

УДК 69.035.4:65.011.12

*С.П. Зайцев, В.А. Умнов, А.В. Харченко*

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ФОРМИРОВАНИЕ  
УСЛОВИЙ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ**

---

**Д**ля России и всего мира в последние десятилетия стало характерно бурное развитие городов. Около 40 % россиян проживает в 33 крупнейших агломерациях. Концентрация населения дает немало экономических, информационных и других преимуществ, но вместе с тем приводит к значительному увеличению антропогенной нагрузки на городские территории. Проявляется ряд проблем, связанных с загрязнением воздушной и водной сред, почвы, нехваткой земельных ресурсов и т.д. Возникают сложности с перемещением людей, обеспечением необходимыми для жизнедеятельности ресурсами и удалением отходов. Все это, в конечном счете, делает окружающую среду городов менее благоприятной для проживания.

Решение данной проблемы в последние годы происходит путем размещения в подземном пространстве ряда объектов инфраструктуры. Строительство городских подземных сооружений требует значительных капитальных затрат, но позволяет достаточно интенсивно развивать территории при создании благоприятных условий для жизни и деятельности населения.

Имеющиеся результаты исследований в области эколого-экономической оценки использования подземного пространства не дают возможности в пол-

ной мере учесть влияние подземных объектов на экосистемы густонаселенных городских территорий. В этой связи является весьма актуальным анализ влияния использования подземного пространства на формирование условий на городских территориях.

В настоящее время накоплен значительный опыт использования подземного пространства. Известно более 30 наиболее развитых направлений его применения, в частности, в таких отраслях и сферах деятельности людей, как градостроительство и городское хозяйство, энергетика, нефтегазовая отрасль, сельское хозяйство, транспорт, оборонная промышленность, военное дело, наука, медицина и др. При этом подземное пространство используются как среда для нахождения людей, производства и хранения ценностей, перемещения объектов и иных целей.

Наиболее значимые направления использования подземного пространства городов включают: гаражи и автостоянки; пешеходные и транспортные тоннели; предприятия торговли и общественного питания; объекты инженерного оборудования, коммунально-бытового обслуживания и связи; объекты складского хозяйства, хранилища продуктов и предметов различного назначения; культурные, спортивные и административные здания и сооружения; промышлен-

ные объекты; жилые здания и гостиницы и др.

Городские подземные сооружения характеризуются в основном небольшой глубиной заложения, привязкой к конкретным поверхностным объектам и территориям, особой пространственной организацией, специфическим временным режимом использования и т.д. Поэтому для них создаются специальные подземные полости, отвечающие требованиям, необходимым в каждом конкретном случае. Спектр направлений использования городского подземного пространства практически неограничен.

Наиболее важные полезные характеристики подземного пространства заключаются в относительно стабильных климатических характеристиках (температурно-влажностном режиме); изолированности от разного рода поверхностных воздействий (таких как шум, вибрация, радиоактивность и т.д.); относительной герметичности, а также способности удерживать тепловую и другие виды энергии; невысоких затратах на внешнюю отделку подземного здания и его эксплуатацию и другие.

Особенностями городской среды является высокая плотность проживающего и осуществляющего свою деятельность населения, представленного различными слоями (жители, предприниматели, чиновники и др.). В этой связи исследовано взаимовлияние различных интересов при развитии городских территорий с использованием подземного пространства. При этом город рассматривался как объединение трех элементов: природной среды, населения и инфраструктуры, для которых весьма важно сбалансированное распределение территориальных и других ресурсов. Немалую роль также играют функции города в региональной, государст-

венной и других системах более высокого уровня.

При оценке результатов использования подземного пространства необходимо учитывать, что оно оказывает влияние на население как непосредственно, так и косвенно через другие объекты городской среды. Кроме того, во всех случаях это влияние взаимное.

Основными особенностями подземного объекта при оценке его влияния на людей являются следующие: подземный объект - часть городской инфраструктуры, он воздействует на окружающую среду особым образом (процессы в недрах более значимы), специфические условия для людей в подземном пространстве.

Рассмотрены основные экономические, экологические и социальные характеристики среды обитания в городе с учетом качества жизни населения. Развитие городских территорий должно предусматривать удовлетворение потребностей населения во всех сферах: повышении экономического благосостояния, улучшении окружающей среды, культурно-историческое развитие и т.д. В этой связи, с учетом особенностей подземных сооружений сформированы наиболее значимые эколого-экономические факторы, влияющие на развитие городских территорий при использовании подземного пространства. Они включают: производство дополнительных материальных и духовных благ при функционировании подземного объекта инфраструктуры, создание новых рабочих мест на нем, механическое воздействие на недра и поверхность в процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения, изъятие земельных ресурсов поверхностной частью сооружения, загрязнение атмосферы, загрязнение поверхностных и подземных вод, изменение визуально-

Таблица 1  
**Эколого-экономические факторы влияния использования подземного пространства на городские территории**

