

На правах рукописи

Бобылев Николай Геннадьевич

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Специальность 25. 00. 36 – Геоэкология

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2003

Работа выполнена на кафедре экологических основ природопользования Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Научный руководитель:

д.т.н., проф. Федоров Михаил Петрович

Научный консультант:

к.т.н., доц. Зенцов Виталий Николаевич

Официальные оппоненты:

д.т.н., проф. Тарасов Борис Гаврилович

к.т.н., доц. Шашкин Алексей Георгиевич

Ведущая организация:

ГУП «Ленгипроинжпроект»

Защита состоится 17 июня 2003 г. в 16 часов

на заседании диссертационного совета Д 212.229.17 в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, ПГК, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан 15 мая 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Орлов В.Т.

## 1 Общая характеристика работы

Глобальная урбанизация, рост населения городов и формирование мегаполисов с одной стороны, и необходимость повышения качества среды обитания человека с другой, обуславливают перспективность использования подземного пространства на урбанизированных территориях. Мировая практика градостроительства убедительно свидетельствует, что одним из наиболее эффективных путей решения территориальных, транспортных и экологических проблем крупных городов, развивающихся как культурно-исторические и коммерческие центры, является комплексное освоение подземного пространства. Подземные комплексы (ПК) являются объектами, возведение которых наиболее полно соответствует принципам комплексного освоения подземного пространства и устойчивого развития. Исследования в области освоения подземного пространства представлены в работах российских и зарубежных ученых: С.Н. Власова, Д.М. Голицинского, Г.Е. Голубева, В.Г. Лернера, А. Нордмарк, С. Ф. Панкиной, Е.В. Петренко, С. Пелицы, К. Саари, Р. Стерлинга, В.М. Улицкого, А.Г. Шашкина и др.

### Актуальность темы

В последние десятилетия во всем мире активно идет процесс освоения подземного пространства крупных городов. Актуальность освоения подземного пространства крупного города и возведения ПК обусловлена постоянно возрастающими потребностями в развитии инфраструктуры и стремлением сохранить исторический облик городского центра. В связи с этим необходимо создание методики, позволяющей описать и оценить взаимодействие подземных комплексов (ПК) и окружающей среды (ОС).

Очевидно, что при создании крупных подземных объектов – ПК – не только решаются, но и возникают новые транспортные, социальные и экологические проблемы. Таким образом, возникает необходимость исследования, в частности, экологических и геоэкологических аспектов взаимодействия ПК и ОС. Недостаточная изученность этой проблемы определяется сравнительно небольшим опытом строительства ПК, особенно в России. Строительные технологии, позволяющие широко осваивать подземное пространство, даже в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, появились в последние годы и продолжают быстро развиваться.

Исследования в области экологических аспектов освоения подземного пространства представлены в работах Н.П. Ваучского, Р.Э. Дашко, В.Н. Зенцова, В.А. Ильичева, Б.А. Картозия, П.А. Коновалова, Н.С. Никифоровой, В.И. Осипова, Й. Питча, Е.И. Шемякина.

### Цель и задачи работы

Целью работы является обоснование и разработка методики, позволяющей выявить и оценить количественно экологические аспекты взаимодействия ПК и ОС. Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Анализ, систематизация и обобщение материалов по освоению подземного пространства крупнейших городов мира.
2. Выявление современных тенденций в строительстве ПК и наиболее значимых с экологической точки зрения взаимодействий ПК и ОС.
3. Рассмотрение практического опыта возведения ПК и анализ современных методических подходов к оценке воздействия таких сооружений на ОС.
4. Разработка структуры характеристик ОС, изменяющихся под воздействием ПК.
5. Выбор математического аппарата для численной реализации методики.
6. Численное решение задачи итоговой оценки воздействия ПК на ОС.

### Объект исследования

Объектом исследования являются подземные комплексы (ПК). Под ПК понимаются крупные интегрированные в исторически сформированную городскую среду подземные сооружения, выполняющие несколько функций.

### Предмет исследования

Предметом исследования являются взаимосвязи в природно-технической системе (ПТС) ПК – ОС. Под окружающей средой понимается участок биосферы, любые характеристики которого изменяются под воздействием ПК. Исследованы виды, причины и результаты взаимодействия ПК и ОС.

### Научная новизна работы

Разработана методика, позволяющая количественно оценить взаимодействие ПК и ОС на каждом этапе строительства и эксплуатации ПК. Работа основана на совместном анализе концепций устойчивого развития, комплексного освоения подземного пространства и ПТС. Сформулированы экологические принципы освоения подземного пространства на урбанизированных территориях.

### Практическая значимость работы

Методика, представленная в данной работе может быть использована на различных стадиях разработки проектов ПК, а также при экологической оценке уже существующих ПК.

Некоторые результаты исследования могут быть применены для оценки взаимодействия и других видов подземных сооружений с окружающей средой. Работа окажется полезной при принятии решений о реконструкции и создании новой подземной инфраструктуры крупных городов.

### Реализация научных результатов работы

По методике были проведены расчеты для четырех ПК в Санкт-Петербурге. Результаты работы использованы при разработке инженерного проекта южного участка Западного скоростного диаметра в Санкт-Петербурге.

### Публикации и апробация работы

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Основные положения, изложенные в диссертации, представлены и обсуждены на российских и зарубежных научных конференциях, семинарах в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете, региональном совещании Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (Санкт-Петербург, 2001).

### Основные положения, выносимые на защиту

1. Обоснование и содержание методики, включающей в себя:
  - а) Классификацию видов взаимодействия ПК и ОС.
  - б) Иерархическую структуру характеристик ОС.
  - в) Расчетную зависимость итоговой оценки взаимодействия ПК и ОС от многокритериальных оценок в различные периоды существования объекта.
2. Принципы освоения подземного пространства на урбанизированных территориях.

### Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованной литературы, содержащего 162 наименования, приложений. Работа содержит 199 страниц, включая 16 рисунков, 17 схем, 20 таблиц, 8 диаграмм, 8 графиков.

