

Russian Academy of Sciences
Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS
Saint-Petersburg Institute of Informatics and Automation of RAS
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

International Scientific School

**Modeling and
Analysis of Safety
and Risk in
Complex Systems**



**November 17 – 19, 2015
Saint-Petersburg
Russia**

Russian Academy of Sciences
Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS
Saint-Petersburg Institute of Informatics and Automation of RAS
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

International Scientific School

**"MODELING and ANALYSIS of SAFETY
and RISK in COMPLEX SYSTEMS"**

PROCEEDINGS

2015
Saint Petersburg
RUSSIA

ISBN 978-5-8088-1029-7

УДК

004.942 330.4 336.71

510.65 519.2 574

629.039.58 629.78

Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах:
Труды Международной Научной Школы МА БР - 2015 (Санкт-Петербург, 17 – 19
ноября, 2015 г.) / ГОУ ВПО «СПбГУАП». СПб., 2015, 304 с.

Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems / Proceedings of the
Thirteenth International Scientific School MA SR - 2015 (Saint-Petersburg, Russia, June,
November 17 – 19, 2015) / SUAI, SPb., 2015, 304 pages .

Под редакцией И.А. Рябикина, Е.Д. Соложенцева, В.В. Карасева.

Published by Institute of Problems of Mechanical Engineering
of Russian Academy of Sciences (IPME RAS)

61, Bolshoy avenue, V.O.
IPME RAS, Saint-Petersburg, 199178, Russia

Россия, 199178, Санкт-Петербург
Большой пр., В.О., д. 61
Институт Проблем Машиноведения РАН
тел. (812)321-47-66, факс. (812) 321-47-71

The Scientific School MA SR – 2015 was financially supported by
Russian Foundation for Fundamental Research, grant № 15-01-20894 г

Научная Школа МА БР - 2015 проведена при финансовой поддержке
Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант № 15-01-20894 г

Copyright © IPME 2015

**Thirteenth International Scientific School "Modeling and
Analysis of Safety and Risk in Complex Systems"
(MA SR - 2015)**

Saint-Petersburg, Russia, November 17 – 19, 2015

Organizers

Institute of Problems of Mechanical Engineering of Russian Academy of Sciences
Saint-Petersburg Institute of Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

International Program Committee

PRESIDIUM

N. Machutov, Corresponding Member of RAS (Russia, IME RAS) - chairman

A.G. Aganbegyan, Academician (Russia, RAS);
A. Agarwal, Professor (India, IIF Business School, GGS Indraprastha University);
Yu.A. Antokhina, Rector SUAI (Russia, Saint-Petersburg);
A.A. Bykov, Professor (Russia, Editor-in-Chief, «Risk Analysis Problems» journal);
K. Giannopoulos, Professor (UAE, British University in Dubai);
Mondello G., Professor (France, University of Nice Sophia Antipolis);
I.A. Ryabinin, Professor (Russia, Naval Academy);
E.D. Solozhentsev, Professor (Russia, IPME RAS);
R.M. Yusupov, Corresponding Member of RAS (Russia, SPII RAS).

Session «Technologies And Risk Models In Technical Systems»

I.A. Ryabinin, Professor (Russia, Naval Academy) – chairman

Bochkov A.V., professor (Russia)
Finkelstein M., professor (South Africa)
Indeitsev D., corr. member of RAS (Russia)
Kumamoto H., professor (Japan)
Morozov N.F., academician (Russia)
Mozhaev A.S., professor (Russia)
Polenin V.I., professor (Russia)

Popentiu F., professor (Romania)
Prourzin V.A., cand. of science (Russia)
Rahim Y., Ph.D. (Norway)
Rotshtein A., professor (Israel)
Simakov I.P., cand. of science (Russia)
Tsiramua S., professor (Georgia)
Uzhga-Rebrovs O., doct. of science (Latvia)

Session « Technologies And Risk Models In Economics»

N.V. Hovanov, Professor (Russia, SPbSU) – chairman

Barone-Adesi G., professor (Switzerland)

Gallais-Hamonno G., professor (France)

Gallo G., professor (Italy)

Golembiovsky D., professor (Russia)

Kibzun A., professor (Russia)

Kuznetsov S.V., professor (Russia)