Фактор	Усл. обозн.	От чего зависит распространение	От чего зависит величина влияния
Создание дополнительных благ	A	Перемещение людей	Общее количество создаваемых материальных благ
Создание рабочих мест	B	Перемещение людей	Фонд заработной платы предприятий объекта
Механическое воздействие на недра и поверхность	C	Свойства массива, глубина	Глубина, размеры, наличие колебаний, технологии строительства
Изъятие земельных ресурсов	D	Размеры изымаемой территории	Площадь поверхностной части
Загрязнение атмосферы	E	Роза ветров	Количество выделяемых веществ
Загрязнение поверхностных и подземных вод	F	Наличие и размеры водоемов, потоки	Количество выделяемых веществ
Изменение визуального облика	G	Пределы прямой видимости	Стиль и размеры объекта
Изменение плотности населения	H	Перемещение людей	Пропускная способность

го облика территории поверхностной частью подземного сооружения, а также изменение плотности населения (табл. 1).

Величина указанных факторов в наибольшей мере определяется видом, расположением подземного объекта и характеристиками городской территории.

В качестве исследуемых объектов городской подземной инфраструктуры приняты наиболее распространенные и типичные для решаемой задачи: метро, автотранспортные тоннели, гаражи и автостоянки, торгово-развлекательные сооружения. Исследование влияния использования городского подземного пространства осуществляется на их примере. Это не исключает возможность применения разработанных методов для других типов объектов. Целесообразно рассматривать преимущественно крупные подземные объекты, оказывающие существенное влияние на городские территории.

Перечисленные ранее факторы имеют разные масштабы воздействия: от местного до общегородского. В этой связи, предложено выделить две масштабные зоны: I – непосредственная близость (до 250 м) и II – городской (районный) масштаб. В табл. 2. показаны наиболее характерные зоны распространения влияния подземных объектов на городские территории в зависимости от видов подземных объектов и влияющих факторов.

В пределах зоны I происходит наиболее сильное влияние использования подземного пространства на городские территории. В этой связи, распространение эколого-социального влияния подземного объекта и формирование результатов на урбанизированных территориях в пределах зоны I требует более развернутого исследования.

Степень распространения эколого-социального влияния и получаемый результат в значительной мере зависит от вида и характеристик территории. Наи-

Таблица 2

**Наиболее характерные зоны распространения влияний использования подземного пространства на городские территории по видам объектов**

№	Вид объекта	Факторы влияния							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1.	Метро	II	II	I	I	I	I	I	I
2.	Автотранспортные тоннели	II	II	I	I	I	I	I	I
3.	Гаражи и автостоянки	I	II	I	I	I	I	I	I
4.	Торгово-развлекательные сооружения	II	II	I	I	I	I	I	I

более значимые виды территорий включают: жилую, общественную, промышленную, зеленую зону, автомагистрали, занятую объектами рельсового транспорта, а также водоемами. Важнейшими характеристиками территорий являются: количество населения и объектов его собственности; время пребывания населения; преобладающий вид его деятельности и средний уровень благосостояния.

Для количественной оценки влияющих факторов необходимо формирование перечня соответствующих показателей. В конечном итоге величины должны быть установлены в сопоставимых единицах, в частности – в рублях. Они должны быть отнесены к конкретному участку местности и периоду времени.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора А (создание дополнительных благ) на конкретном участке территории определяется по формуле:

$$R_{Axy} = B_A^0 \cdot B_{Axy} \cdot k_{Al}^{pes} \cdot S_{xy}; \quad (1)$$

где  $R_{Axy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора А на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $x, y$  – координаты участка на котором определяется уровень воздействия,  $x \in [1; X], y \in [1; Y]; X, Y$  – максимальные размеры рассматриваемой

территории;  $B_A^0$  - величина воздействия фактора А непосредственно вблизи источника (объект), руб/год;  $B_{Axy}$  - уровень воздействия фактора А на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Al}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора А на территории вида  $l, 1/m^2$ ;  $S_{xy}$  - площадь рассматриваемого участка с координатами  $x, y, m^2$ .

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора В (создание рабочих мест) на конкретном участке территории определяется подходом аналогичным предыдущему фактору, по формуле:

$$R_{Bxy} = B_B^0 \cdot B_{Bxy} \cdot k_{Bl}^{pes} \cdot S_{xy}; \quad (2)$$

где  $R_{Bxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора В на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_B^0$  - величина воздействия фактора В непосредственно вблизи источника (объект), руб/год;  $B_{Bxy}$  - уровень воздействия фактора В на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Bl}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора В на территории вида  $l, 1/m^2$ .