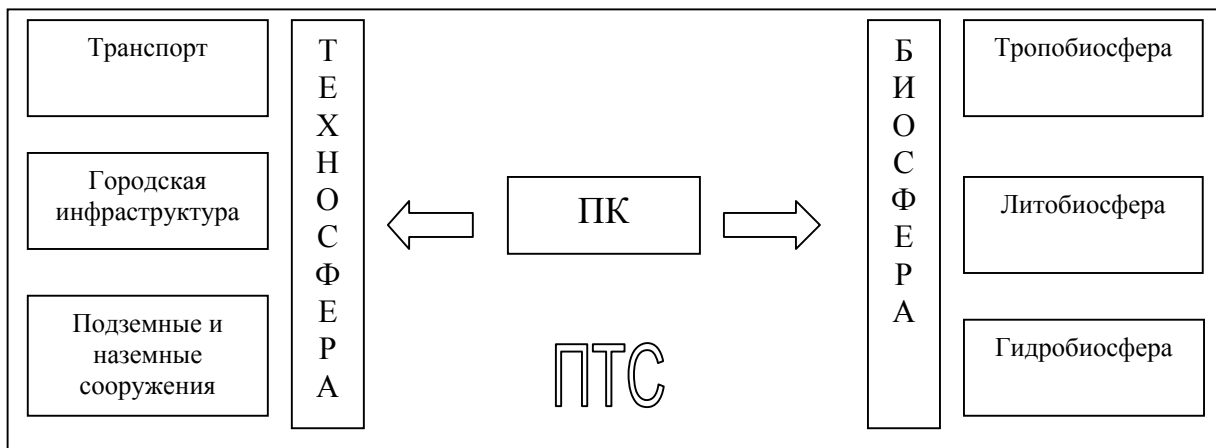
## 2 Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, определены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая значимость.

Отмечено, что проблемы экологической оценки природно-технических систем отражены в работах отечественных и зарубежных специалистов: Н.В. Арефьева, Д.Л. Арманда, Г.К. Бондарика, М.А. Глазовской, М.Д. Гродзинского, Й. Питча, Ю.Г. Пузаченко, Б.Г. Тарасова, М.П. Федорова.

Первая глава «Анализ современных направлений освоения подземного пространства на урбанизированной территории» посвящена описанию и анализу современного состояния вопроса об использовании подземного пространства крупнейших городов мира и экологической оценке подземных сооружений. Рассмотрены актуальные проблемы урбанизированных территорий и возможность их решения посредством освоения подземного пространства. Современной тенденцией использования подземного пространства городов является его комплексное освоение. Впервые термин «комплексное использование (освоение) подземного пространства» упоминается в отечественной литературе в 1978 г.

Схема 1.



В результате анализа и обобщения 72-х литературных источников выявлены основные прямые преимущества использования подземного пространства для решения следующих проблем урбанизированных территорий: дефицита территории, повышения качества ландшафта территории, интеграции объектов городской среды, увеличения транспортной доступности, повышения безопасности движения автотранспорта, создания новой инфраструктуры, повышения надежности (устойчивости) территории и создания дублирующих связей в городских системах. Здесь нужно отметить, что проблема недостатка городской территории, как и транспортная тесно связаны с качеством окружающей среды.

Основными минусами использования подземного пространства являются негативное влияние строящегося объекта на ОС на значительной территории и высокая стоимость строительства.

Вклад в разработку научно-методической базы по освоению подземного пространства на урбанизированной территории был внесен отечественными (С.Н. Власов, Н.П. Ваучский, Г.Е. Голубев, В.А. Ильичев, В.Г. Лернер, Е.В. Петренко,) и зарубежными (С. Пелицца, Р. Стерлинг) авторами. В результате анализа современных концепций освоения городского подземного пространства сделан вывод о приоритетности рассмотрения взаимодействия ПК

– ОС как устойчиво функционирующей природно-технической системы (ПТС). На схеме 1 показаны наиболее значимые воздействия ПК на ОС. Вклад в разработку концепции ПТС был сделан российскими авторами (М.П. Федоров, Д.Л. Арманд).

Рассмотренные классификации подземных сооружений позволили предложить классификацию ПК по функциональному назначению основного объема комплекса, наиболее адекватную для целей оценки взаимодействия с ОС. Анализ мирового опыта строительства ПК позволил выделить передовые технологии и технические решения создания подземного объема комплекса: полуоткрытый способ строительства, микротоннелирование, применение буро-завинчивающихся свай и погружения свай статической нагрузкой, стена в грунте.

При анализе нормативной базы по экологической оценке и рассмотрении опыта экологической оценки объектов подземного строительства, ПК в частности, сделан вывод о необходимости упорядочения и детализации параметров взаимодействия ПК и ОС. Методические трудности экологической оценки связаны с определением видов взаимодействия ПК – ОС, их значимости и приоритетности. В практике проектирования для оценки воздействия намечаемой деятельности на ОС используются различные методы, однако, существует четыре общих подхода для оценки:

- контрольные списки;
- матрицы (Матрица Леопольда, упрощенная пошаговая матрица или матрица второго порядка);
- диаграммы потоков (выявление воздействий при помощи сети);
- совмещенный анализ карт.

К недостаткам большинства методов можно отнести вербальную формулировку конечного результата и как следствие сложность сопоставления оценок для различных вариантов проекта. Одним из наиболее обоснованных методов количественной оценки факторов воздействий на окружающую среду является метод критериального анализа.

При рассмотрении практики оценки проектов подземных сооружений (разделы ОВОС, ООС) можно встретить скорее формальный подход к проблеме комплексной оценки. Основная нерешенная проблема заключается в сравнении результатов воздействия на различные компоненты ОС и заключении об общем, интегральном воздействии.

Во второй главе «Обоснование методики оценки взаимодействия ПК и ОС» поэтапно рассмотрена предлагаемая методика. Многоплановое взаимодействие ПК с ОС обуславливает проблему измерения большого количества свойств и проведения на этой основе экологической оценки. Рассматриваемым объектом в настоящей методике является ПТС ПК – ОС. В основу методики положен принцип относительного измерения всех критериальных свойств объекта с их последующей систематизацией в виде развитой иерархической структуры, изложенный М.П. Федоровым в работах по многокритериальному анализу эффективности гидроэнергетических объектов. Предлагаемая методика оценки взаимодействия ПК и ОС состоит из пяти этапов (схема 2).

**Этап 1.** Исходными данными являются характеристики ПК – функциональные, архитектурно-планировочные и конструктивно-технологические проектные решения. Определение характеристик участка биосферы, взаимодействующего с ПК, является более сложной задачей. Необходимо выявить максимальное число факторов, оказывающих влияние на взаимодействие ПК и ОС. Характеристиками ОС являются инженерно-геологические условия, данные по циклической активизации гидрогеомеханических процессов в геологической среде под действием энергообмена Земли, социальные и градостроительные условия, транспортные потоки, и т.д.

