

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

6

МОСКВА · 1991

УДК 628.394.6:628.35

© 1991 г.

МОСКОВКИН В. М.

К МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК НА ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ МОРЯ И ВЫБОРА МЕР ПО ИХ СНИЖЕНИЮ

(на примере Ялтинского курортно-рекреационного подрайона)

Разработан интегральный индекс антропогенной нагрузки на прибрежную зону моря и вводится понятие матрицы частных индексов, что позволяет районировать побережье по степени нагрузки и планировать очередность и приоритетность природоохранных мероприятий, а также решать задачи оптимизации нагрузок. Рассмотрены вопросы снятия нагрузок, оценки показателя ассимилирующей способности, расчета гидробиоинженерных систем и др. Работа выполнена в рамках разработанной Украинским Гипроградом «Территориальной комплексной схемы охраны природы Ялтинского курортно-рекреационного подрайона».

Для принятия решений по управлению морскими побережьями необходимо обладать методами оценки антропогенных нагрузок на прибрежную зону моря.

В качестве механизмов такого управления за рубежом используется районирование побережий и налогообложение, а также вводятся понятия категории и статуса побережий, законы об управлении прибрежных зон [3, 4]. Для научного обоснования этих механизмов управления автором настоящей статьи разработан интегральный индекс антропогенной нагрузки $I_{\text{инт}}$ на единицу длины береговой линии моря, представляющий собой сумму безразмерных (нормированных $0 \leq I_m \leq 1$) показателей каждого m -го типа нагрузки (частных индексов).

Рассматриваются следующие типы нагрузок: 1) производственные и хозяйственно-фекальные сбросы сточных вод; 2) поверхностный сток с застроенной территории; 3) поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий; 4) речной меженный сток, загрязненный антропогенной деятельностью на водосборе; 5) абразия берегов, которая в значительной степени интенсифицируется за счет антропогенного фактора; 6) рекреационная нагрузка во время теплого купального сезона; 7) аэрозольное осаждение в пределах рассматриваемой ширины прибрежной зоны; 8) результаты хозяйственной деятельности в прибрежной зоне моря (морской транспорт, портовые акватории, дочерпательные работы и эксплуатация морских свалок, добыча полезных ископаемых на шельфе, искусственная подсыпка пляжей).

В данном случае (восемь показателей) величина $I_{\text{инт}}$ теоретически может изменяться в пределах от 0 до 8. При количественной оценке этого индекса целесообразно учитывать мелкодисперсную фракцию взвешенных веществ (от 0 до 100 мкм) и растворенные примеси, которые определяют качество воды прибрежной зоны моря, при этом первоначальную (не нормированную) нагрузку от всех типов источников загрязнения следует оценивать в одних сопоставимых единицах, например в тоннах за год.

Знание величин $I_{\text{инт}}$ позволяет районировать прибрежную зону моря по степени нагрузки на нее и тем самым планировать очередность охвата

природоохранными мероприятиями тех или иных участков берега. Структура же этого индекса (вклад в него различных типов нагрузок) поможет определить приоритетность принятия соответствующих мер. Здесь фактически должна быть матрица частных индексов нагрузок $M = (I_{im})$, где i —

номер участка береговой линии. После ранжирования $I_{инт\ i} = \sum_{m=1}^R I_{im}$ и вы-

бора его оптимального уровня, к которому следует стремиться для нормализации экологического состояния прибрежной зоны моря, появляется оптимизационная задача просчета альтернативных вариантов уменьшения частных индексов нагрузок с целью достижения $I_{инт}^{opt}$. В простейшем случае задача может решаться методами экспертных оценок.

Например, предположим, что интегральный индекс для всех участков проранжирован по равномерной пятибалльной шкале (I балл характеризует минимальные уровни $I_{инт}$). Затем за критерий относительно благоприятной экологической ситуации берется I или II баллы нагрузок, которым соответствуют конкретные значения $I_{инт}^{opt}$. Тогда задача состоит в постепенном понижении баллов, начиная с участков, подверженных максимальным нагрузкам до выбранного оптимального балла, например, II. Эта работа прodelьвается с помощью матрицы M несколькими экспертами при консультациях с административными и контролирующими органами, которые могут вводить ограничения на минимальные уровни рекреационных нагрузок, сброса сточных вод и т. д., ниже которых уменьшать частные индексы нецелесообразно из-за курортно-хозяйственных соображений.

