Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ М. И. КАЛИНИНА

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сборник научных трудов

Ленинград
1982

с осушительных систем водах по отношению к предельно допустимым концентрациям имеют неоднозначные величины (см. таблицу). Наиболее опасными загрязнителями являются соединения азота в водах с территорий, используемых под пашни.

Результаты изучения качества воды, отводимой с осушаемых угодий, показывают, что проектирование и сельскохозяйственная эксплуатация мелиорированных земель должна вестись в соответствии с водоохранными требованиями. В настоящее время назрела необходимость разработки строго обоснованных водоохранных рекомендаций, учитывающих специфические условия мелиоративных мероприятий, повсеместно расширить наблюдения за выносом веществ с осушаемых территорий, откорректировать системы удобрений для осушаемых земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компаркскас И. И. О режиме и выщелачивании дренажным стоком питательных веществ на дренированных минеральных почвах.— Труды/ЛитНИИГиМ, 1966, т. V, с. 31—37.

2. Определение выноса питательных и водорастворимых веществ дренажным стоком осушительных систем. Научный отчет СевНИИГиМ.— Л., 1974.

3. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами.— М., 1975.

Н. И. Хрисанов, В. Д. Ногин
(Ленинградский политехнический институт)

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ В БАССЕЙНЕ ВОДОСБОРА РЕКИ С УЧЕТОМ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Планирование развития всех направлений хозяйственной деятельности в условиях изменяющихся природных комплексов в бассейнах водосбора водотоков необходимо осуществлять на основе региональных схем использования земельно-водных ресурсов. В этих схемах должно быть определено оптимальное соотношение экономических и экологических показателей для разных природно-хозяйственных комплексов, обеспечивающее рост общественного производства при жестких природоохранных ограничениях.

Одним из природоохранных ограничений является качество природных вод рассматриваемого бассейна. Поэтому поставлена задача разработки модели управления развитием сельскохозяйственного производства при соблюдении условия олиготрофности и олигосапробности водотока и замыкающего водоема — водоприемника.

На рис. 1 схематично показано размещение естественных и сельскохозяйственных угодий в водосборе водотока, которые в дальнейшем для сокращения будем называть j производством, подразумевая пашню, сенокос, пастбище, животноводческий комплекс, ферму и т. д., а в некоторых случаях и промышленные предприятия.

Предположим, что число всех типов производств данного бассейна равно n и будем считать, что j-й тип производства характеризуется «интенсивностью загрязнения» i-м ингредиентом, равной N_{ij}, $i = 1, 2, \ldots, m$; $j = 1, 2, \ldots, n$.

Для угодий различного назначения можно принять

$$N_{ij} = q_i F_j, \quad i = 1, 2, \ldots m, \qquad (1)$$

где q_i — удельный вынос i-го ингредиента с 1 га, $\frac{\text{мг}}{\text{га}\cdot\text{с}}$, а F_j — площадь j-го угодья, га.

Для животноводческих ферм

$$N_{ij} = q_i' p_j, \tag{2}$$

где q_i' — удельное поступление i-го ингредиента от 1 ед. скота, $\frac{\text{мг}}{\text{ед}\cdot\text{с}}$; p_j — общее поголовье скота на j-й ферме, ед.

Как правило, величины интенсивностей загрязнения $N_{1j}, N_{2j}, \ldots, N_{mj}$ одного и того же (j-го) типа производства взаимосвязаны друг с дру-

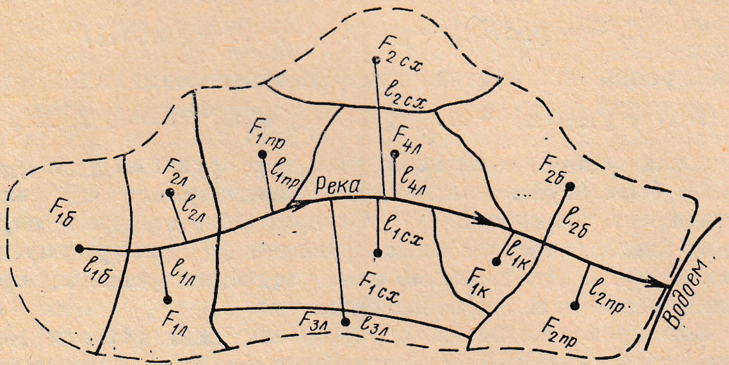

Рис. 1. Бассейн реки с участками различного земельного использования: б — болото; л — лес; пр. — промышленные предприятия; с. х. — сельскохозяйственные предприятия (пашня, сенокос, пастбище); к — животноводческие комплексы

