

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА

В.Н. Маркин, В.В. Шабанов

# **РАНЖИРОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Монография

Москва  
Издательство РГАУ-МСХА  
2016

ББК 26.220.8  
УДК 628.31: 631.6.02: 504.4.06  
М 267

**Маркин В.Н., Шабанов В.В. Ранжирование водоохранных мероприятий: Монография** / В.Н. Маркин. В.В. Шабанов. М.: Изд-во. РГАУ-МСХА, 2016. 83 с.

В монографии рассматриваются вопросы ранжирования диффузных источников загрязнения водных объектов и методика эколого-экономического обоснования водоохранных мероприятий. Экологическое обоснование использует критерий эффективности водоохранных мероприятий. Это позволяет выявить комплексы мероприятий методами ранжирования.

Монография представляет интерес для проектировщиков, научных работников и студентов, которые занимаются вопросами охраны природы.

In the monograph, water body pollution by diffusion sources are considered. Ranging of diffusion sources and the technique of an ecology-economic justification of water protection actions are given. The ecological justification use a criterion of protecting action efficiency. It allows to reveal the complexes of the actions by ranging methods.

Designers, scientists and students who are engaged in the field of nature protection can use the monograph.

Фотографии на обложке из сайтов:

<http://index.ru/stat/article/1VMdTYN9uQs>(голубое озеро.Самарская область);  
<http://www.aif.ru/society/gallery/1436579#id=5427022>(рек КааХем);  
<http://www.aif.ru/society/gallery/1436579#id=5427012>(Сейд озеро);  
<http://www.aif.ru/society/gallery/1436579#id=5427018>(водопад Кивач)

**ISBN 978-5-9675-1460-9**

© Маркин В.Н., Шабанов В.В., 2016  
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
им. К.А. Тимирязева, 2016  
© Издательство РГАУ-МСХА, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1. МЕТОДЫ РАНЖИРОВАНИЯ</b> .....	9
<b>1.1. Классификация методов ранжирования</b> .....	9
<b>1.1.1. Эвристические методы</b> .....	9
<b>1.1.2. Оптимизационные методы</b> .....	11
<b>1.1.2.1 Фасетные методы</b> .....	12
<b>1.1.2.2. Иерархические методы</b> .....	12
<b>1.1.3. Примеры практического использования методов ранжирования</b> .....	19
<b>1.1.3.1.Учёт стохастичности факторов типизации</b> .....	19
<b>1.1.3.2 Использование комплексных показателей для характеристики источников загрязнения</b> .....	20
<b>2. ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ</b> .....	24
<b>3. СНИЖЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СО СТОРОНЫ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	29
<b>4. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ</b> .....	34
<b>5. ПРИМЕР РАНЖИРОВАНИЯ ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ</b> .....	37
<b>5.1 Использование иерархического агломеративного метода ближайшего соседа</b> .....	41
<b>5.2.Ранжирование водоохранных мероприятий методом попарного среднего</b> .....	46
<b>6. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВЕДЕНИЮ МОНИТОРИНГА ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ</b> .....	50
<b>6.1. Общие положения</b> .....	52
<b>6.2. Расположение пунктов наблюдений</b> .....	53
<b>6.3. Состав мониторинга в зоне источника диффузного загрязнения</b> ... 55	
<b>6.4. Состав мониторинга в транзитной зоне диффузного источника загрязнений</b> .....	55
<b>6.5. Мониторинг качества воды водного объекта</b> .....	57
<b>6.6. Методы мониторинга</b> .....	58
<b>6.6.1 Методы биотестирования состояния водных объектов</b> .....	58
<b>6.6.2 Расчётные методы мониторинга</b> .....	58

6.6.3 Методы аэрокосмического наблюдения .....	59
<b>7. ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К РАНЖИРОВАНИЮ ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ .....</b>	<b>61</b>
7.1. Виды барьеров и их классификация.....	66
7.2. Реализация биогеохимических барьеров .....	68
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>77</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Диффузионные (в литературе, так же, используются названия: площадные, рассредоточенные) источники загрязнения – это не канализованные территории, с которых загрязняющие вещества поступают в водные объекты. К ним относятся территории, активно используемые человеком: сельскохозяйственные угодья, свалки, селитебные территории и др. Воздействие данных источников на водные объекты определяется:

- A.* спецификой формирования объёмов стока воды и веществ;
- B.* характерными особенностями режима стока;
- C.* специфическими условиями поступления веществ в водный объект (в том числе наличием биогеохимических барьеров);
- D.* вероятностным характером стока и распределения загрязняющих веществ на водосборе.

*A.* Специфика формирования объёмов стока воды и веществ на площадях связана, в основном, с выпадением осадков и таянием снега. Это определяет характер стока (периодичность, интенсивность, продолжительность). Поступающие на конкретную площадь объёмы воды формируют потоки: поверхностного и подземного стока.

Поверхностный сток, по сравнению с подземным, обладает большей энергетической насыщенностью, а значит большими возможностями к вымыву веществ из почво-грунтов и возникновению водной эрозии, что определяет его большую загрязнённость.

Соотношение между поверхностным и поверхностным стоком определяется факторами:

- механический состав почво-грунтов;
- уклон поверхности земли;
- вид рельефа местности (наличие мезо и макроэлементов, что определяет ландшафтную канализованность территории);
- покрытость территории растительностью, её вид и продуктивность (определяет гидравлическую шероховатость склонов).