Lenz H.-J., professor (Germany)

Lesnykh V., professor (Russia)

Mishra, Sarbesh (NICMAR, India)

Mityagin S.A., cand. of science (Russia)

Nikulin M., professor (France)

Novoselov A., professor (Russia)

Odinets V.P., professor (Russia)

Rogov M., cand. of science (Russia)

Rutkauskas A.V., professor (Lithuania)

Skiadopoulos G., professor (Greece)

Stepanov A.G., professor (Russia)

Vitlinsky V., professor (Ukraine)

National Organizing Committee

E.D. Solozhentsev, professor (Russia, IPME RAS) – chairman,

V.V. Karasev (Russia, IPME RAS),

E.I. Karaseva (Russia, SUAI) – secretary,

V.I. Polenin (Russia, Naval Academy),

B.V. Sokolov (Russia, SPII RAS).

ЭКСПРЕСС-ПРОГНОЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДНОУГЛУБЛЕНИЮ И ОБРАЗОВАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

EXPRESS-FORECAST OF ENVIRONMENTAL COSTS OF DREDGING AND ARTIFICIAL LAND FORMATION

В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Е.Ю. Максимова, Н.А. Соловей

ООО "Эко-Экспресс-Сервис"; 195112 Санкт-Петербург, проспект Заневский, 32 корп. 3;
shuisky.v@mail.ru

Аннотация. Предложен и апробирован простой метод приблизительной прогнозной оценки экологических издержек, ожидаемых от работ по дноуглублению и образованию искусственных территорий в Финском заливе Балтийского моря. Метод основан на результатах анализа экологических издержек морских гидротехнических работ для более чем 500 объектов, проектирование и экологическое сопровождение которых осуществляла Санкт-Петербургская проектная компания "Эко-Экспресс-Сервис".

Ключевые слова: Экологические издержки, гидротехнические работы, дноуглубление, искусственные земельные участки, антропогенное воздействие на морскую среду

Анализ многочисленных проектных и мониторинговых работ компании "Эко-Экспресс-Сервис" (г. Санкт-Петербург), связанных с сооружением морских гидротехнических сооружений (ГТС) в Финском заливе Балтийского моря, позволил её сотрудникам разработать и предложить весьма простой метод ориентировочной прогнозной оценки экологической опасности намечаемого гидростроительства ещё на предпроектной стадии [1,2].

Метод базируется на выявленных количественных закономерностях соотношения следующих показателей:

1. Показатели уровня воздействия:

V (млн.м³) – объём грунта, перемещённого при дноуглублении.

S (км²) – площадь образованной территории.

2. Показатели итоговых изменений окружающей среды:

Суммарная величина платы за воздействие на все компоненты окружающей среды (согласно действующему законодательству) при дноуглублении (далее – *"экологическая стоимость" дноуглубления*).

Суммарная величина платы за воздействие на все компоненты окружающей среды (согласно действующему законодательству) при образовании территорий (намыве) (далее – *"экологическая стоимость" образования территории*).

3. Зависимости значений абсолютных показателей изменения окружающей среды от показателей уровня воздействия

3.1 Альтернативные подходы к решению

Для изученного массива данных (более 500 объектов, связанных с морскими гидротехническими работами, преимущественно на Финском заливе Балтийского моря, в рамках 145 проектов) изучалась и аппроксимировалась зависимость абсолютных показателей изменения окружающей среды в стоимостном выражении от объёма перемещаемого грунта (V) и общей площади образуемой территории искусственных земельных участков (ИЗУ) (S).

Эта задача решалась двумя альтернативными путями:

1) **Анализ материалов проектов, предусматривающих только дноуглубительные работы** (без образования ИЗУ) **или только работы по образованию ИЗУ** (без дноуглубительных работ).

Преимуществом использования таких данных для поиска и описания зависимости "экологической стоимости" дноуглубления или образования территории от объёма перемещаемого грунта или площади ИЗУ соответственно является большая корректность, строгость решения. При экологической оценке процессов образования ИЗУ таким образом исключается влияние дноуглубительных работ, и наоборот – на оценку процессов дноуглубления не сказывается нежелательное влияние работ по образованию территории.