гом. Более того, они составляют определенные пропорции (например, как химические компоненты вносимого удобрения):

$$N_{1j} : N_{2j} : \ldots : N_{mj} = k_{1j} : k_{2j} : \ldots : k_{mj},$$

что равносильно равенствам

$$\frac{N_{1j}}{k_{1j}} = \frac{N_{2j}}{k_{2j}} = \ldots = \frac{N_{mj}}{k_{mj}}, \quad j = 1, 2, \ldots, n, \tag{3}$$

где $k_{1j}, \ldots, k_{mj}$ — некоторые положительные числа, соответствующие j-му типу производства. Так, например, для интенсивностей вида (1) имеют место равенства

$$\frac{N_{1j}}{q_1} = \frac{N_{2j}}{q_2} = \ldots = \frac{N_{mj}}{q_m} = F_j.$$

Обозначим через $C_1^*, C_2^*, \ldots, C_m^*$ предельные допустимые значения концентраций соответствующих ингредиентов. В частности, это могут быть значения ПДК ($\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \ldots, \text{ПДК}_m$). Створ реки, в котором следует осуществлять контроль состояния качества воды (наличие биогенных элементов), будем называть контрольным створом (КС).

Компоненты загрязняющих биогенных веществ, поступающих с участков различного типа производств в водную систему, по водотокам доставляются в КС. При этом концентрация i-го ингредиента в КС, которую обозначим через $C_i^{\text{КС}}$, будет функционально зависеть от величин $N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}$. В общем случае эта зависимость описывается некоторыми функциями

$$C_i^{\text{КС}} = g_i(N_{11}, \ldots, N_{1n}, N_{21}, \ldots, N_{2n}, \ldots, N_{m1}, \ldots, N_{mn}).$$

Если считать, что при перемещении по водотокам различные ингредиенты не оказывают влияния друг на друга, то

$$C_i^{\text{КС}} = g_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}),\ i = 1, 2, \ldots, m.$$

В этом случае условие, состоящее в том, что концентрация i-го ингредиента в КС не превышает предельного значения C_i^*, $i = 1, 2, \ldots, m$, записывается в виде системы неравенств

$$g_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}) \leqslant C_i^*,\ i = 1, 2, \ldots, m. \qquad (4)$$

Если концентрация $C_i^{\text{КС}}$ есть результат суммарного загрязнения всех типов производств, то

$$C_i^{\text{СК}} = g_{i1}(N_{i1}) + g_{i2}(N_{i2}) + \ldots + g_{in}(N_{in})$$

и система ограничений, аналогичная (4), будет иметь вид

$$g_{i1}(N_{i1}) + g_{i2}(N_{i2}) + \ldots + g_{in}(N_{in}) \leqslant C_i^*,\ i = 1, 2, \ldots, m. \qquad (5)$$

Из физических соображений ясно, что все функции g_i и g_{ij} в (4) и (5) должны быть неубывающими, т. е. концентрация $C_i^{\text{КС}}$ не должна уменьшаться при увеличении N_{ij}. Следует отметить, что определение конкретного аналитического вида функций g_i или g_{ij} представляет сложную задачу. Один из возможных подходов решения приводится в заключительной части данной работы.