Схема 2.

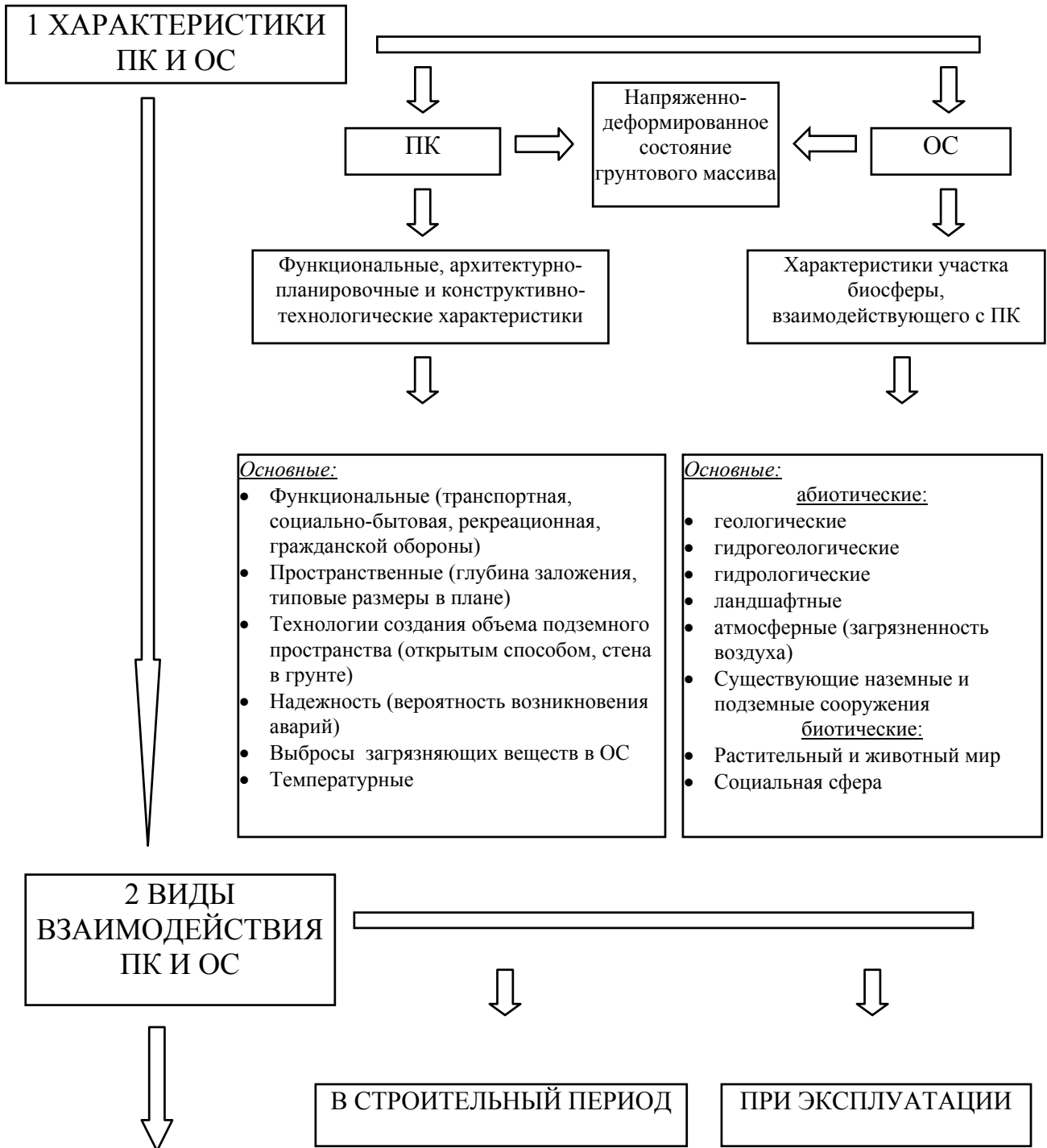
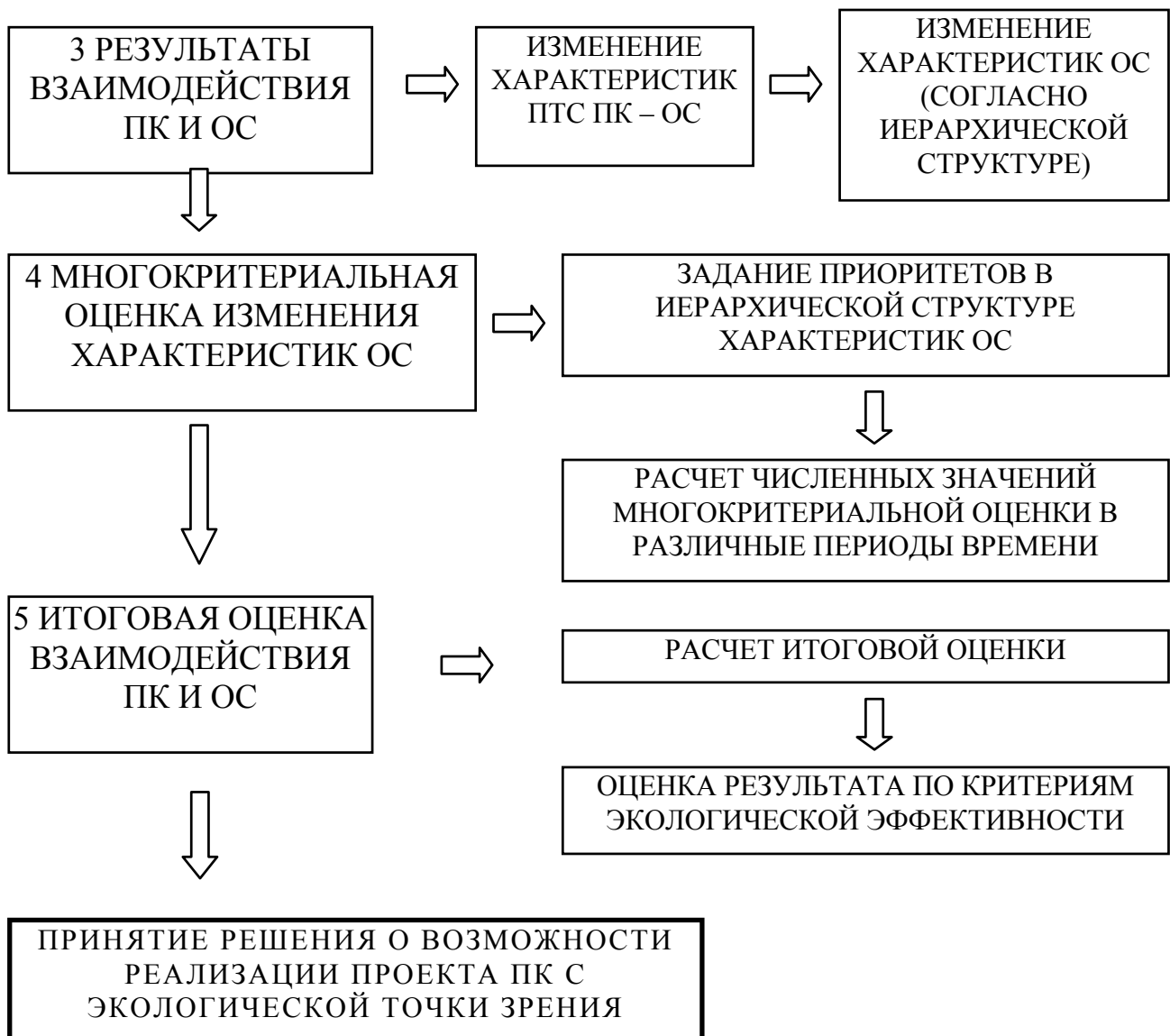