Однако данный подход имеет и существенное ограничение. Такие проекты нетипичны. Работы по образованию ИЗУ обычно сопровождаются дноуглубительными, и наоборот. Доля проектов, в которых предусматривается только один из этих двух процессов, невелика. Как следствие, сравнительно малы и объёмы обеих выборок, что несколько ограничивает точность аппроксимации при их использовании.

Ситуации дноуглубления без образования ИЗУ удаётся проанализировать лишь для 102 объектов, ситуации образования ИЗУ без дноуглубления – для 20.

Для величин "экологической стоимости", определённых в рамках *первого* подхода, приняты следующие обозначения:

U_V (тыс. руб.) – "экологическая стоимость" дноуглубления для проектов, включающих исключительно дноуглубительные работы без образования ИЗУ

U_S (тыс. руб.) – "экологическая стоимость" образования территории для проектов, включающих исключительно образование ИЗУ без дноуглубления.

2) **Анализ материалов проектов, предусматривающих сочетание дноуглубительных работ и образования ИЗУ.**

Если проект предусматривает и дноуглубление, и образование искусственных территорий, зоны воздействия этих процессов на экосистему часто в той или иной степени пересекаются. Соответственно, раздельная оценка их "экологической стоимости" оказывается или невозможной, или более или менее приближительной. Тем не менее, для некоторых проектов, предполагающих работы и по дноуглублению, и по образованию территорий ИЗУ, всё же можно с большей или меньшей точностью выделить и раздельно оценить вклады обоих процессов в формирование совокупных экологических издержек.

Очевидно, что, по сравнению с первым подходом, при этом происходит некоторая потеря точности оценок. Однако притом количество используемых проектов существенно возрастает, что, наоборот, обуславливает большую точность и разрешающую способность сравнения. Так, "экологическую стоимость" дноуглубления удаётся оценить отдельно от сопутствующего ему образования ИЗУ для 153 объектов, а "экологическую стоимость" образования ИЗУ отдельно от сопутствующего ему дноуглубления – для 61. Таким образом, уменьшение строгости критерия отбора репрезентативного материала компенсируется значительным ростом объёмов выборок.

Соответственно, при таких обстоятельствах целесообразно использование обоих альтернативных подходов с дальнейшей сравнительной оценкой получаемых по ним результатов.

Для величин "экологической стоимости" дноуглубления и образования территории, определённых в рамках *второго* подхода, приняты следующие обозначения:

U_{VS} (тыс. руб.) – "экологическая стоимость" дноуглубления для проектов, предусматривающих дноуглубление в сочетании с образованием ИЗУ.

U_{SV} (тыс. руб.) – "экологическая стоимость" образования территории для проектов, предусматривающих образование ИЗУ в сочетании с дноуглублением.

3.2. Прогнозирование ориентировочной "экологической стоимости" дноуглубления

Согласно результатам выполненного анализа, соотношение перечисленных показателей описывается следующими уравнениями (все показатели "экологической стоимости" – в тысячах рублей в ценах 2014 г., V – млн.м³, S – км²).

Для "экологической стоимости" дноуглубления, оцениваемой двумя вышеописанными способами (рис. 1):

$$\lg U_{Vs} = (4,5863 \pm 0,0548) + (0,6926 \pm 0,0433) \times \lg V; r=0,793; n=153 \quad (1)$$

$$\lg U_V = (4,5010 \pm 0,0697) + (0,7387 \pm 0,0561) \times \lg V; r=0,797; n=102 \quad (2)$$

Значения показателей U_{Vs} и U_V отражают математическое ожидание "экологической стоимости" дноуглубления, определённое двумя альтернативными подходами. Однако для практического применения важно прогнозировать не только математическое ожидание (наиболее вероятное значение) "экологической стоимости", но и диапазон её возможных изменений. Поэтому аппроксимированы также зависимости наибольших и наименьших значений "экологической стоимости" дноуглубления, реализуемых при разных объёмах перемещаемых грунтов (рис. 2).