При формировании систем ограничений типа (4) или (5) можно учитывать неопределенные или случайные факторы, влияющие на концентрацию $C_i^{\text{КС}}$. Так, если $C_i^{\text{КС}}$ зависит не только от интенсивностей $N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}$, но и от неопределенного параметра θ_i (он может быть и векторным), изменение которого происходит в пределах множества Θ_i, то разумно потребовать, чтобы концентрация $C_i^{\text{КС}}$ при самом неблагоприятном значении θ_i все же не превышала предельного значения C_i^*:

$$\max_{\theta_i \in \Theta_i} g_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}, \theta_i) \leqslant C_i^*,\ i = 1, 2, \ldots, m. \qquad (6)$$

Когда $C_i^{\text{КС}} = g_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}, \xi_i)$, где ξ_i — некоторая случайная величина, то $C_i^{\text{КС}}$ также будет случайной величиной и один из вариантов системы ограничений примет вид

$$Eg_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}, \xi_i) \leqslant C_i^*,\ i = 1, 2, \ldots, m, \qquad (7)$$

где E — символ математического ожидания. Поскольку при фиксированном среднем значении может быть довольно значительный «разброс» концентрации $C_i^{\text{КС}}$, то (7) следует дополнить ограничениями типа

$$Dg_i(N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{in}, \xi_i) \leqslant D_i,\ i = 1, 2, \ldots, m,$$

где D — символ дисперсии, а D_i — достаточно малое положительное число. Аналогичным образом можно учитывать неопределенные или случайные параметры для системы ограничений вида (5).

Перейдем к возможным постановкам задач оптимизации. Для определенности будем рассматривать систему неравенств (4) вместе с равенствами (3). Используя (3), все $N_{2j}, \ldots, N_{mj}$, $j = 1, 2, \ldots, n$ можно выразить через $N_{11}, N_{12}, \ldots, N_{1n}$ и подставить найденные значения в (4). Тогда в (4) независимыми переменными будут $N_{11}, N_{12}, \ldots, N_{1n}$. Обозначив их через $z_1, z_2, \ldots, z_n$, перепишем (4) в виде

$$h_i(z_1, z_2, \ldots, z_n) \leqslant C_i^*,\ i = 1, 2, \ldots, m,$$

где

$$h_1(z_1, \ldots, z_n) = g_1(N_{11}, \ldots, N_{1n});$$

$$h_2(z_1, \ldots, z_n) = g_2\left(\frac{k_{21}}{k_{11}} N_{11}, \ldots, \frac{k_{2n}}{k_{1n}} N_{1n}\right)$$

и т. д. Пусть Z — множество всех векторов $z \in R^n$ с неотрицательными компонентами, удовлетворяющих (4). Случаи, когда Z — пустое множество, либо когда оно содержит единственный элемент, не представляют интереса для исследований. Поэтому далее будем предполагать, что Z включает по крайней мере два элемента (Z может состоять и из бесчисленного множества элементов). Это соответствует положению, когда имеется неединственный набор «допустимых» интенсивностей, т. е. интенсивностей, не приводящих к превышению концентраций ингредиентов сверх заданного уровня C_1^*, C_2^*, ..., C_m. В связи с этим возникает вопрос о выборе среди всех элементов множества Z такого элемента $z^0 \in Z$, который был бы в определенном смысле «наилучшим», оптимальным. Для этого нужно сформулировать задачу оптимизации, целевая функция которой реализовала бы представления о «наилучшем» решении. Здесь не может быть однозначного подхода, поэтому мы предложим несколько возможных вариантов подобной реализации.

Очевидно, следует выбирать такой $z^0 \in Z$, чтобы его компоненты (интенсивности N_{1j}) были бы наибольшими. Следовательно, имеем n критериев (целевых функций) вида

$$f_i(z) = z_i, \; i = 1, 2, \ldots, n,$$

которые нужно максимизировать. В случае, когда найдется такой $z^0 \in Z$, что

$$f_i(z^0) = \max_{z \in Z} f_i(z), \; i = 1, 2, \ldots, n, \tag{8}$$

это решение z^0, безусловно, следует считать «наилучшим». Однако такие идеальные случаи крайне редки. Как правило, вектора z^0, максимизирующего все критерии одновременно, не существует.

