия:**

- ▶  $V$  (млн  $m^3$ ) — объем грунта, перемещенного при дноуглублении.
- ▶  $S$  ( $km^2$ ) — площадь образованной территории.

#### **2. Абсолютные показатели итоговых изменений окружающей среды:**

- ▶  $U_V$  (тыс. руб. или тыс. €) — суммарная величина платы за воздействие на все компоненты окружающей среды (согласно действующему законодательству) при дноуглублении (далее — «экологическая стоимость» дноуглубления).
- ▶  $U_S$  (тыс. руб. или тыс. €) — суммарная величина платы за воздействие на все компоненты окружающей среды (согласно действующему законодательству) при образовании территорий (намыве) (далее — «экологическая стоимость» образования территории).

Поскольку основным и наиболее уязвимым реципиентом антропогенного воздействия, а также важнейшим компонентом экологического ущерба при гидростроительстве являются водные биологические ресурсы, отдельно оцениваются также следующие показатели:  $U_{JV}$  и  $U_{JS}$  (тыс. руб. или тыс. €) — величина компенсационной платы за ущерб водным биологическим ресурсам при дноуглублении и намыве соответственно.

#### **3. Относительные показатели изменений окружающей среды:**

- ▶  $U_V/V$  (руб./ $m^3$ , €/ $m^3$ ) — «экологическая стоимость» единицы объема перемещенного грунта (далее — «относительная экологическая стоимость» дноуглубления).
- ▶  $U_S/S$  (тыс. руб./ $km^2$  или руб./ $m^2$ , тыс. €/ $km^2$  или €/ $m^2$ ) — «экологическая стоимость» единицы площади образованной территории (далее — «относительная экологическая стоимость» образования территории).

- ▶  $U_{fv}/V$  (руб./м<sup>3</sup>, €/м<sup>3</sup>) — ущерб водным биоресурсам от дноуглубления на единицу объема перемещенного грунта.
- ▶  $U_{fs}/S$  (тыс. руб./км<sup>2</sup> или руб./м<sup>2</sup>, тыс. €/км<sup>2</sup> или €/м<sup>2</sup>) — ущерб водным биоресурсам от образования территории на единицу ее площади.

**4. Зависимости значений абсолютных показателей изменения окружающей среды от показателей уровня воздействия.** Для рассматриваемой совокупности объектов выявляется прямая зависимость абсолютных показателей изменения окружающей среды в стоимостном выражении ( $U_v$  и  $U_s$ ) от объема перемещаемого грунта ( $V$ ) и общей площади образуемой территории ( $S$ ). Соотношение этих показателей описывается следующими уравнениями ( $U_v$  и  $U_s$  — тыс. €,  $V$  — млн м<sup>3</sup>,  $S$  — км<sup>2</sup>):

$$\lg U_v = (2,928 \pm 0,135) + (0,715 \pm 0,115) \times \lg V; \quad r = 0,77; \quad (4)$$

$$\lg U_s = (2,764 \pm 0,158) + (1,063 \pm 0,163) \times \lg S; \quad r = 0,89. \quad (5)$$

При этом величина компенсационной платы за ущерб водным биологическим ресурсам от дноуглубительных работ  $U_{fv}$  (тыс. €) также демонстрировала существенную зависимость от объема перемещаемого грунта  $V$  (млн м<sup>3</sup>), которая с приемлемой точностью аппроксимируется уравнением

$$\lg U_{fv} = (2,465 \pm 0,115) + (0,651 \pm 0,098) \times \lg V; \quad r = 0,79. \quad (6)$$

Зависимость величины компенсационной платы за ущерб водным биологическим ресурсам при работах по образованию новых территорий  $U_{fs}$  (тыс. €) от их площади  $S$  (км<sup>2</sup>) описывается уравнением:

$$\lg U_{fs} = (2,073 \pm 0,164) + (0,861 \pm 0,165) \times \lg S; \quad r = 0,84. \quad (7)$$

**5. «Экологическая стоимость» работ по дноуглублению и образованию территории при их различных масштабах.** При выражении показателей «относительной экологической стоимости» в евро ( $U_v/V$ , €/м<sup>3</sup> и  $U_s/S$ , тыс. €/км<sup>2</sup>) их соотношения с величинами объема перемещаемых грунтов  $V$  (млн м<sup>3</sup>) и площади намыва  $S$  (км<sup>2</sup>) выражаются уравнениями:

$$\lg(U_v/V) = (-0,072 \pm 0,135) - (0,285 \pm 0,115) \times \lg V; \quad r = -0,42. \quad (8)$$

$$\lg(U_s/S) = (2,459 \pm 0,192) + (0,001 \pm 0,001) \times \lg S; \quad r = 0,11. \quad (9)$$

При этом изменения значений величины ущерба водным биоресурсам при дноуглублении на единицу объема перемещенного грунта  $U_v/V$  (€/м<sup>3</sup>) в изученном диапазоне объема перемещенного грунта  $V$  (млн м<sup>3</sup>) выражаются уравнением:

$$\lg(U_{fv}/V) = (-0,535 \pm 0,115) - (0,348 \pm 0,098) \times \lg V; \quad r = -0,56. \quad (10)$$

Изменения значений величины ущерба водным биоресурсам при образовании территорий на единицу их площади  $U_s/S$  (тыс. €/км<sup>2</sup>) в изученном диапазоне площадей намыва  $S$  (км<sup>2</sup>) выражаются уравнением:

$$\lg(U_s/S) = (2,073 \pm 0,164) - (0,139 \pm 0,165) \times \lg S; \quad r = -0,25. \quad (11)$$

Таким образом, очевидно, что зависимость использованных *абсолютных показателей итоговых изменений окружающей среды* ( $U_v$ ,  $U_s$ ,  $U_{fv}$  и  $U_{fs}$ ) от *абсолютных показателей уровня воздействия* (объем перемещаемого грунта  $V$ , площадь образованной территории  $S$ ) достоверна, положительна и достаточно хорошо формализуется. Относительные показатели изменений окружающей среды ( $U_v/V$ ,  $U_s/S$ ,  $U_{fv}/V$  и  $U_{fs}/S$ ) варьируют в изученных диапазонах показателей воздействия неупорядоченно, зависимости их от масштабов гидростроительства не обнаруживаются, что позволяет содержательно определить и использовать в ориентировочных прогнозах их усредненные значения.