С помощью этой процедуры частные индексы (все или некоторые из них) снижаются таким образом, чтобы достичь двухбалльного критерия по интегральному индексу: $\alpha \leq I_{инт\ i} \leq \beta$, где α, β — границы интервала, соответствующие II баллу нагрузок. Вытекающие отсюда варианты получают автоматическим, благодаря количественным показателям, заложенным в основу оценки частных индексов (например, уменьшение сброса сточных или городских поверхностных вод, ограничение количества рекреантов и т. д.). Целесообразность выбора того или иного варианта снижения частных индексов определяется методами экспертных оценок. В то же время более строгий выбор может быть сделан при сравнении экономических затрат, необходимых на осуществление альтернативных вариантов. Таким образом, намечается путь для строгой постановки оптимизационной задачи выбора приемлемого варианта снижения частных индексов нагрузок с учетом заданных ограничений и минимизации затрат при реализации мер по снятию этих нагрузок.

Приведенный подход, основанный на построении матрицы частных индексов нагрузок, поможет решить и задачу налогообложения, а точнее — разработать нормативы и варианты платежей за ущерб, причиняемый прибрежной зоне моря в результате воздействия различных типов антропогенных нагрузок (дополнительно должно оплачиваться и качество природных и рекреационных ресурсов приморских территорий). Помимо платы за загрязнение окружающей среды организованными источниками (сбросы сточных вод, выбросы в атмосферу), для курортно-рекреационных районов назрела необходимость взимать плату за ущерб, причиняемый и неорганизованными источниками (автотранспортом, морским флотом, рекреантами, всеми объектами, отводящими без очистки поверхностный сток).

При обосновании платы за загрязнение прибрежной зоны моря возникает вопрос о неэквивалентности различных типов нагрузок по степени их токсичного воздействия на водные экосистемы. Для его решения необходимо иметь обобщенный качественный состав каждого типа нагрузок и

оценить ущерб, причиняемый ими водной среде с учетом вклада в него отдельных ингредиентов.

Вычислим теперь $I_{\text{инт}}$ для условий Большой Ялты, которая представляет собой 60-км отрезок береговой линии от мыса Форос до Гурзуфа. При этом учитывались типы нагрузок № 1—4, 6, причем на первом этапе работы не ставилась задача оценки первоначальных (ненормированных) нагрузок в сопоставимых (массовых) единицах. Нагрузки № 3 и 4 учитывались с помощью одного бассейнового эрозионно-морфометрического показателя (индекса), предложенного авторами в виде

$$I_{\text{сх } j} = \alpha_j \varepsilon_j \delta_j, \quad \alpha_j = \frac{F_{\text{сх } j} F_j}{F_j \max\{F_j\}} = \frac{F_{\text{сх } j}}{\max\{F_j\}}, \quad \varepsilon_j = \frac{l_j}{L_j}, \quad \delta_j = \frac{J_j}{\max\{J_j\}}, \quad (1)$$

где $j=1-61$ — порядковый номер субводосбора при нумерации с запада на восток; $F_{\text{сх } j}$, l_j — площадь сельскохозяйственных угодий и длина лога в пределах j -го субводосбора; L_j , J_j — общая длина и средний уклон лога; F_j — площадь j -го субводосбора без учета застроенной прибрежной полосы. Безразмерный показатель I характеризует твердый сток с сельскохозяйственных угодий, так как учитывает их площади, удаленность от береговой линии и характер уклона.

В пределах Большой Ялты расположены два крупных виноградарских хозяйства — «Ливадия» и «Гурзуфский», имеющие 13 отделений и участков, расположенных на 61 субводосборе.

По формулам (1) были рассчитаны все значения $I_{\text{сх } j}$, причем $\max\{F_j\} = 458,5$ га (земли совхоза-завода «Ливадия», $j=33$), $\max\{J_j\} = 42,8\%$ (земли совхоза-завода «Гурзуфский», $j=43$).