Схема 2 (продолжение).



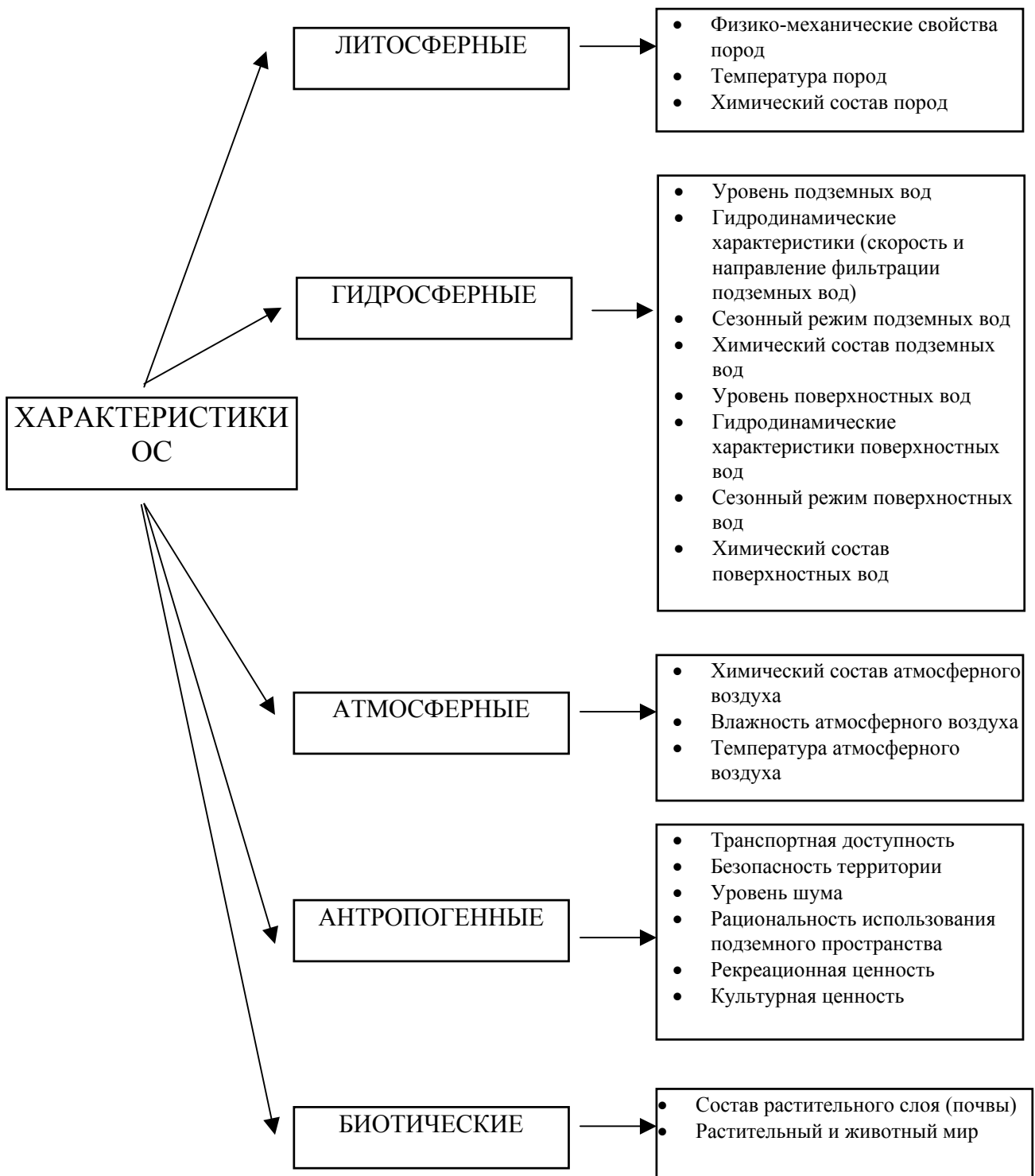
**Этап 2.** Можно привести бесконечное множество видов взаимодействия ПК и ОС, и, соответственно, можно классифицировать эти виды взаимодействия по многим критериям. Для данной методики представляется целесообразным принять за основную классификацию по времени возникновения и разделить виды взаимодействия ПК и ОС на две основные группы: в строительный период и при эксплуатации. Под строительным периодом также понимается реконструкция и ликвидация ПК. Анализ видов взаимодействия является основой выявления изменений в характеристиках ОС.

Исходя из взаимодействий ПК и ОС, характерных для уникального объекта, строится шкала времени, на основе которой определяются периоды времени, подлежащие оценке.

**Этап 3.** Результатом взаимодействия ПК и ОС является изменение характеристик ПТС. Для решения задачи многокритериального анализа ПТС, характеристики ОС (критериальные свойства) целесообразно систематизировать в виде развитой иерархической структуры, образующей дерево, на котором характеристики нижележащего уровня раскрывают содержание обобщенных характеристик верхнего уровня (схема 3).