Установлено, что распределения значений всех четырех перечисленных относительных показателей характеризуются выраженной положительной асимметрией и с удовлетворительной точностью аппроксимируются логнормальным распределением [2]. Таким образом, наиболее корректно выразить математические ожидания этих показателей как среднелогарифмические значения:

$$\overline{U_v/V} = 0,700_{-0,196}^{+0,271}, \quad \overline{U_{fv}/V} = 0,231_{-0,061}^{+0,082} \text{ (€/м}^3\text{)}; \quad \overline{U_s/S} = 0,657_{-0,196}^{+0,279}, \quad \overline{U_{fs}/S} = 0,117_{-0,037}^{+0,053} \text{ (€/м}^3\text{)}.$$

Соответственно, умножив данные показатели на величину планируемого общего объема грунтов, перемещаемых при дноуглублении, или на общую площадь образуемой новой территории, можно уже на предпроектной стадии получить предварительный, ориентировочный прогноз величины эколого-экономического ущерба, связанного с намечаемым гидростроительством.

Очевидно, что вариабельность реальных относительных показателей изменений окружающей среды вокруг этих средних значений определяется множеством синергично взаимодействующих факторов. Поэтому в каждом конкретном проекте уточненные значения этих показателей, определяемые уже по итогам полного цикла разработки природоохранной проектной документации, могут значительно отличаться от приведенных математических ожиданий. Соответственно, если проектируемое гидростроительство характеризуется благоприятными значениями вышеперечисленных факторов, его «относительная экологическая стоимость» окажется ниже ожидаемой средней величины, и наоборот. Результаты выполненного анализа позволили предложить следующую классификацию ожидаемого воздействия гидростроительства на окружающую среду:

- 1) *Слабое воздействие*:  $U_v/V < 0,1 \text{ €/м}^3$ ;  $U_s/S < 0,1 \text{ €/м}^2$ ;
- 2) *Умеренное воздействие*:  $0,1 \leq U_v/V < 1,0 \text{ €/м}^3$ ;  $0,1 \leq U_s/S < 1,0 \text{ €/м}^2$ ;
- 3) *Существенное воздействие*:  $1 \leq U_v/V < 10 \text{ €/м}^3$ ;  $1 \leq U_s/S < 10 \text{ €/м}^2$ ;
- 4) *Интенсивное воздействие*:  $U_v/V \geq 10 \text{ €/м}^3$ ;  $U_s/S \geq 10 \text{ €/м}^2$ .

Представленные закономерности позволяют ориентировочно прогнозировать математическое ожидание эколого-экономического ущерба от гидростроительства

уже на предпроектной стадии, по самым основным его характеристикам — общему объему грунтов, перемещаемых при дноуглублении, и общей площади образуемой новой территории.

### Заключение

Разработка и апробация системы количественных аналитических методов позволяет решать задачи не только экологической оценки проектируемых гидротехнических сооружений, но и оптимального распределения различных видов морепользования в пространстве и времени. Приведенные примеры демонстрируют некоторые возможности достаточно естественной квантификации, классификации и количественной сравнительной оценки намечаемых воздействий на морскую среду.

Рассмотренные методы, разработанные или адаптированные для решения проектных задач, могут с минимальными преобразованиями вполне эффективно использоваться и для решения аналогичных задач морского пространственного планирования [5], войдя в его количественный инструментарий.

Тематические публикации находятся на сайте компании «Эко-Экспресс-Сервис»: <http://ecoexp.ru/page/34>.

### Литература

1. *Жигульский В.А., Коноплев В.Н.* Интегрированная технология для модельных исследований на морских акваториях // Мат. межд. конф. «Нефть и газ Арктического шельфа», Мурманск, 12–14 ноября 2008 г. — Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. — С. 141–158.
2. *Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Соловей Н.А.* Прогнозная экспресс-оценка экологической опасности гидростроительных работ // Гидротехника. 2012. № 1(26). — С. 68–71.
3. *Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Царькова Н.С., Соловей Н.А., Максимова Е.Ю.* Реакция макрозообентоса водотоков бассейна восточной части Финского залива на многофакторные антропогенные воздействия // Учен. зап. РГГМУ. 2014. № 35. — С. 178–185.
4. *Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Щацаев Ю.А., Былина Т.С.* «ООО “Эко-Экспресс-Сервис”»: опыт оценки и прогнозирования воздействий на водные экосистемы при гидростроительстве // Рыбоохрана России. 2011. № 2(6). — С. 42–47.
5. *Кононенко М.Р., Марковец И.М., Подгайский Э.В.* Подходы к морскому пространственному планированию в акватории Финского залива // Учен. зап. РГГМУ. 2014. № 35. — С. 151–155.
6. *Разработка Программы развития аванпортов Большого порта Санкт-Петербург. Предварительная оценка воздействия на окружающую среду с учетом существующих и проектируемых особо охраняемых природных территорий. Т. 4. — ООО «Эко-Экспресс-Сервис». 1998.*
7. *Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности»* (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2013 г. № 646).
8. *Руководство по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах морского нефтегазового комплекса»* (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 сентября 2015 г. № 364).