Ввиду самостоятельной важности данного бассейнового показателя при планировании водоохраных и противоэрозионных мероприятий вполне можно районирование земель на его основе. Рассчитанные значения $I_{\text{сх } j}$ ранжировались на пять классов с интервалом $\Delta I_{\text{сх}} = [\max\{F_{\text{сх } j}\} - \min\{F_{\text{сх } j}\}] / 5$. Каждому классу присваивался балл индекса (показателя): минимальному классу — I, максимальному — V (табл. 1).

Расчеты показали, что в целом наиболее эрозионно опасны земли совхоза-завода «Гурзуфский». Полученные результаты могут служить основой при планировании очередности противоэрозионных мероприятий в пределах Большой Ялты.

Для оценки интегрального индекса показателя $I_{\text{сх } j}$ пересчитывали на каждый i -й километр берега по соотношениям: $I_{\text{сх } i} = I_{\text{сх } j}$, если j -й лог попадает на i -й километровый участок берега, и $I_{\text{сх } i} = 0$, если ни один из логов не попадает на i -й километровый участок берега.

Начало отсчета $i=1$ соответствовало мысу Форос.

Частный индекс для 1-го типа нагрузки для j -го выпуска сточных вод

Таблица 1

Распределение площадей сельскохозяйственных угодий по бальности показателя $I_{\text{сх } j}$

Градации $I_{\text{сх } j}$	Бальность $I_{\text{сх } j}$	Распределение площадей субводосборов по бальности $I_{\text{сх } j}$, %
0—0,01	I	52,2
0,01—0,02	II	19,45
0,02—0,03	III	9,85
0,03—0,04	IV	5,55
0,04—0,05	V	12,93

определяется по формуле

$$I_{ст j} = \frac{W_{ст j}}{\max\{W_{ст j}\}},$$

где $W_{ст j}$ — средний годовой (суточный) объем сточных вод для j -го выпуска в море.

Перерасчет $I_{ст j}$ на каждый i -й километр берега осуществляется по соотношению, аналогичному $I_{сх i}$. При конкретных расчетах для ялтинского глубоководного выпуска сточных вод $\max\{W_{ст i}\} = W_{ст 46} = 90$ тыс. м³/сут.

Частный индекс для 2-го типа нагрузки определялся следующим образом. Вычислялся средний объем годового поверхностного стока, м³, отводимого с j -й застроенной территории по уравнению [1]

$$W_{з j} = 10F_{з j}\varphi_j H_{год}, \quad (2)$$

где φ_j — средневзвешенный коэффициент стока j -й застроенной площади $F_{з j}$, га; $H_{год}$ — средний годовой слой осадков за теплый период года, мм.

Далее определялся объем стока, поступающий на i -й километровый участок берега: $W_{з i} = W_{з j}$, если сток с j -й территории отводится в море в пределах i -го километрового участка берега; $W_{з i} = W_{з j}/l_j$ — если сток с j -й территории отводится в море в пределах береговой линии длиной $l_j > 1$ км; $W_{з i} = 0$, если ни одна из территорий не дает сток на i -й километровый участок берега.

Окончательно частный индекс для рассматриваемого типа нагрузки вычисляется по формуле

$$I_{з i} = \frac{W_{з i}}{\max\{W_{з i}\}}, \quad (3)$$

где $\max\{W_{з i}\} = 415\,157$ м³/км·год; $i = 40-44$ — 5-км береговая линия г. Ялты.

Частный индекс для 6-го типа нагрузки (рекреационной) определялся по формулам $N_{р i} = N_{р j}$, если количество рекреантов в летний сезон на j -м пляже не выходило за пределы i -го километрового участка берега; $N_{р i} = N_{р j}/b_j$ — для пляжа шириной вдоль берега $b_j > 1$ км; $N_{р i} = 0$ — при отсутствии пляжа на i -м километровом участке берега;

$$I_{р i} = \frac{N_{р i}}{\max\{N_{р i}\}}; \quad (4)$$

$\max\{N_{р i}\} = 12\,300$ чел/км; $i = 35-41, 43-48$ — соответствует ялтинским городским пляжам.