При использовании первого подхода результаты анализа зависимости наибольших и наименьших значений U_V , реализуемых при различных значениях V ($U_{V \max}$ и $U_{V \min}$ соответственно), аппроксимированы уравнениями:

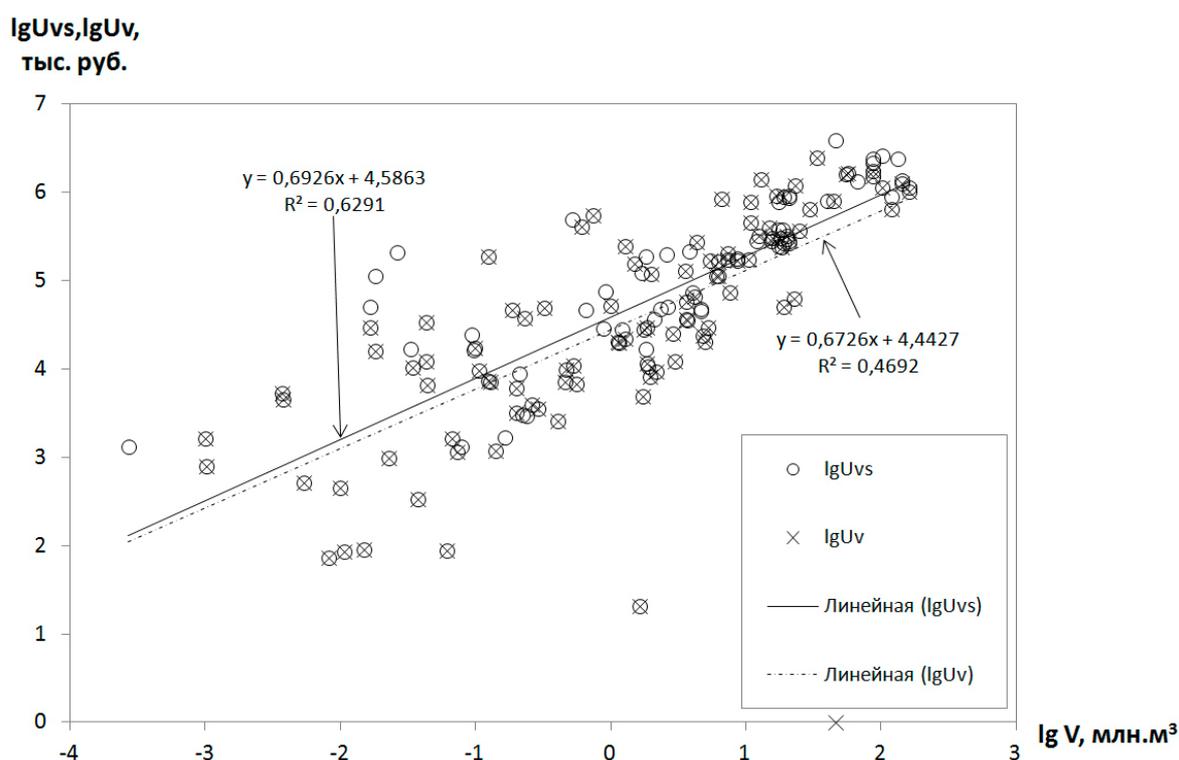


Рис.1. Зависимость математического ожидания "экологической стоимости" дноуглубления от объёма перемещаемых грунтов

$$\lg U_{V \max} = (5,6938 \pm 0,0371) + (0,4210 \pm 0,0402) \times \lg V; r=0,982; n=6 \quad (3)$$

$$\lg U_{V \min} = (3,7059 \pm 0,0557) + (0,9712 \pm 0,0390) \times \lg V; r=0,988; n=17 \quad (4)$$

При использовании второго подхода результаты анализа зависимости наибольших и наименьших значений U_{vs} , реализуемых при различных значениях V ($U_{vs \max}$ и $U_{vs \min}$ соответственно), аппроксимированы уравнениями:

$$\lg U_{vs \max} = (5,7676 \pm 0,043617) + (0,390762497 \pm 0,040475) \times \lg V; r=0,964; n=9 \quad (5)$$

$$\lg U_{vs \min} = (3,7514 \pm 0,0499) + (1,0029 \pm 0,0327) \times \lg V; r=0,989; n=23 \quad (6)$$

