

БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ¹

В работе в качестве постановки проблемы предложен балансoвый метод анализа и оценки этапов, формирования экологической обстановки на урбанизированных территориях, основанный на учете внутренних и внешних факторов по отношению к рассматриваемой территории.

Предложенный в работе балансoвый метод изучения процесса формирования экологической обстановки конкретизирует пространственный, экосистемный, структурный подходы. Суть метода сводится к установлению доли участия каждого загрязнителя, вида загрязнителя, наиболее значимого источника в формировании экологической обстановки на исследуемой территории и в последующем – соответствующего объема ответственности. Предложенный метод применен в работе с учетом эффекта суммации синергетического эффекта, эффекта сопряжения мероприятий и ассимиляционного потенциала экосистемы, а также фактора трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЗВ) в сопредельные территории. При этом *эффект суммации* автор представляет в общем виде как последствия взаимодействия загрязняющих веществ (ЗВ) между собой и с веществами, находящимися в экосистеме, с образованием новых соединений.

Исследование данного процесса базируется на исходных положениях:

- в условиях урбанизированных территорий в силу развития экономического, социального, транспортного взаимодействия между центрами, субъектами урбанизации происходит «усреднение» их количественных параметров;
- эта предпосылка формирует процесс «нивелирования» уровня загрязнения, качественных параметров экосистемы урбанизированных территорий за счет

рассредоточения веществ, рассеивания, переноса, перемещения, в том числе при перераспределении водных ресурсов по бассейнам, перемещении продукции.

Результатирующим этапом метода является оценка эффективности мероприятий по трансграничному природопользованию на основе их сопряжения: по сопредельным территориям, объектам воздействия, по источникам, видам загрязнений, предложенному автором алгоритму анализа.

При этом используется алгоритм формирования параметров и показателей экологической обстановки экосистем сопредельных регионов при трансграничном природопользовании (при формировании экологического каркаса территорий).

Первый этап алгоритма оценки формирования балансов загрязнений по источникам и видам на примере водных ресурсов представляется следующим образом (рис. 1).

Очевидно, что «вынос» воздействия (в том числе за счет дренирования из почвогрунтов, смыва осадками) снижает концентрацию загрязняющих веществ ($C_{з.в.}$) и их объем ($Q_{з.в.}$). В реальной действительности по участкам водотока, даже на большом удалении от локального источника воздействия, был обнаружен факт и тенденция их увеличения. Это увеличение происходит не только за счет при-

¹ Исследование проведено при поддержке РГНФ (грант № 06-02-00284а).

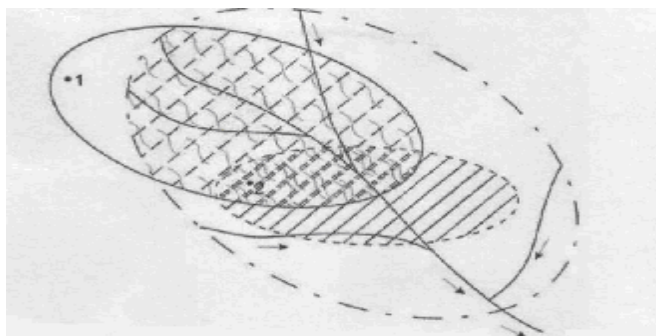


Рис. 1. Схема формирования воздействия двух источников эмиссии загрязняющих веществ в водном объекте:

-  – зона воздействия 1-го источника на территорию экосистемы речного бассейна (воздействие = m_1);
-  – зона воздействия 2-го источника на территорию экосистемы речного бассейна (воздействие = m_2);
-  – зона суммации воздействия 1-го и 2-го источников (воздействие = m_{12});
-  – зона распределения воздействия 1-го источника на экосистему водного бассейна и снижения его за счет ассимиляционного потенциала экосистемы (воздействие = m'_{12});
-  – зона суммации воздействия 1-го и 2-го источников и снижения его за счет ассимиляционного потенциала экосистемы (воздействие = m'_{12} результирующее).
- — — — — граница речного бассейна (локальной экосистемы);
- — водоток с притоками;
- 1, •2 — точечные, сосредоточенные источники воздействия

внесения дополнительного воздействия (ΔQ), но и за счет выноса в атмосферу фракций (газов, аэрозолей) с более повышенным потенциалом эффекта суммации (как, например, SO_3^- по сравнению SO_2^-), а также оседания новых соединений, их смыва в водоток.