По полученным зависимостям для 60-км отрезка береговой линии Большой Ялты построена матрица частных индексов нагрузок (4×60) $M = (I_{im})$, $i = 1, 60$, $m = 1, 4$ и рассчитан индекс интегральной нагрузки на каждый i -й километровый участок берега (с помощью суммирования строк матрицы):

$$I_{инт i} = I_{сх i} + I_{ст i} + I_{з i} + I_{р i}. \quad (5)$$

Береговая линия по этому индексу районировалась по шестибальной шкале. Минимальные уровни нагрузок (баллы I и II) отмечены на участках Форос — Симеиз ($i = 1-20$), Массандра — Ай-Даниль ($i = 49-51$) и в районе горы Аю-Даг ($i = 56-60$); средние (баллы II и III) — Симеиз — Алушка ($i = 21-34$); максимальные (баллы IV—VI) — Алушка — Массандра ($i = 35-48$) и в районе Гурзуфа ($i = 52-55$). Распределение $I_{инт}$ приведено в табл. 2.

Таким образом, на 45% длины береговой линии Большой Ялты приходится значительная антропогенная нагрузка (баллы III и выше).

Таблица 2

Распределение длин отрезков береговой линии по
балльности показателя $I_{\text{инт } i}$

Градации длины, км	Балльность $I_{\text{инт } i}$	Суммарная длина отрезков береговой линии	
		км	%
0-0,4	I	18	30
0,4-0,8	II	15	25
0,8-1,2	III	15	25
1,2-1,6	IV	8	13,4
1,6-2,0	V	2	3,3
>2	VI	2	3,3

По материалам эхолотной съемки глубин на границе рекреационной зоны моря (удаление от берега на 50 м), проделанной ЭО МГИ АН УССР (пос. Кацевели), были оценены объемы смещения рекреационных зон на каждом километровом участке берега $V_{p i}$, а также безразмерные объемы $\bar{V}_{p i} = V_{p i} / \max \{V_{p i}\}$, $\max \{V_{p i}\} = V_{p 20} = 557 395 \text{ м}^3/\text{км}$. Далее рассчитывали показатель ассимилирующей способности рекреационной зоны

$$K_{ac i} = \bar{V}_{p i} / I_{\text{инт } i}, \quad (6)$$

на основе которого береговая рекреационная зона районировалась по пятибалльной шкале (табл. 3).

Наилучшие условия по ассимилирующей способности отмечены на 15% длины береговой линии (табл. 3, баллы III-V, $i=2, 7-9, 12, 20, 57, 59, 60$).

Наиболее высокие значения показателя $K_{ac i}$ в целом характерны для западной части Большой Ялты.

При разработке природоохранных мер и технологий следует различать два способа снятия нагрузок с прибрежной зоны моря: с помощью мероприятий, осуществляемых на водосборе, и путем мероприятий, проводимых в береговой зоне с максимальным использованием потенциала самоочищения естественных и искусственных морских биоценозов. Остаточная нагрузка, которая не снимается на водосборе, может уменьшаться за счет создания морских гидробиоинженерных систем и восстановления нарушенных естественных донных биоценозов. Предлагается в первом приближении рассчитывать гидробиоинженерные системы на основе площади биофильтрующей поверхности и фильтрующей способности искусственного биоценоза обрастания, исходя из биофильтрации одного объема рекреационной зоны на одном погонном километре берега за сутки.

Во втором приближении, учитывая рассчитанные значения $I_{\text{инт}}$, можно

Таблица 3

Распределение длин отрезков береговой линии по
балльности показателя $K_{ac i}$

Градации длины, км	Балльность $K_{ac i}$	Суммарная длина отрезков береговой линии	
		км	%
0-1	I	41	68,3
1-2	II	10	16,7
2-3	III	1	1,6
3-4	IV	3	5
>4	V	5	8,4

определить объем биофильтрации путем снятия определенного процента нагрузки.