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора С (механическое воздействие на недра и поверхность) определяется только на участках, кото-

рые расположены над подземным объектом, по формуле:

$$R_{Cxy} = B_{Cxy} \cdot k_{Cl}^{pes} \cdot S_{xy}; \quad (3)$$

где  $R_{Cxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $C$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_{Cxy}$  - уровень воздействия фактора  $C$  (нарушение от максимально возможного) на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Cl}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора  $C$  на территории вида  $l$ , руб/м<sup>2</sup>·год.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $D$  (изъятие земельных ресурсов) на конкретном участке территории определяется по формуле:

$$R_{Dxy} = B_D^0 \cdot B_{Dxy} \cdot k_{Dl}^{pes} \cdot S_{xy}; \quad (4)$$

где  $R_{Dxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $D$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_D^0$  - величина воздействия фактора  $D$  непосредственно вблизи источника (объект), руб/год;  $B_{Dxy}$  - уровень воздействия фактора  $D$  на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Dl}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора  $D$  на территории вида  $l$ , 1/м<sup>2</sup>.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $E$  (загрязнение атмосферы) должно определяться с учетом преобладающего в данной местности направления ветра. Оно считается по формуле:

$$R_{Exy} = B_E^0 \cdot B_{Exy} \cdot k_{xy}^{eem} \cdot k_{El}^{pes}; \quad (5)$$

где  $R_{Exy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $E$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_E^0$  - величина воздействия фактора  $E$  непосредственно вблизи источника (количество выделяемых в атмосферу веществ), т/год;  $B_{Exy}$  - уровень

воздействия фактора  $E$  на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{xy}^{eem}$  - коэффициент, учитывающий неравномерное распространение воздействия фактора  $E$  за счет ветра (учитывает преобладающее направление и интенсивность);  $k_{El}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора  $E$  на территории вида  $l$ , руб/т.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $F$  (загрязнение поверхностных и подземных) определяется с учетом величины загрязнения водоема и степени использования данного водоема населением. Оно рассчитывается по формуле:

$$R_{Fxy} = B_F^0 \cdot B_{Fxy} \cdot k_{Fl}^{pes}; \quad (6)$$

где  $R_{Fxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $F$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_F^0$  - величина воздействия фактора  $F$  непосредственно вблизи источника (объект), т/год;  $B_{Fxy}$  - уровень воздействия фактора  $F$  на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Fl}^{pes}$  - коэффициент результата воздействия фактора  $F$  на территории вида  $l$ , руб/т.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $G$  (изменение визуального облика территорий) зависит от наличия людей и их движения. Оно определяется по формуле:

$$R_{Gxy} = B_G^0 \cdot B_{Gxy} \cdot k_{Gl}^{pes} \cdot S_{xy}; \quad (7)$$

где  $R_{Gxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $G$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_G^0$  - величина воздействия фактора  $G$  непосредственно вблизи источника (объект), руб/год;  $B_{Gxy}$  - уровень воздействия фактора  $G$  на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $k_{Gl}^{pes}$  - коэффи-

циент результата воздействия фактора  $G$  на территории вида  $l$ ,  $1/m^2$ .

Денежное измерение визуального воздействия возможно путем анализа изменения стоимости недвижимости в непосредственной близости к объекту, вызывающему данное воздействие.

Эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $H$  (изменение плотности населения) на конкретном участке территории определяется по формуле:

$$R_{Hxy} = B_H^0 \cdot B_{Hxy} \cdot K_{HI}^{рез} \cdot S_{xy}; \quad (8)$$

где  $R_{Hxy}$  - эколого-экономический эффект от воздействия фактора  $H$  на участок местности с координатами  $x, y$ , руб/год;  $B_H^0$  - величина воздействия фактора  $H$  непосредственно вблизи источника (объект), руб/год;  $B_{Hxy}$  - уровень воздействия фактора  $H$  на участке с координатами  $x, y$ , доли;  $K_{HI}^{рез}$  - коэффи-

циент результата воздействия фактора  $H$  на территории вида  $l$ ,  $1/m^2$ .

Денежная оценка фактора скопление людей возможна через изменение стоимости недвижимости, находящейся в собственности или используемой населением.

В результате проведенного анализа влияния создания и эксплуатации объектов городской подземной инфраструктуры на урбанизированные территории выявлены наиболее значимые его факторы. Определены перечни основных рассматриваемых подземных объектов и проведен анализ зон их влияния по факторам. Определены наиболее значимые для рассмотрения виды городских территорий. Выявлены показатели для оценки указанных факторов и их функциональные зависимости от характеристик объекта, вида территории, расстояния и размеров рассматриваемого участка. **ИАС**

### **Коротко об авторах**

*Зайцев Сергей Петрович* – соискатель, кафедра «Экономика природопользования»,  
*Умнов Виталий Анатольевич* – зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и гражданская оборона»,  
*Харченко Алексей Викторович* – профессор кафедры «Экономика природопользования»,  
Московский государственный горный университет.

Статья представлена кафедрой «Экономика природопользования», Московского государственного горного университета.  
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Н.Н. Чаплыгин*.