Схема 3.



Оценка изменения каждой характеристики является самостоятельным исследованием, глубина, методы и объемы которого зависят от исходных характеристик ПК и ОС. Рассмотрим подробно наиболее интересные и значимые для большинства ПК характеристики.

Литосферные характеристики. Возможными последствиями изменения напряженно деформируемого состояния грунтового массива являются уменьшение мощности пород, защищающих водоносный горизонт, нарушение сплошности водоупора между водоносными горизонтами, активизация карстово-суффозионных процессов, подвижности плывунов и склоновых процессов, пучение и просадка грунтов. Тепловое воздействие при функционировании ПК может повлечь уменьшение глубины сезонного промерзания грунта, а также влиять на почвы и растительность.

Гидросферные характеристики. Уровень подземных вод (УПВ) является одной из основных характеристик стабильности ОС. Изменение УПВ влияет в свою очередь на широкий диапазон характеристик ОС и совместных характеристик ПК и ОС. Оценку изменения УПВ необходимо проводить при совместном рассмотрении лито- и гидрокомпонент биосферы. Повышение УПВ связано с барражным эффектом, увеличением приходящих составляющих в общем балансе грунтовых вод за счет дополнительного питания, возникающего в результате техногенных процессов и явлений (пример: утечки из водонесущих коммуникаций). Воздействие ПК на УПВ, ведущее к его понижению, может быть связано с изменением геологической ситуации, водопонижением, дренажом. По возможным последствиям (нарушение прочностных связей в породах, осадка поверхности, разрушение деревянных оснований фундаментов) понижение УПВ является одним из наиболее опасных воздействий ПК на ОС. ПК могут активно влиять на режим подземных вод. Основные причины изменения гидродинамического, гидрохимического, гидротермического и гидробиологического режимов подземных вод: водоотбор для технического водоснабжения, водоотлив в подземное сооружение и дренаж, зарегулирование ливневого стока, вывоз снега, изменение условий взаимодействия поверхностных и подземных вод и превращение рек из областей разгрузки в области питания. Химическое загрязнение подземных вод возможно в период строительства ПК в результате сброса жидких отходов производства строительных работ, применения искусственного замораживания, закрепления грунтов. В эксплуатационный период наиболее опасно загрязнение грунтовых вод органическими веществами в результате утечек из канализационных сетей.

Оценку изменения УПВ целесообразно проводить с использованием трехмерных моделей процессов фильтрации в природных гидросистемах. Рекомендуемое программное обеспечение для реализации таких моделей (напр. Rockflow, Denflow) позволяет с необходимой для оценки изменений в ОС степенью точности определять и прогнозировать УПВ, гидродинамические характеристики, пространственное распространение химического загрязнения.

Атмосферные характеристики. В период эксплуатации большинства ПК наблюдается уменьшение выбросов автотранспорта в атмосферу за счет увеличения скорости движения. На температурный режим локальное воздействие оказывают вентиляционные выпуски крупных ПК.

Антропогенные характеристики. Транспортная доступность является одной из основных характеристик ОС, с целью увеличения которой возводятся ПК. Здесь можно отметить не только прямые эффекты от создания ПК с транспортными функциями (увеличение скорости проезда, снижение аварийности, увеличение доступности), но и косвенные – более эффективное использование вертикальной линии города. Анализ рациональности использования подземного пространства необходим для возможности создания в последующем новых подземных сооружений. При эксплуатации ПК возможно увеличение надежности и обеспечение большей безопасности за счет: улучшения и создания дублирующей инфраструктуры, снижения аварийности на транспорте, создания объектов гражданской обороны. Возведение ПК призвано улучшить ландшафт, рекреационную и градостроительную ценность территории, однако в период строительства изменение ландшафта носит негативный характер.

**Этап 4.** Комплексную оценку результатов взаимодействия ПК и ОС предлагается проводить с помощью элементов исследования операций. Оценка взаимодействия ПК и ОС можно свести к решению задачи многокритериальной оптимизации. Для решения этой задачи могут быть применены широко известные методы: главного критерия, линейной свертки, взвешенной максиминной свертки, Парето.

В основу настоящей методики положен метод анализа иерархий, предложенный Т. Саати. Согласно этому методу на низших уровнях иерархии происходит попарное сравнение элементов в группе относительно их важности, таким образом, определяются приоритеты характеристик ОС относительно значимости при оценке взаимодействия ПК и ОС. Общее правило сравнения элементов в группе можно сформулировать так: сколько можно потерять в значимости одной характеристики, при увеличении значимости другой в такое же число раз. Результат сравнения характеристик одинаковой важности равен единице. Такой же подход распространяется на более высокие уровни иерархии и на оценку воздействия элементов иерархии – характеристик ОС – на состояние ОС в различные периоды времени. Пример формирования матрицы парных сравнений представлен в таблице 1.

Опишем общую идею, лежащую в основе метода анализа иерархий. В первую очередь составляется матрица парных сравнений. Пусть  $C_1, \dots, C_n$  – элементы некоторого уровня иерархии. Задача состоит в назначении значимостей (приоритетов или весов) этим элементам. Обозначим через  $a_{ij}$  число, показывающее во сколько раз значимость (или вес) элемента  $C_i$  больше значимости (веса) элемента  $C_j$ . Матрицу, состоящую из этих чисел, обозначим через  $A$ . Это так называемая матрица парных сравнений. На главной диагонали этой матрицы, как нетрудно понять, расположены единицы. Остальные элементы – некоторые положительные числа, которые могут быть как больше, так и меньше единицы. Причем элементы, расположенные симметрично относительно главной диагонали, являются обратными по отношению друг к другу.

Таблица 1. Пример матрицы парных сравнений: химический состав атмосферного воздуха.

валовой выброс, т/год	$N$ (без объекта)	$S$ (строительство)	$R$ (эксплуатация)
$N=97$	1	$21/97=0,21$	$44/97=0,45$
$S=21$	$1/0,21$	1	$44/21=2,09$
$R=44$	$1/0,45$	$1/2,09$	1

Согласно методу анализа иерархий (методу Саати) сначала находят максимальное собственное значение матрицы  $A$ , т.е. число  $\lambda_{\max}$ . После этого искомым весовой вектор  $w = (w_1, \dots, w_n)^T$  (вектор приоритетов) определяется в результате решения следующей однородной системы линейных уравнений:

$$(A - \lambda_{\max} E)w = \mathbf{0}, \quad (1)$$

где через  $E$  обозначена единичная матрица порядка  $n$ . Число  $w_i$  и есть значимость (величина приоритета или вес) объекта  $C_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

Математическое обоснование метода аналитических иерархий можно найти в соответствующей литературе.