Площадь биофильтрующих поверхностей, необходимая для фильтрации одного объема рекреационной зоны за сутки на i -м километровом участке берега, оценивалась по формуле

$$F_i = V_{p_i} / \varepsilon, \quad (7)$$

где ε — биофильтрационная способность плотного поселения мидий, равная в среднем $200 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ [2].

По удельной поверхности биопозитивных берегозащитных конструкций определялись необходимые их объемы для каждого участка берега

$$V_{ki} = F_i / \gamma, \quad (8)$$

где γ — удельная поверхность конструкций, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Рассматривались следующие варианты конструкций:

тетраподобная наброска с рассчитанной площадью поверхности тетраподов различных марок;

кубометровые ячеистые полые железобетонные блоки, $\gamma = 11,2 \text{ м}^2/\text{м}^3$;

кубометровые полые железобетонные блоки с укладкой в них однометровых отрезков синтетических труб, $\gamma = 37 \text{ м}^2/\text{м}^3$;

полимерные ячеистые конструкции (ячеистые элементы полимерной многооборотной тары, уложенные в кубометровый металлический каркас), $\gamma = 33 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Необходимое количество перечисленных инженерных конструкций на 1 км берега для данного региона колебалось в следующих пределах: тетраподов минимальной марки $m = 1,5 \text{ т}$ — от 80 до 620 (в среднем 150–250); ячеистых блоков — от 34 до 237 (50–100); блоков из 64 отрезков синтетических труб марки ПП110Л диаметром 0,11 м — от 11 до 72 (15–30); блоков с ячеистыми частями полимерных ящиков (ГОСТ 17358-80) — объемом от 11,4 до 80,5 $\text{м}^3/\text{км}$ (20–30). Рассчитана ориентировочная стоимость таких сооружений для каждого километра берега.

Предлагается размещать гидробиоинженерные конструкции в следующих зонах Южного берега Крыма: в рекреационной; устьевой области рек и временных водотоков; в местах выпусков ливневых и сточных вод глубиной не более 20 м; в окрестностях мысов; в портовых акваториях. В каждой зоне сооружения будут иметь свои конструктивные особенности.

На следующем этапе ставилась задача расчета объемов гидробиоинженерных сооружений исходя из условия снятия определенной доли нагрузки. В качестве фонового района (относительно чистая акватория) был выбран Голубой залив ($i = 7-13$), для которого на основе матрицы M подсчитан $I_{\text{инт}}^{\text{фон}} = 0,218$. Для всех участков со значением $I_{\text{инт } i} \leq 0,218$, предполагали фильтрацию одного объема рекреационной зоны за сутки. При $I_{\text{инт } i} > 0,218$ количество таких фильтраций N_i рассчитывалось из соотношения

$$(1 - \alpha)^{p_i} I_{\text{инт } i} = I_{\text{инт}}^{\text{фон}},$$

откуда

$$p_i = \ln(I_{\text{инт}}^{\text{фон}} / I_{\text{инт } i}) / \ln(1 - \alpha), \quad N_i = \{p_i\}, \quad (9)$$

где α — эффективность снятия нагрузки при биофильтрации одного объема рекреационной зоны за сутки в долях единицы, $\{p_i\}$ — наименьшее целое число, которое больше или равно p_i .

По формулам (9) выполнены расчеты при характерном для мидиевого биоценоза значении $\alpha = 0,8$.

Операция взятия целого числа позволяет оценивать объемы гидробио-

инженерных конструкций с некоторым запасом при гарантированном снятии антропогенных нагрузок до заданного уровня. Рассчитанные максимальные значения N_i не превышали двух суточных фильтроциклов для района Ялты ($i=21-23, 35-38, 41, 43-46, 48, 52, 53, 55$).

Условие фильтрации вод двух объемов рекреационной зоны в сутки имеет вид: $2 = \varepsilon F_i / V_{p,i}$, откуда $F_i = 2V_{p,i} / \varepsilon = 0,01V_{p,i} \text{ м}^2$. Таким образом, по сравнению с расчетами, проделанными в первом приближении при условии фильтрации одного объема рекреационной зоны, для вышеуказанных участков ($N_i=2$) необходимо удвоить площадь биофильтрующих поверхностей.