Нормализуем, т. е. приведем к общей шкале, исходные критерии. Для этого введем числа

$$f_i^{\max} = \max_{z \in Z} f_i(z), \; i = 1, 2, \ldots, n$$

и рассмотрим нормализованные критерии

$$\tilde{f}_i(z) = \frac{f_i(z)}{f_i\max}, \quad i = 1, 2, \ldots, n.$$

Задача 1. Найти решение $z^0 \in Z$, исходя из условия

$$\sum_{i=1}^{n} \mu_i \tilde{f}_i(z^0) = \max_{z \in Z} \sum_{i=1}^{n} \mu_i \tilde{f}_i(z). \tag{9}$$

Здесь положительные числа $\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n$ можно трактовать как «весовые коэффициенты» критериев $\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \ldots, \tilde{f}_n$. Поскольку

$$\tilde{f}_i(z) = \frac{z_i}{f_i^{\max}} = \frac{N_{1i}}{f_i^{\max}}, \quad i = 1, 2, \ldots, n,$$

эти коэффициенты можно рассматривать как весовые коэффициенты интенсивностей соответствующих производств. Они могут быть назначены ответственным лицом либо определены, например, методом экспертных оценок. В частности, если все производства считаются равноценными, то равенство (9) принимает вид

$$\sum_{i=1}^{n} \tilde{f}_i(z^0) = \max_{z \in Z} \sum_{i=1}^{n} \tilde{f}_i(z).$$

Задача 2. Найти решение $z^0 \in Z$, удовлетворяющее равенству

$$\min\{\tilde{f}_1(z^0), \ldots, \tilde{f}_n(z^0)\} = \max_{z \in Z} \min\{\tilde{f}_1(z), \ldots, \tilde{f}_n(z)\}. \quad (10)$$

Эта задача соответствует ситуации, когда нужно получить приемлемый набор интенсивностей, в котором самая небольшая принимает наибольшее возможное значение.

Обозначим

$$\tilde{f}(z) = (\tilde{f}_1(z), \ldots, \tilde{f}_n(z)) \in R^n, \ \tilde{f}^{\max} = (1,1, \ldots, 1) \in R^n.$$

Поскольку функции $\tilde{f}_i$ нормализованы, то $\tilde{f}_i(z) \leqslant 1$, $i = 1, 2, \ldots, n$ при всех $z \in Z$. Расстояние в R^n от точки $\tilde{f}(z)$ до $\tilde{f}^{\max}$ вычисляется по формуле

$$\sqrt{(1-\tilde{f}_1(z))^2 + \ldots + (1-\tilde{f}_n(z))^2},$$

где точку $\tilde{f}^{\max}$ можно интерпретировать как «идеальную». Задача минимизации расстояния от допустимой точки $\tilde{f}(z)$ до «идеальной» может быть сформулирована следующим образом.

Задача 3. Найти решение $z^0 \in Z$ из условия

$$\sum_{i=1}^{n} (1-\tilde{f}_i(z^0))^2 = \min_{z \in Z} \sum_{i=1}^{n} (1-\tilde{f}_i(z))^2. \quad (11)$$

Заметим, что аналогичные постановки оптимизационных задач можно получить, беря за основу не (4), а другие типы систем неравенств.

Формирование функций g_i или g_{ij}, входящих в ограничения для множества Z, может быть произведено с учетом комплексного процесса самоочищения, включающего смешение и разбавление вод, биологическое окисление и т. д. Например, если считать, что i-й ингредиент, выделяемый 1-м типом производства, попадает в водотоки, проходящие по его территории, то концентрация C_{i1} в точке 1 (рис. 2) будет равна