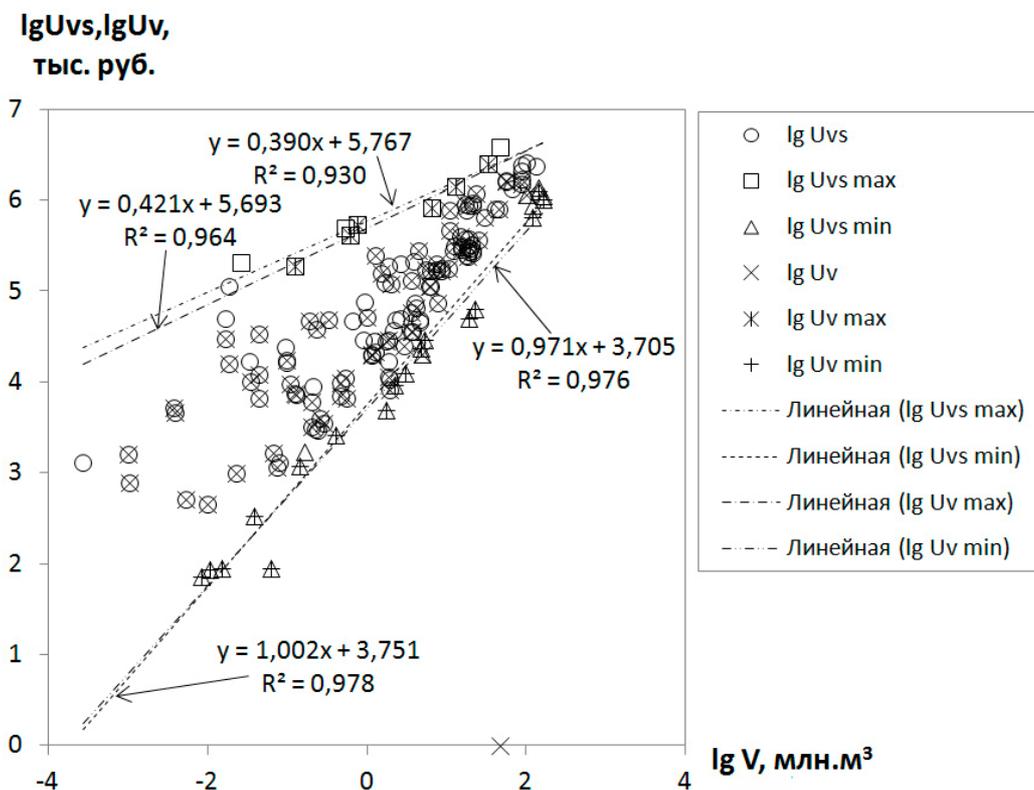


Рис.2. Диапазоны значений "экологической стоимости" дноуглубления от объёма перемещаемых грунтов

Очевидно, что результаты, полученные при альтернативных подходах, вполне сопоставимы. Наибольшую возможную величину "экологической стоимости" дноуглубления следует принимать равной большому из значений $\lg U_{v \max}$ и $\lg U_{vs \max}$, соответствующих данному объёму перемещаемого грунта V . Наименьшую возможную величину "экологической стоимости" дноуглубления следует принимать равной меньшему из значений $\lg U_{v \min}$ и $\lg U_{vs \min}$, соответствующих данному объёму перемещаемого грунта V .

3.3. Прогнозирование ориентировочной "экологической стоимости" образования территорий

Для "экологической стоимости" образования территорий, оценённой двумя вышеописанными способами, её зависимость от площади ИЗУ отражена на рисунке 3:

$$\lg U_{sv} = (5,1341 \pm 0,099790) + (0,839363478 \pm 0,092930) \times \lg S; r=0,762; n=61 \quad (7)$$

$$\lg U_s = (4,5351 \pm 0,1275) + (0,9800 \pm 0,1067) \times \lg S; r=0,907; n=20 \quad (8)$$