При значении показателя согласованности, определяемого отношением (2), меньшим либо равным 0,1 применение метода аналитических иерархий считается обоснованным.

$$\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \leq 0,1 \quad (2)$$

В противном случае (т.е. тогда, когда значение этого показателя больше 0,1) следует заново сформировать матрицу парных сравнений и повторить процесс вычисления максимального собственного значения и решения соответствующей однородной системы линейных уравнений.

Компьютерной реализацией метода аналитических иерархий является пакет «Expert Choice», который широко используется в практической деятельности многих фирм с мировой известностью.

Алгоритм задания данных для компьютерной обработки, этапы 1-4:

1. Детализация иерархической структуры характеристик ОС.
2. Парное сравнение значимости характеристик на всех уровнях иерархии – задание приоритетов.
3. Детализация периодов оценки. Минимальная детализация: начальный, строительный, эксплуатационный периоды.
4. Парное сравнение значений характеристик низших уровней иерархии в различные периоды существования объекта. Характеристики могут быть заданы численно или экспертно.

В результате компьютерного расчета получены значения многокритериальной оценки ОС  $w_i$  в различные периоды существования объекта, такие что:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Наиболее благоприятным условиям ОС соответствует максимальное из полученных значений многокритериальной оценки  $w_i$ .

**Этап 5.** Обозначим значения многокритериальной оценки ОС  $w_i$ :

$N$  – в начальный период (без объекта),

$S_{jt}$  – в одну из стадий строительного периода,

$R_{jt}$  – в одну из стадий эксплуатационного периода.

Тогда расчетная зависимость для итоговой оценки результатов взаимодействия ПК и ОС ( $Q$ )  $j$ -го проектного варианта объекта будет иметь вид:

$$Q_j = \frac{\sum_{t=1}^m k_{jt} R_{jt} + \sum_{t=1}^h \bar{k}_{jt} (S_{jt} - N)}{N} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где:

$k_t, \bar{k}_t$  – коэффициенты времени:

$$k_t = \frac{t}{T}, \quad \bar{k}_t = \frac{t}{T}; \quad (5)$$

где:

$T$  – весь рассматриваемый период оценки,

$t$  – промежуток времени оценки;

$m$  – число многокритериальных оценок в эксплуатационный период,

$h$  – число многокритериальных оценок в строительный период.

Значение расчетной зависимости (4) заключается в анализе отношения многокритериальных оценок ОС во все периоды существования ПК к состоянию ОС в отсутствии ПК. Свойства функции итоговой оценки  $Q_j$  показаны в таблице 2.

Таблица 2.

<i>Математическое описание</i>	<i>Вербальное описание</i>
$Q_j = f(S_{jt}, R_{jt}, k_{jt}, \bar{k}_{jt})$	нелинейная сложная функция, многочлен второй степени
$Q_j > 0$	функция положительна
$\sum_{i=1}^n w_i = 1$	величины $S_{jt}, R_{jt}, N$ взаимозависимы
$\sum_{t=1}^m k_t + \sum_{t=1}^h \bar{k}_t = 1$	период оценки состоит из $m$ эксплуатационных периодов $h$ строительных периодов

Итоговая оценка по формуле (4) позволяет сравнить различные проектные варианты ПК, учитывая обычно негативное воздействие ПК в строительный период и позитивное в эксплуатационный. Для принятия решения о возможности реализации проекта с экологической точки зрения предлагаются критерии экологической эффективности:

Первый критерий:

$$Q_j > d. \quad (6)$$

Второй критерий:

$$\frac{S_{jt}}{N} > g. \quad (7)$$

Пороговые значения  $d$  и  $g$  для критериев (6) и (7) приняты на основе реализации методики. Пороговое значение  $d$  первого критерия экологической эффективности зависит от целей проекта ПК и требований к среде, в которой размещается ПК. Значение  $d$  должно быть не меньше 1, однако для проектов ПК с приоритетной рекреационной функцией значение  $d$  находится в пределах 1,5 – 2.

Смысл второго критерия экологической эффективности заключается в ограничении негативного воздействия на ОС в период строительства. В отличие от первого критерия экологической эффективности пороговое значение критерия  $g$  зависит только от требований к состоянию ОС в строительный период. Пороговое значение  $g = 0,5$  принято на основе анализа результатов расчета по методике и с помощью «обратного моделирования состояния ОС».

В результате реализации методики установлено значение погрешности расчетов  $z=0,01$ . Значение  $z$  применяется для зависимости (4) и критериев (6), (7). Точность результатов методики зависит от точности исходной информации и точности экспертного анализа. Погрешность исходной информации уникальна для каждого проекта ПК, и такая погрешность не учитывается при расчете по методике. Погрешность методики представляет собой ошибки при трансформировании исходной информации в оценки и назначении приоритетов в программе «Expert Choice».

Критерии экологической эффективности рекомендуется применять при разработке планов развития городских территорий и градостроительном проектировании, обосновании архитектурно-планировочных и конструктивно-технологических решений ПК.

Порядок применения критериев экологической эффективности:

- в качестве ограничения при рассмотрении проектов ПК;
- в сочетании с другими показателями эффективности ПК (экономическая, социальная) при рассмотрении удельных показателей (напр.: изменения качества ОС на единицу инвестиций);
- в качестве одного из показателей эффективности ПК для многокритериальной оценки и оптимизации более высокого порядка.

Следует особо отметить, что данная методика позволяет оценить изменения в качестве ОС и может быть использована при допустимых отрицательных воздействиях на ОС согласно принятым в современной нормативной базе предельным показателям.

В третьей главе «Рекомендации по улучшению качества окружающей среды урбанизированных территорий посредством освоения подземного пространства (на примере Санкт-Петербурга)» рассмотрены градостроительные и инженерно-геологические условия территории города с точки зрения возведения ПК. На этой основе выбраны объекты для реализации методики, в результате анализа результатов расчетов сформулированы экологические принципы освоения подземного пространства на урбанизированной территории.