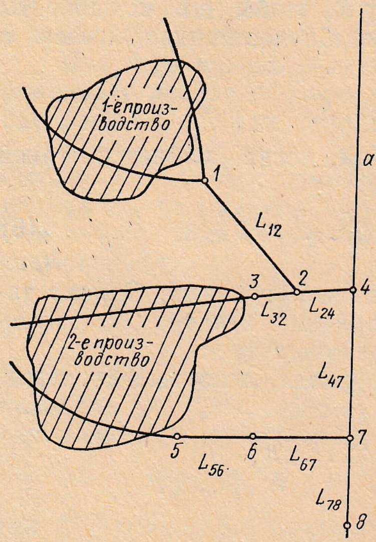

Рис. 2. Упрощенная схема поступления биогенных веществ с сельскохозяйственных объектов

$$C_{i1} = \frac{N_{i1}}{Q_1} = \frac{q_i F_1}{Q_1},$$

где Q_1 — расход воды в точке *1*, т. е. в самом начале участка *1 — 2*. По мере движения i-го ингредиента в результате процесса самоочищения его концентрация будет понижаться. Зависимость концентрации нитратов, нитритов и фосфатов в конечной точке участка (обозначим ее через $\tilde{C}_{i1}$) от концентрации в начальной точке (C_{i1}) можно выразить формулой

$$\tilde{C}_{i1} = C_{i1} \exp\left(-\alpha_{12} \frac{L_{12}}{V_{12}}\right), \tag{12}$$

где L_{12} — длина участка $1-2$; V_{12} — средняя скорость течения на участке $1-2$; α_{12} — коэффициент самоочищения на том же участке.

Итак, для построения функций g_i необходимы сведения о величинах Q_j, L_{ij}, V_{ij}, α_{ij}, которые должны рассматриваться как исходная информация. Продвигаясь от начальных точек, соответствующих производствам, расположенным в верховьях водотока, используя уравнение баланса и формулу типа (12), можно получить значение $C_i^{\text{КС}}$ как функцию $N_{i1}, N_{i2}, \ldots, N_{im}$, т. е. функцию g_i.

В дальнейшей работе намечается уточнение всех элементов, участвующих в построении модели, и выполнение практических расчетов по частным водосборам водотоков юго-восточной части Приладожья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрисанов Н. И., Камбуров В. А. К методике составления бассейновых схем рационального природопользования в условиях Нечерноземной зоны РСФСР.— В кн.: Докл. VII съезда Географического общества СССР.— Л., 1980.
2. Моисеев Н. Н., Иванилов Ю. П., Столярова Е. М. Методы оптимизации.— М.: Наука, 1978.
3. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач.— М.: Наука, 1982.
4. Хрисанов Н. И., Соколов И. П. К вопросу расчета водооборотных систем с учетом обеспечения качества воды.— В сб.: Охрана окружающей среды от загрязнения промышленными выбросами ЦБП.— Л., 1980.
5. Соколов И. П. Самоочищающая способность гидромелиоративных систем.— В сб.: Машинное осушение в зоне затопляемых земель.— Л., 1980.

Н. К. Краюхин, Б. А. Соколов
(Ленинградский политехнический институт)

МЕТОДИКА УЧЕТА ПРИРОДООХРАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В последнее время увеличилось строительство крупных оросительных систем. В зону их возведения стали попадать поселки, леса, парки, промышленные комплексы, различные природоохранные ландшафты. Сравнивая различные варианты оросительной сети, на стадии проектирования необходимо учитывать нарушение природоохранных требований, производимое при строительстве и эксплуатации сети.

При выборе варианта трассировки закрытой оросительной сети (ЗОРС) могут появиться дополнительные затраты, связанные с прохождением трасс трубопроводов через объекты.

Насосные станции крупных ЗОРС потребляют электроэнергию базисной части графика нагрузки энергетической системы, которая обеспечивается крупными тепловыми электростанциями (КЭС). Правильный выбор конфигурации сети, режимов работы гидрантов и диаметров труб, в конечном итоге, уменьшает величину выбросов вредных веществ КЭС в атмосферу. Следовательно, мощность и режим водоподачи насосной станции влияют на загрязнение окружающей среды через КЭС, снабжающие их электроэнергией.

Опыт эксплуатации ЗОРС показывает, что урожайность в районе прокладки трубопроводов значительно ниже, чем на остальной орошаемой площади. Для восстановления урожайности необходима дополнительная подкормка удобрениями, что связано с дополнительными за-