При оценке эффекта суммации загрязняющих веществ по поясам, зонам урбанизированных территорий были учтены следующие главные особенности, подходы:

- 1) максимальный охват основных (характерных для исследуемого региона) загрязняющих веществ;
- 2) однотипность оценки для всех поясов, уровней воздействия;
- 3) наличие предыдущего (антропогенного и естественного) фона загрязнений;
- 4) учет загрязнителей, количественно устанавливаемых и оцениваемых по существующей системе статистической отчетно-

сти (в том числе включенных в государственные доклады «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области» по годам: 2000-2006 гг.).

В самом общем случае возможные и часто встречающиеся варианты воздействия ряда значимых источников, их наложения при этом на сопредельные территории (экосистемы) и формирования баланса воздействий (загрязнений) могут быть представлены графически (рис. 2).

Количественные параметры ареала воздействия могут быть оценены традиционным методом, применяемым при определении площади эллипса (языка) влияния (воздействия) источника радиоактивных веществ, их поступления в атмосферу, распространения в пространстве, выпадения на территории в зависимости от розы ветров, рельефа, температуры воздуха и т. д. (рис. 3).

Второй этап алгоритма оценки воздействия характеризуется установлением количественных взаимосвязей на основе выявленных тенденций, закономерностей первого этапа. Формой выражения второго этапа может стать матрица элементов воздействия источников на объекты (территории, элементы экосистемы). Для случая трансграничного природопользования (взаимодействия сопредельных территорий при использовании общего объекта природы и их взаимовлияния друг на друга) эта матрица представлена в табл. 1.

В алгоритме оценки взаимодействия территории – $a_{11}; a_{22}; a_{33} \dots$ – это характеристики «фоновое» состояния, т. е. формирование параметров экосистемы за счет воздействия «своих» источников воздействия, функционирующих на этой территории (экосистемы). В свою очередь, $a_{12}; a_{13} \dots; a_{21}; a_{23} \dots$ – это характеристики формирования параметров экосистемы территорий за счет дополнительного (a_n) фактора, «поступающего» из сопредельной территории. В качестве результирующей характеристики рассматривается суммарный показатель $\sum SS_n$ по вертикали и по горизонтали матрицы.

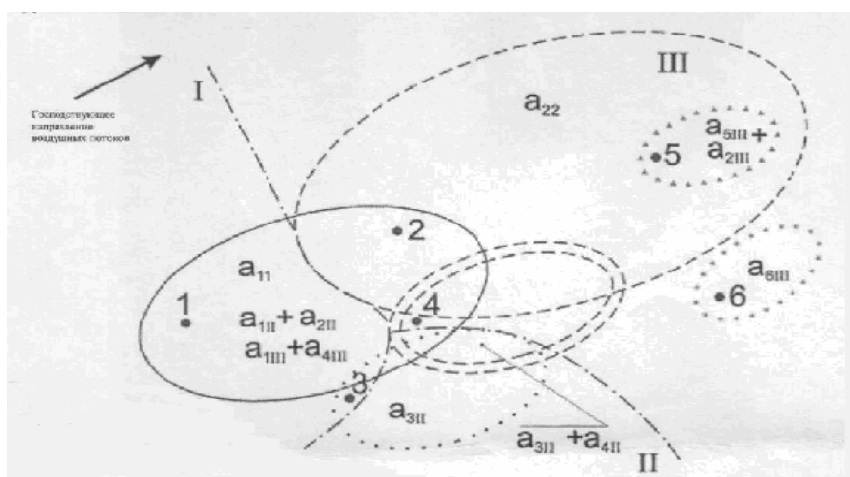


Рис. 2. Воздействие ряда значимых источников:

I; II; III – сопредельные территории – объекты воздействия источников;
1, 2, 3, 4, 5, 6 – источники воздействия;
 $a_{11}; a_{12}; a_{13}; a_{22}; a_{23}; a_{24} \dots$ – зоны, испытывающие суммарное воздействие источников загрязнения