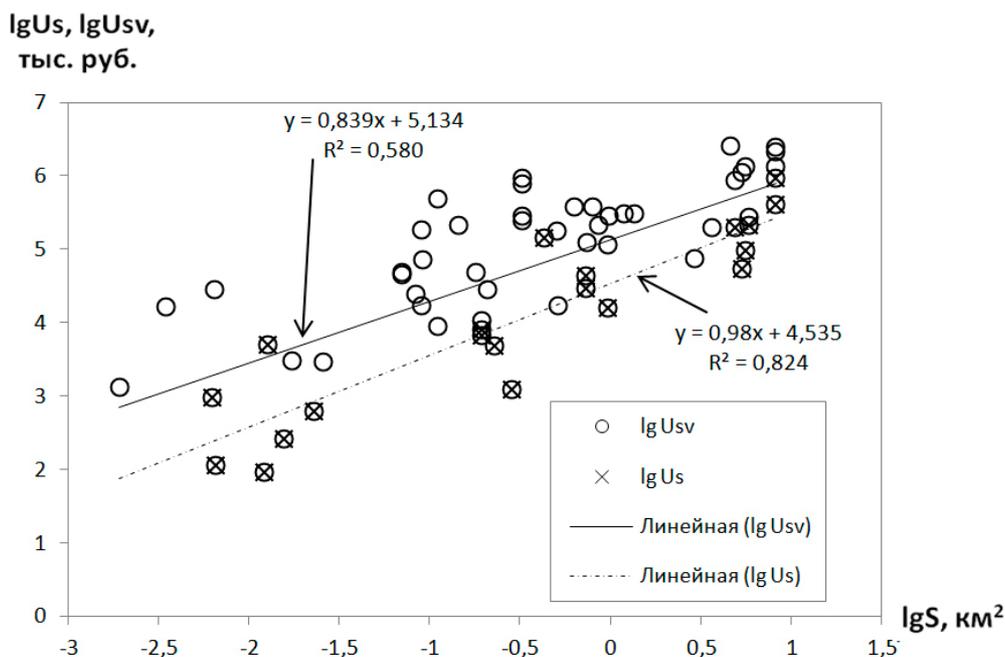


Рис.3. Зависимость математического ожидания "экологической стоимости" образования территорий от площади ИЗУ.

Значения показателей U_{sv} и U_s отражают математическое ожидание "экологической стоимости" образования ИЗУ, определённое двумя альтернативными подходами. Но для практического применения важно прогнозировать не только математическое ожидание (наиболее вероятное значение) "экологической стоимости", но и диапазон её возможных изменений. Поэтому аппроксимированы также зависимости наибольших и наименьших значений "экологической стоимости" образования искусственных территорий, реализуемых при разных площадях ИЗУ (рис. 4).

При использовании первого подхода результаты анализа зависимости наибольших и наименьших значений U_s , реализуемых при различных значениях S ($U_{s \max}$ и $U_{s \min}$ соответственно), аппроксимированы уравнениями:

$$\lg U_{s \max} = (5,2654 \pm 0,1756) + (0,9227 \pm 0,1145) \times \lg S; r=0,985; n=4 \quad (9)$$

$$\lg U_{s \min} = (4,0604 \pm 0,1148) + (0,9974 \pm 0,0840) \times \lg S; r=0,983; n=7 \quad (10)$$

При использовании второго подхода результаты анализа зависимости наибольших и наименьших значений U_{sv} , реализуемых при различных значениях S ($U_{sv \max}$ и $U_{sv \min}$ соответственно), аппроксимированы уравнениями:

$$\lg U_{sv \max} = (5,8418 \pm 0,0597) + (0,5804 \pm 0,0567) \times \lg S; r=0,939; n=16 \quad (11)$$

$$\lg U_{sv \min} = (4,0604 \pm 0,1148) + (0,9974 \pm 0,0840) \times \lg S; r=0,982; n=7 \quad (12)$$

Результаты, полученные при альтернативных подходах, сопоставимы. Для прогнозирования диапазонов ожидаемых значений "экологической стоимости" образования территорий могут использоваться оба подхода. Однако, поскольку второй подход даёт несколько более высокую верхнюю границу диапазона ожидаемых значений, для уменьшения риска занижения оценок всё же предпочтительнее использовать второй подход (уравнения (8), (11), (12)).