При решении проблемы предотвращения вторичного загрязнения береговой зоны отходами жизнедеятельности моллюсков — биофильтраторов (фекалии, псевдофекалии, отмершие моллюски) гидробиоинженерные морские системы могут рассматриваться как наиболее эффективные меры по нормализации экологического состояния морских акваторий. В этом должно помочь знание особенностей циркуляции водных масс (существование на траверсе мысов, бун и т. д., а также мощных компенсационных и разрывных течений будет способствовать выносу продуктов жизнедеятельности моллюсков за пределы береговой зоны), стимулирование развития сообществ детритофагов, а также технические решения по сбору биотложений и использованию их, например, в качестве удобрений.

Целесообразно поставить вопрос об обязательном включении элементов гидробиоинженерной защиты морских акваторий в проекты защиты берегов, портов, гаваней и др. Необходима также организация эколого-экономической экспертизы предпроектных и проектных решений в области морской береговой гидротехники.

При создании комплекса водоохраных и почвозащитных мероприятий для условий Южного берега Крыма (а также любых горных приморских районов) предлагается использовать принцип последовательного (позатального) снятия нагрузок на гидрологические системы, начиная с верхних частей водосборов, причем чем ниже высотный уровень, тем более тонкая очистка от взвешенных веществ и влекомых наносов необходима. Это позволит исключить нежелательные перегрузки на различные звенья природно-техногенных систем, включая сооружения по перехвату наносов.

Для Южного берега Крыма можно выделить четыре высотные зоны с характерными наборами водоохраных и почвозащитных технологий.

Верхняя зона — лесовосстановление, селезащита.

Средняя зона — наносозадерживающие и наносорегулирующие сооружения в средней части водосборов (на реках и временных водотоках), противэрозионные системы на сельскохозяйственных угодьях, локальные системы водоотведения и очистки поверхностного стока от крупных фракций взвеси на городской территории и промышленных площадках, включая южнобережное шоссе.

Нижняя зона — централизованные и локальные устьевые сооружения для сточных вод вблизи приурезовой зоны моря (доочистка, снятие нагрузки по мелкодисперсным взвесям и специфическим примесям).

Береговая зона моря — система гидробиоинженерной защиты (снятие нагрузки по мельчайшим взвесям, органическому веществу и т. д.), защита портовых акваторий от нефтяного загрязнения.

При реализации этого комплекса мероприятий на основе ранжирования нагрузок на различные звенья природных и техногенных систем решается вопрос об их очередности. При этом оказывается, что большую часть нагрузок можно снять с помощью организационно-правовых и профилактических мер, не требующих больших капитальных вложений.

Принципы последовательного снятия нагрузок, начиная с высотных зон ландшафтов, пространственного ранжирования интенсивностей нагруз-

зона на береговую зону моря, ландшафтов по степени загрязненности и источников загрязнения по интенсивности можно объединить в один дифференцированный подход к снижению антропогенных нагрузок на окружающую среду, который существенно отличается от традиционного интегрального подхода, предусматривающего обезвреживание загрязняющих веществ на конечной стадии их формирования без учета различия нагрузок и источников загрязнения.

Контроль и нейтрализация источников загрязнения должны стать основной стратегией природоохраны, так как они позволяют предотвращать нагрузки на все элементы природной среды одновременно.

Список литературы

1. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. М.: ВНИИ ВОДГЕО, ВНИИВО, 1983. 47 с.
2. *Кицак И. А.* Инженерная подготовка пляжей. Киев: Будівельник, 1979. 121 с.
3. *Уильямс Дж.* Основы контроля морских загрязнений. Л.: Судостроение, 1984. 135 с.
4. *Хомицкий В. В.* Природоохранные аспекты береговой гидротехники. Киев: Наук. думка, 1983. 275 с.

Ялтинский отдел Сочинского НИЦ
АН СССР «Управление развитием
рекреационных территорий и туризма»

Поступила в редакцию
14.03.90