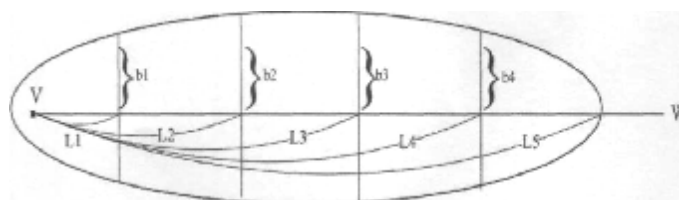


Рис. 3. Воздействие источника на расстоянии от точки эмиссии:

$l_1; l_2; l_3; \dots l_6$ – расстояние от источника загрязнения V;
 $b_1; b_2; b_3; b_4$ – «плечи» отклонения границ ареала от оси W

Таблица 1

Схема взаимовлияния сопредельных территорий (S) при эмиссии загрязняющих веществ

Показатель	S_1	S_2	S_3	S_4	ΣS_n
S_1	Фон a_{11} территории S_1	a_{12}	a_{13}	a_{14}	
S_2	a_{21}	Фон a_{22} территории S_2	a_{23}	a_{24}	
S_3	a_{31}	a_{32}	Фон a_{33} территории S_3	a_{34}	
S_4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	Фон a_{44} территории S_4	
ΣS_n					ΣSS_n

В алгоритме оценки взаимодействия территории – $a_{11}; a_{22}; a_{33} \dots$ – это характеристики «фоновое» состояния, т. е. формирование параметров экосистемы за счет воздействия «своих» источников воздействия, функционирующих на этой территории (экосистемы). В свою очередь, $a_{12}; a_{13} \dots; a_{21}; a_{23} \dots$ – это характеристики формирования параметров экосистемы территорий за счет дополнительного (a_n) фактора, «поступающего» из сопредельной территории. В качестве результирующей характеристики рассматривается суммарный показатель ΣSS_n по вертикали и по горизонтали матрицы.

Третий этап алгоритма оценки – характеристика воздействия в аспекте количественных показателей, выраженных в виде

приведенной массы загрязняющих веществ (M_{np}), учитывающих их агрессивность, т. е. дифференциацию по характеру, степени опасности воздействия на элементы экосистемы, на биоту и на человека (табл. 2).

На этом этапе оценивается – $M_{11}; M_{22} \dots M_{nn}$ – фоновая масса загрязняющих веществ, поступивших от «своих источников» на «свою» экосистему, а также – $M_{21}; M_{23} \dots M_{2n}$ – масса загрязняющих веществ, поступивших на экосистему от сопредельных территорий.

Четвертый этап алгоритма оценки взаимовлияния сопредельных территорий в рамках трансграничного природопользования предусматривает составление матриц, дифференцирующих виды воздействия (атмосферных выбросов, сбросов в водоем) (табл. 3).

Таблица 2

Матрица взаимовлияния территорий по массе эмиссии (M) загрязняющих веществ

	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	ΣM
S_1	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{14}	M_{1n}	
S_2	M_{21}	M_{22}	M_{23}	M_{24}	M_{2n}	
S_3	M_{31}	M_{32}	M_{33}	M_{34}	M_{3n}	
S_4	M_{41}	M_{42}	M_{43}	M_{44}	M_{4n}	
S_n	M_{n1}	M_{n2}	M_{n3}	M_{n4}	M_{nn}	
ΣM						ΣMM

Таблица 3

Баланс суммарного воздействия (M)
на сопредельные территории (выбросы, сбросы)

	S'_1	S'_2	S'_3	S'_4
S'_1	M'_{11} фон территории 1 (сбросы + выбросы)	M'_{12}	M'_{13}	M'_{14}
S'_2	M'_{21}	M'_{22} фон территории 2 (сбросы + выбросы)	M'_{23}	M'_{24}
S'_3	M'_{31}	M'_{32}	M'_{33} фон территории 3 (сбросы + выбросы)	M'_{34}
S'_4	M'_{41}	M'_{42}	M'_{43}	M'_{44} фон территории 4 (сбросы + выбросы)