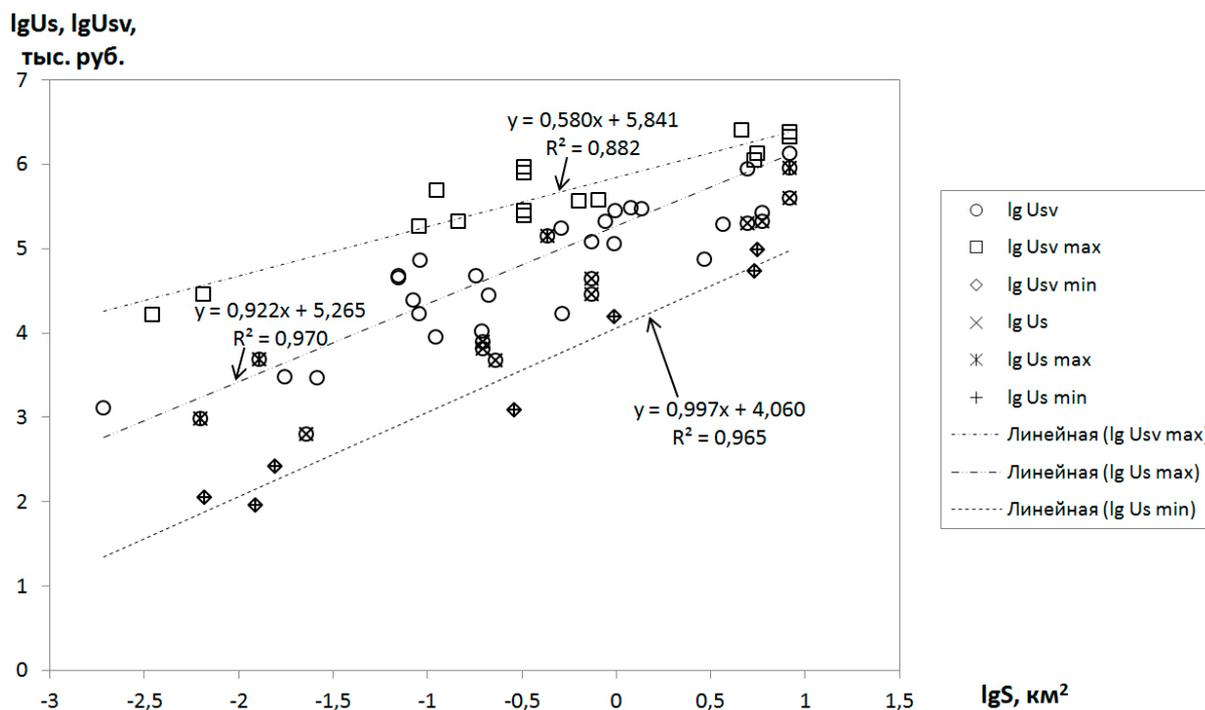


Рис.4. Диапазоны значений "экологической стоимости" образования территорий от площади ИЗУ

Наибольшую возможную величину "экологической стоимости" образования искусственных территорий следует принимать равной большему из значений $\lg U_{s, \max}$ и $\lg U_{sv, \max}$, соответствующих данной площади ИЗУ S . Наименьшую возможную величину "экологической стоимости" образования ИЗУ следует принимать равной меньшему из значений $\lg U_{s, \min}$ и $\lg U_{sv, \min}$, соответствующих данной площади ИЗУ S .

Следует подчеркнуть, что получаемая таким образом оценка ожидаемой "экологической стоимости" работ по дноуглублению и образованию искусственных территорий имеет самый приблизительный характер. Очевидно, что вариабельность реальных показателей изменений окружающей среды определяется множеством синергично взаимодействующих факторов. Поэтому в каждом конкретном проекте уточнённые значения этих показателей, определяемые уже по итогам полного цикла разработки природоохранной проектной документации, могут значительно отличаться от приведённых математических ожиданий. Соответственно, если проектируемое гидростроительство характеризуется благоприятными значениями вышеперечисленных факторов, его "экологическая стоимость" окажется ниже ожидаемой средней величины, и наоборот. В настоящее время разрабатывается метод уточнённого прогнозирования экологических издержек гидротехнических работ с учётом особенностей их технологии и императивных факторов морской среды.

Литература

1. Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Царькова Н.С., Максимова Е.Ю. К количественному инструментарию морского пространственного планирования (экологический аспект) // Экология и развитие общества. – Материалы XV Международной научно-практической конференции. – СПб.: МАНЭБ, 2014. – С. 74-82.
2. Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Максимова Е.Ю. Перспективные количественные методы морского пространственного планирования (экологический аспект) // Гидротехника. – 2014. – №4. – С. 90-97.