Согласно прогнозу на 2020 год количество автомобилей, зарегистрированных в Санкт-Петербурге, возрастет в 2 – 3 раза и составит 450 – 500 единиц на 1000 жителей. Принимая во внимание прочие транспортные, градостроительные, экономические и демографические характеристики города, сделан вывод о приоритетности решения транспортных проблем для устойчивого развития Санкт-Петербурга. Таким образом, основным функциональным назначением новых ПК должно быть транспортное.

По совокупности инженерно-геологических условий территория Санкт-Петербурга, за исключением отдельных участков ограниченной площади, может быть отнесена к неблагоприятной по условиям освоения подземного пространства. В четвертичных отложениях (глубина до 5, реже 10 - 30 м) на большей части территории, особенно имеющей плотную и ценную городскую застройку, развиты песчано-глинистые грунты, отличающиеся малой прочностью и плотностью, полной водонасыщенностью, неустойчивой консистенцией, часто с повышенным содержанием органической составляющей и даже погребенными торфами. На глубине 25 - 35 м на большей части территории располагаются коренные глинистые породы венда, а на юге города и на меньшей глубине - синие кембрийские глины, в наибольшей степени отвечающие требованиям подземного строительства. Гидрогеологические условия территории Санкт-Петербурга определяются наличием до четырех водоносных горизонтов.

Согласно Комплексной схеме освоения подземного пространства и развития полифункциональных комплексов в центральной части Санкт-Петербурга, ПК предлагается размещать вблизи станций метрополитена и железнодорожных вокзалов и на трассах будущих автотранспортных тоннелей. Возможными местами размещения многоэтажных подземных комплексов являются районы: Московского вокзала, Сенной площади, Балтийского вокзала, Варшавского вокзала, Витебского вокзала, Манежной площади, Водопроводного переуллка, Кременчугской улицы, станции метро Горьковская и др. В районах Гостиного двора и Апраксина двора возможно размещение подземно-наземных комплексов с малоэтажной наземной застройкой. В число перспективных объектов, по которым разработаны проектные и инвестиционные предложения входят ПК на Конюшенной и Сенной площадях.

Исходя из перспективности возведения, сложности строительства, объема и многоплановости воздействия на окружающую среду ПК, для реализации методики были выбраны объекты, представленные в таблице 3. Вместе с тем немаловажную роль при выборе объектов для расчета по методике сыграло наличие информации о ПК (проектная документация, включая разделы ОВОС и ООС) и об ОС (данные инженерно-геологических изысканий, транспортных обследований и т.д.). Методика применена для различных тест-объектов, для одного из которых проведен расчет без учета изменений в лито- и гидросферах. Результаты расчета упомянутого тест-объекта (таблица 4) свидетельствуют о

Таблица 3.

№	Объект, ПК	Наиболее интересные особенности
1	Конюшенная пл., (4 яруса, 423 м/м, стена в грунте, наружный к. шпунт)	Высокая историческая ценность территории, застойный режим грунтовых вод, серьезное загрязнение почв и грунтовых вод нефтепродуктами, слабые грунты
2	Конюшенная пл., (3 яруса, 282 м/м, два ряда шпунта)	
3	Пл. Труда	Продолжительный срок строительства ПК
4	Дворцовая набережная	Значительное негативное воздействие на транспортную ситуацию в строительный период
5	Обводный канал	Воздействие на поверхн. воды, слабые полож. эффекты при реализации проекта

значительном вкладе лито- и гидросферных характеристик ОС в уменьшение значения итоговой оценки (4). Это подчеркивает сложность инженерно-геологических условий центральной части Санкт-Петербурга, где находятся оцениваемые ПК. Как видно из результатов расчета по методике (таблица 4 и диаграмма 1), обоим критериям экологической эффективности удовлетворяют ПК на Конюшенной пл. (4-х ярусный вариант) и ПК на Дворцовой набережной. ПК на пл. Труда удовлетворяет критериям экологической эффективности с учетом установленного значения погрешности расчетов  $z$ .

Применение методики целесообразно для экологической оценки ПК (при разработке схем освоения подземного пространства, при общественном обсуждении проектов).

Анализ опыта возведения ПК и применения методики оценки взаимодействия ПК и ОС позволяет выделить следующие принципы освоения подземного пространства на урбанизированной территории:

1) Перспективное планирование. При создании подземного объекта необходима прогнозная оценка развития территории. Необходимо учитывать перспективное развитие территории, возможные новые функциональные требования к объекту, совершенствование технологий строительства и эксплуатации.

2) Приоритет функциональных потребностей. Несмотря на то, что инженерно-геологические условия играют огромную роль при принятии проектных и планировочных решений по объектам подземного строительства, приоритет при принятии таких решений должен отдаваться территориальным, транспортным, социальным, экологическим потребностям города. Оптимальное расположение объекта – такое, где наиболее востребованы выполняемые им функции.

3) Интегрированность. Вновь создаваемый подземный объект должен быть интегрирован в окружающую геологическую, техногенную, архитектурную и т.д. среды.

4) Комплексность и многофункциональность. Целесообразно осваивать подземное пространство в комплексе с рядом инженерно-технических мероприятий по развитию инфраструктуры и улучшению качества окружающей среды в целом. Речь идет о возможной комплексной реконструкции участка территории исторического города с освоением подземного пространства. При создании подземного объекта оптимально присвоить ему ряд функций.