Суммарные, итоговые воздействия на экосистемы сопредельных территорий с учетом их ассимиляционного потенциала приведены в табл. 4. Эти воздействия определяются следующим образом:

$$\sum M'' = \sum M_e + \sum M_c + \sum M_o + \Delta m_n + \Delta m_p; \quad (1)$$

где $\sum M'$ – суммарное количество ЗВ (выбросов, сбросов, складированных отходов);

$\sum M_e$ – суммарные выбросы ЗВ («фон» + привнесенных из сопредельных территорий);

$\sum M_c$ – суммарные сбросы ЗВ («фон» + привнесенные транзитным стоком, смыв с водного бассейна осевших атмосферных выбросов);

$\sum M_o$ – суммарный объем ЗВ, поступающих в экосистему от складирования отходов;

Δm_n – снижение объема ЗВ за счет самоочищения экосистемой;

Δm_p – снижение объема ЗВ за счет их рассеивания, рассредоточения.

Неоднородность территориальной структуры ассимиляционного потенциала (n) и условий рассеивания, рассредоточения (p) обуславливает формирование зон с минимальным воздействием, в частности водотоков (рек и сезонных) с растительностью и лесами на водосборе. В зависимости от размера водосбора в коридорах и зонах могут иметь место разные по функциональному

Таблица 4

Итоговая матрица формирования суммарного объема загрязняющих веществ (с учетом его снижения ассимиляционным потенциалом экосистемы и рассеивания)

	S_1	S_2	S_3	S_4	Σ
S_1	M''_{11}	—	—	—	Σa_1
S_2	—	M''_{22}	—	—	Σa_2
S_3	—	—	M''_{33}	—	Σa_3
S_4	—	—	—	M''_{44}	Σa_4
	—	—	—	—	M''_n

назначению и использованию территории: от промышленных освоенных до курортных.

На основе итогового баланса загрязняющих веществ (ΣZB) в виде:

$$\Sigma ZB = \Sigma B + \Sigma C - \Delta m_n - \Delta m_p \quad (2)$$

можно строить схему управления, т. е. выйти на решение оптимизационной задачи, имея в виду определенные альтернативы:

- или продолжать функционировать источнику загрязнения и иметь при этом экономическую выгоду;
- или учитывать ущерб от переноса (трансграничного) загрязнения по формуле (2) и компенсировать этот эффект;
- или производить загрязнения, получая выгоду, и одновременно учитывать затраты на компенсацию ущерба (У)

в самом процессе этого производства.

Наиболее четко приведенные тенденции и закономерности проявляются в условиях функционирования крупнейших городов, городских агломераций с ярко выраженными связями по миграции населения, по перемещению продукции, сырья, формированию эмиссии загрязняющих во времени и пространстве (табл. 5).

Таким образом, функционирование городов, городских агломераций, являющихся ядрами урбанизированных территорий, сопровождается потреблением потоков загрязняющих веществ и энергии с других территорий. Это явление и формирует новую экосистему урбанизированных территорий, причем экосистему с недисперсным, неравномерным потреблением загрязнений и негативным воздействием на сами территории. Данная особенность взаимосвязи в системе «город – окружающая среда» является ба-

Таблица 5

Элементы баланса веществ и территорий,²
подлежащих воздействию мегаполиса

Ресурсы вещества	Потребление в год	Потенциал воспроизводства в пределах города	Территории, задействованные для удовлетворения этих потребностей
Вода	> 600 млн м ³	—	До 2,7 млн га (без учета территории, формирующей сток)
Воздух	> 40 млн т	Не более 30-40 тыс. т	Более 7 млн га
Рекреационные ресурсы	≈ 7 млн га	< 1 тыс. га	Около 7 млн га в зоне транспортной загруженности
Сырье, продукция для промышленности и строительства	≈ 14 млн т	Незначительно (небольшие карьеры строительных материалов МО)	Около 60 тыс. га
Топливо (в условных единицах)	10 млн т	—	40 тыс. га (без учета сопредельных территорий, где организована добыча и поставка в системе разделения труда)
Продукты питания	1,3 млн т	Незначительно	Более 700 тыс. га (без учета территорий сопредельных государств, откуда осуществляется их импорт)

² Маслов Н.В. Градостроительная экология. М.: Высшая школа, 2002.

зовой, определяющей пространственную характеристику параметров и показателей экосистемы в зоне воздействия городов и урбанизированных территорий. И поскольку города, городские формы поселения вносят основные изменения в экологическое равновесие и балансы экосистем (в отличие от сельских систем ассимиляционный потенциал городских экосистем превышен кратно), то они и формируют экологический каркас урбанизированных территорий (ЭКУТ).

В основу методологии исследования экологических проблем урбанизированных территорий автор закладывает анализ процесса размещения главной производительной силы (расселения). При этом автор полагает, что и в самой основополагающей катего-

рии «экология» доминирующем фактором формирования новых параметров экосистемы, на основе которой развивается взаимодействие человека и природы, является человек с его потребностями «природопотребления» и его воздействием на природу. Именно человек, расширяя свои потребности, определяет и формы, а также средства их удовлетворения, что в последствии определяет его потребность в природопользовании, масштабах воздействия (табл. 6).

Экономическая форма проявления взаимодействия сопредельных территорий оценивается в виде ущерба, наносимого выбросами и сбросами загрязняющих веществ с последующей его оценкой; установления экономической ответственности каждого

Таблица 6

Потребности человека в различных по функциям территориях

Использование территорий экосистем для удовлетворения потребностей	Территория, необходимая человеку					
	По К. Докладису		По Ю. Одуму		По данным ФАО (ООН)	
	га	%	га	%	га	%
Естественный ландшафт	1,14	57	0,8	40	1,0	50
Сельскохозяйственные угодья	0,8	40	1,0	50	0,9	45
В городах и промышленном производстве	0,06	3	0,2	10	0,1	5
Итого	2,0	100	2,0	100	2,0	100

Таблица 7

Матрица ущербов (Y), формирующихся на сопредельных территориях, как результат нерационального взаимодействия сопредельных территорий

	S_1	S_2	S_3	S_4	...	S_n	...	ΣY
S_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}		Y_{1n}		
S_2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}		Y_{2n}		
S_3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}		Y_{3n}		
S_4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}		Y_{4n}		
...								
S_n	Y_{n1}	Y_{n2}	Y_{n3}	Y_{n4}		Y_{nn}		
...								
ΣY								$\Sigma \Sigma Y$

источника (загрязнителя) и территории (табл. 7).

При этом осуществление совместных (при участии сопредельных территорий) природоохранных мероприятий, мероприятий по рациональному природопользованию в целом должно быть построено по следующим основополагающим принципам.

1. Суммарный эффект от использования элементов экосистемы всегда меньше эффекта от использования объекта природопользования (локальной экосистемы) в целом (принцип эмерджентности).

2. Эффект от использования ресурсов общего объекта природопользования отдельным участником (территорией) будет меньше эффекта от природопользования всеми участками (сопредельными территориями).

Объективно необходимо рассмотрение проблемы использования общего объекта природопользования в двух аспектах: во-первых, как эффект от использования свойств объекта природы и ресурсов, а во-вторых, как эффект от уменьшения загрязнения, снижения или даже предотвращения ущерба:

$$\text{Эпр}_1 + \text{Эпр}_2 + \text{Эпр}_3 + \text{Эпр}_4 + \dots + \text{Эпр}_{n-1} + \text{Эпр}_n < \text{Э}_{\text{общ}}, \quad (3)$$

где $\text{Эпр}_1, \text{Эпр}_2, \text{Эпр}_3, \text{Эпр}_4, \text{Эпр}_{n-1}, \text{Эпр}_n$ – различные эффекты использования общего объекта природы отдельным природопользователем;

$\text{Э}_{\text{общ}}$ – эффект от использования объекта природопользования всеми участниками.