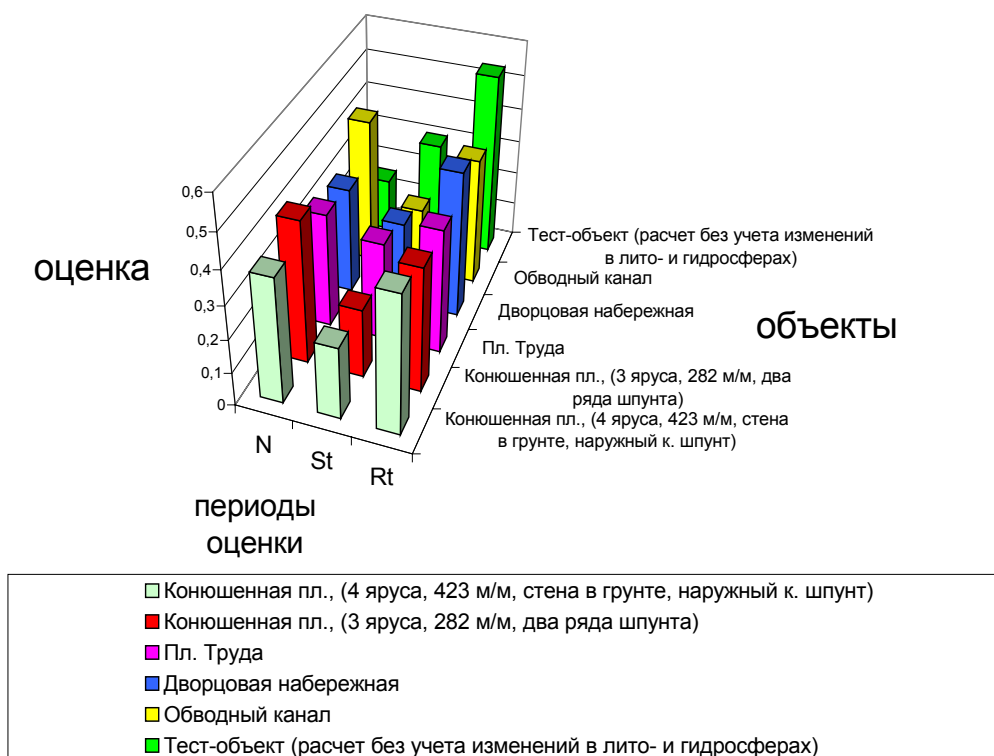
При совместном рассмотрении концепций устойчивого развития и комплексного освоения подземного пространства (возведения ПК в частности), можно сделать вывод о совпадении локальных целей и задач устойчивого развития и комплексного использования подземного пространства. Освоение подземного пространства мегаполиса является неотъемлемым компонентом его устойчивого развития.

Таблица 4.

Результаты расчетов по методике						
№	Объект, ПК	$N$	$S_t$	$R_t$	$Q_i$	$S/N$
1	Конюшенная пл., (4 яруса, 423 м/м, стена в грунте, наружный к. шпунт)	0,373	0,215	0,412	<u>1,052</u>	<u>0,567</u>
2	Конюшенная пл., (3 яруса, 282 м/м, два ряда шпунта)	0,424	0,206	0,370	0,825	0,485
3	Пл. Труда	0,340	0,291	0,369	0,994	<u>0,885</u>
4	Дворцовая набережная	0,317	0,248	0,435	<u>1,341</u>	<u>0,782</u>
5	Обводный канал	0,430	0,192	0,378	0,851	0,446
6	Тест-объект (расчет без учета изменений в лито- и гидросферах)	0,158	0,303	0,539	<u>3,360</u>	<u>1,910</u>



Диаграмма 1.



### 3 Основные результаты работы и выводы

1. На основе анализа опыта и научно-методической базы по комплексному освоению городского подземного пространства и экологической оценке сделан вывод о приоритетности рассмотрения взаимодействия ПК – ОС как устойчиво функционирующей природно-технической системы.
2. Анализ опыта возведения и современных концепций развития ПК показывает, что приоритетным функциональным назначением ПК является создание новой инфраструктуры (транспортной и сферы услуг); изменения в гидрогеомеханическом состоянии геологической среды являются основным негативным видом воздействия ПК на биосферу.
3. Разработана методика оценки взаимодействия ПК и ОС, позволяющая количественно оценивать изменения в ОС, связанные со строительством и эксплуатацией ПК.
4. Методика реализована на ПК в Санкт-Петербурге: Конюшенная пл., пл. Труда, Дворцовая набережная, Обводный канал. На основе реализации выявлены два критерия экологической эффективности ПК: 1) реализация проекта ПК должна способствовать улучшению качества ОС,  $Q_j > d$ ; 2) многокритериальная оценка ОС в любой момент строительства ограничена условием  $S/N > g$ .
5. Сформулированы принципы освоения подземного пространства на урбанизированной территории.

#### 4 Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бобылев Н.Г. Экологические аспекты сооружения противодиффузионных защит при строительстве городских подземных объектов//Гидротехника и гидроэнергетика: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов: Сборник трудов международной научно-технической конференции. 30 мая – 3 июня 2002 г. – Самара: СамГАСА, 2002. с. 49.
2. N. Bobylev & M. Fedorov Environmental impact assessment of underground multi-functional structures//Proceedings of the North American Tunneling Conference 2002, 18 – 22 May 2002, Seattle, Washington, USA. A.A. Balkema Publishers, 2002. p. 133 – 138.
3. Bobylev, Nikolai Significance of the hydrogeological conditions prediction for underground facilities development within a historic city//Soil Structure interaction in Urban Civil Engineering, Zurich 2002, Vol. 2, p. 323-325.
4. Bobylev, Nikolai G. EIA of underground motor-transport structures within historic city: St.Petersburg experience//Proceedings of the Fourth Symposium on Straight Crossings, Krokeborg (ed.), Bergen, Norway, 2 – 5 September, 2001. A.A. Balkema Publishers, 2001. p. 689 – 694.
5. Bobylev, Nikolai G. Development of underground space in the downtown of St.Petersburg//International Symposium on Construction in Russia Today, 15 – 16 March, 2000 Helsinki, Finland. Symposium Report. Association of Finnish Civil Engineers RIL, 2000. p. 221 – 226.
6. Бобылев Н.Г. Прогнозирование уровня грунтовых вод при ведении подземных строительных работ//Региональная экология №4, 1999. СПб.: Изд-во СПбГТУ. с. 41 – 47.
7. Бобылев Н.Г. Экологические аспекты освоения подземного пространства мегаполиса//Четвертая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. Тезисы докладов. Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1999. с. 8.
8. Бобылев Н.Г. Проблема изменения уровня грунтовых вод при строительстве крупных подземных объектов//Безопасность и экология Санкт-Петербурга. Тезисы докладов научно-практической конференции, 11 – 13 марта 1999 года. Изд-во СПбГТУ, 1999. с. 259 – 261.
9. Бобылев Н.Г., Зенцов В.Н., Семин Е.Г. Развитие подземной инфраструктуры Санкт-Петербурга: проблема обеспечения безопасности исторических зданий//Жизнь и безопасность. № 2-3, 1998. с. 588-592.
10. Бобылев Н.Г., Зенцов В.Н., Семин Е.Г. Развитие подземной инфраструктуры Санкт-Петербурга//Материалы научно-практической конференции ДИМЭБ - 98 - СПб, 1998. с. 35 – 36.