При использовании объекта экосистемы отдельными природопользователями возникает эффект эмерджентности, поскольку при взаимодействии большого количества природопользователей и сопредельных территорий появляется синергетический эффект, обеспечивающий превышение эффекта совместно-

го использования объекта над суммой эффектов дифференцированного подхода.³

При этом величина синергетического эффекта (Z^9) составляет

$$Z^9 = \text{Эобщ} - (\text{Эпр}_1 + \text{Эпр}_2 + \text{Эпр}_3 + \text{Эпр}_4 + \dots + \text{Эпр}_{n-1} + \text{Эпр}_n). \quad (4)$$

Большой синергетический эффект $Z^9 > 0$ образуется при более интенсивном процессе взаимодействия и более устойчивых связях между участниками процесса. И наоборот, меньшая величина $Z^9 < 0$ обусловлена меньшей устойчивостью связей между участниками синергетического процесса. Очевидно, что при значении $Z^9 = 0$ взаимодействие между участниками отсутствует. Это подтверждается современной практикой узковедомственного (узкоотраслевого) подхода к использованию общих объектов природы на фоне узкотерриториальных интересов (региональный эгоизм).

В условиях современного использования свойств и качеств общих объектов природы эффект от объединения Z^9 распределяется между участниками. И данный посыл является экономической и методологической основой объединения их усилий, так как если хотя бы один из участников не получает выгоды от интеграции, он будет стремиться к автономному природопользованию, что имеет место в современной практике природопользования.

Второй аспект синергетического отрицательного эффекта от совместного использования общих объектов природы в работе предложено оценивать с точки зрения синергизма загрязнения, учитывающего изменение параметров балансов в качественном состоянии общего природного объекта.⁴

³ Синергетическое действие, синергизм, взаимодействие факторов, при котором эффект оказывается большим, чем сумма влияний от действия отдельных факторов, увеличение силы воздействия одного фактора при наличии в среде других однонаправленных факторов. Так действуют, напр., многие токсичные вещества (пестициды, тяжелые металлы), температура, ветер и влажность воздуха, и соленость воды и др.

⁴ Синергизм загрязнителей, взаимодействие первичных загрязнителей, в результате которого образуются вторичные загрязнители, более опасные для живых организмов. Например, окись азота и углеводороды выхлопных газов, соединяясь в присутствии солнечного света, образуют новые, более ядовитые вещества, известные под названием «смога фотохимического»; токсичного фтора в воде увеличивается в присутствии меди; диоксид серы становится токсичнее в 2-3 раза при поступлении в атмосферу промышленной пыли и др.

Сущность эффекта совместных действий природопользователей в этом случае состоит в максимальном предупреждении (предотвращении) не только последствий синергизма загрязнений, но и сохранения, поддержания потенциала объекта природопользования (экосистемы) для более полного удовлетворения экологических, социальных, экономических потребностей других участников, в т. ч. и по другим направлениям реализации потребительских свойств объекта ($\Theta_{\text{экол}}, \Theta_{\text{соц}}, \Theta_{\text{экон}}$). Например, максимально возможное предотвращение снижения показателей качества воды в общем объекте водопользования такими загрязнителями, как промышленность, коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, позволит в дальнейшем использовать этот водный объект для рекреационных, рыбохозяйственных целей ($\Sigma\Theta_y$).

В свою очередь, суммарный эффект ($\Sigma\Theta_y$) от снижения (предупреждения) ущерба для других пользователей автором предполагается оценивать как

$$\Sigma\Theta_y = \Theta_{\text{экол}} + \Theta_{\text{соц}} + \Theta_{\text{экон}}. \quad (5)$$

Следовательно, суммарный эффект складывается из эффектов, получаемых другими пользователями, реализующими сохраненные потребительские свойства объекта природопользования (экосистемы) в целом и ее элементов в социальных, экономических, экологических целях. В последнем случае эффект рекомендуется оценивать как сохранение природноресурсного потенциала объекта природопользования (в общем случае) и сохранение экобалансов, ассимиляционного потенциала ее элементов. Кроме того, этот эффект можно оценить как потенциал предотвращения возможных негативных последствий на другие природные комплексы, в т. ч. сопредельных территорий, в аспекте максимального предотвращения ущерба экосистемам, реципиентам, включая население. Эти последствия возникают в силу трансграничного характера природопользования, в силу корреляционных взаимосвязей между элементами природного комплекса.

Суммарный предотвращенный ущерб ($\Sigma U_{\text{пред}}$) предлагается оценивать с трех позиций:

а) залпового;

- б) единовременного, вследствие сосредоточенных разовых выбросов (U_z) и установившегося («ползучего»), т. е. системного, во времени и пространстве негативного воздействия (U_c);
- в) косвенного ущерба (U_k) через изменения других факторов, не относящихся непосредственно к природопользованию.

Тогда:

$$\Sigma U_{\text{пред}} = U_z + U_c + U_k. \quad (6)$$

В структуре ущербов по всем трем позициям выделяются следующие формы их проявления:

- $U^1_{\text{з,ус,к}}$ – ущерб от процесса пользования (или резкого снижения продуктивности) сельскохозяйственных угодий;
- $U^2_{\text{з,ус,к}}$ – от снижения продуктивности лесных угодий: древесной массы, дикоросов (ягод, грибов, трав, корней...), приуроченной к ним биоте;
- $U^3_{\text{з,ус,к}}$ – от снижения продуктивности лугов, пастбищ, приуроченной им биоте;
- $U^4_{\text{з,ус,к}}$ – от снижения продуктивности водных угодий и водной биоты, вплоть до деградации и физического исчезновения;
- $U^5_{\text{з,ус,к}}$ – экосистеме и реципиентам в результате воздействия (по воздуху, по гидрологической сети);
- $U^6_{\text{з,ус,к}}$ – оцениваемый по всем предыдущим позициям, наносимый сопредельным территориям воздействия трансграничного переноса, в т. ч. «транзитный ущерб» наносимый при транзите воды по рекам;
- $U^7_{\text{з,ус,к}}$ – в результате снижения биологического разнообразия, отражающуюся и проявляющуюся в виде генетических последствий;
- $U^8_{\text{з,ус,к}}$ – вследствие снижения эффекта эмерджентности по природным объектам (экосистемам) общего пользования;
- $U^9_{\text{з,ус,к}}$ – социальный ущерб вследствие заболеваемости населения, потери трудоспособности (а значит - необходимость социальной поддержки), потери здоровья (включая и ожидаемое поколение, «получающее» болезни и

плохое здоровье от родителей, уже испытавших негативное последствие); $y_{з,у,к}^{10}$ – производственному потенциалу (зданиям, сооружениям, оборудованию, приборам, транспортным и передающим устройствам) и инфраструктуре в форме преждевременного их износа, способного привести к авариям, катастрофам.

Таким образом, в самом общем случае суммарный предотвращенный ущерб $\sum y_{пред}$ оценивается как

$$\sum y_{пред} = y_{з,у,к}^1 + y_{з,у,к}^2 + y_{з,у,к}^3 + y_{з,у,к}^4 + y_{з,у,к}^5 + y_{з,у,к}^6 + y_{з,у,к}^7 + y_{з,у,к}^8 + y_{з,у,к}^9 + y_{з,у,к}^{10} \quad (7)$$

Специфической формой проявления косвенного ущерба (Ук) является изменение условий и результативности использования природных ресурсов, а также изменение условий пользования объектами природы в отраслях народного хозяйства и отдельных производственных и технологических процессах. Так, например, использование водохранилища при выработке электрической энер-

гии на ГЭС существенным образом отражается на условиях использования водных ресурсов в орошаемом земледелии как выше створа водохранилища, так и ниже. Эти изменения сказываются на ухудшении производства товарной рыбы из-за изменений условий воспроизводства (нарушение условий нереста из-за изменения в уровнях воды, температуры, данных течений и т. д.) и нагула, изменения в условиях микроклимата и условиях обитания живых организмов и популяций.

Другим характерным примером проявления косвенного ущерба следует назвать последствия больших масс водоотлива при открытой разработке месторождений на гидрологическом режиме: снижение уровня грунтовых вод с последствиями для водоснабжения населения, продуктивности сельскохозяйственных, лесных угодий вплоть до изменения микроклимата. Весьма показателен пример последствий изменения видового состава древостоя в лесах, плотности, масштабов лесного и травянистого покрова, влияющего на их полезационные, средозащитные, водорегулирующие функции.