Механический состав почво-грунтов определяет условия перехода поверхностного стока, в подземный (почвенный и грунтовый). Более тяжёлые грунты потенциально опаснее для водных объектов,

по сравнению с более лёгкими, так как способствуют формированию больших объёмов поверхностного (более загрязнённого) стока.

Уклон поверхности земли представляет важную, с точки зрения гидроэнергопотенциала, характеристику потока воды. При прочих равных условиях, чем больше уклон, тем мощнее (энергетически) поверхностный поток. Вместе с покрытостью растительностью и силой сцепления частиц (зависящей от механического состава) уклон местности определяет эрозионную опасность, а значит количество твёрдых частиц транспортируемых потоком.

В. Характерные особенности режима стока определяются сезонным характером выпадения осадков и таянием снега. Активное протекание процессов формирования поверхностного и грунтового стока происходит в тёплый период времени весна, лето, осень. Причём весной, на территории водосборной площади бассейнов водных объектов, формируется, в условиях России, до 60...80% годового стока (рис. 1).

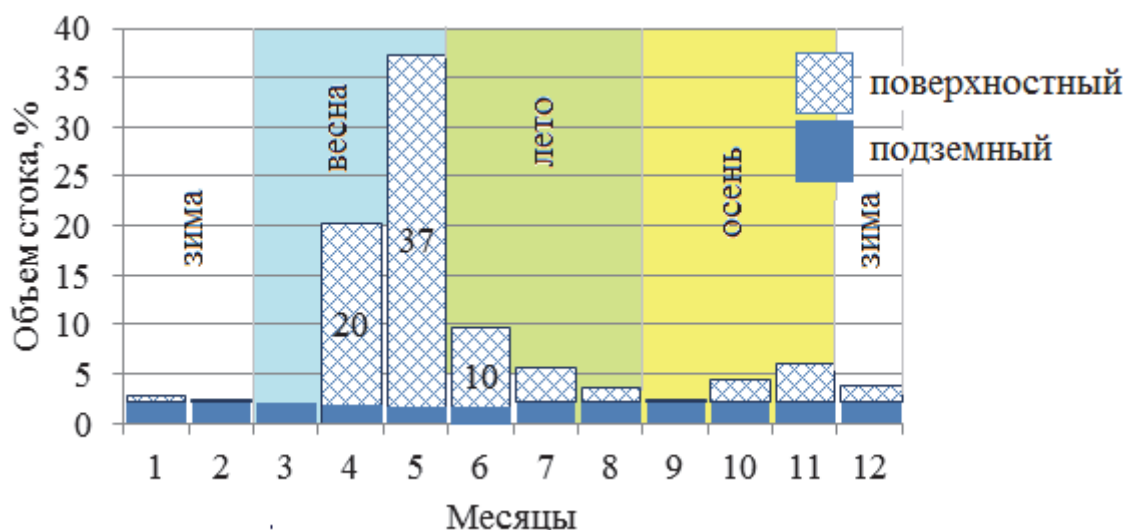


Рис.1. Типичный гидрограф внутригодового стока реки и его составляющие: поверхностный и подземный сток

С. Специфические условия поступления веществ в водный объект определяются рельефом местности, в частности наличием мезо и макроформ. Макроформы (овраги, лощины, ложбины, тальвеги и др.) характеризуют расчленённость рельефа (что приводит к формированию относительно организованных потоков воды и тем самым превращать их в полностью рассредоточенный сток). Мезоформы не приводят к выраженному формированию сосредоточенных потоков, но могут способствовать струйчатому характеру стока по склону и рассредоточенному поступлению в водные объекты.

Наличие на пути потока биогеохимических барьеров, может менять не только физические, но и химические свойства потоков [Шабанов, Бунина, 2005]

*Д.* Вероятностный характер стока определяется формирующими его факторами, которые случайны по своей природе [Шабанов, 1971]. Случайный характер стока связан с неоднородностью распределения стоковых характеристик (интенсивность снеготаяния, количество и продолжительность выпадения осадков, почвенная неоднородность и др.). Это обстоятельство позволяет судить о протекающих процессах загрязнения водных объектов, используя вероятностные методы.

Диффузный сток формируется как поверхностный и подземный поток. Это во многом определяет объёмы и качественный состав, а так же характеризует самоочищающую способность водосборов. Чем она выше, тем меньше веществ задерживается на территории (водосбор очищается от веществ, сбрасывая их в водные объекты),увеличивая опасность загрязнения водного объекта [Вершинская, Шабанов, Маркин, 2015]. При этом большую роль в самоочищении водосборов играют почвы, представляя биогеохимический барьер на пути движения загрязнителей.

Наибольшую опасность для водных объектов представляет поверхностный сток ( $W_{пов}$ ), содержащий достаточно большой объем загрязняющих веществ ( $G$ ). Факторами, характеризующими объем поверхностного стока, являются:

- количество поступающей на территорию воды ( $O_c$ ) – данный фактор представляет причину образования стока;
- коэффициент фильтрации ( $k_f$ ) – характеризует поровое пространство почво-грунтов;
- уклон ( $I$ ) и шероховатость склона ( $n_{ск}$ ) – учитывают скоростные характеристики поверхностного потока;
- характер рельефа ( $P$ ) – через микро-, мезо- и макроформы определяет канализованность территории.

$$W_{пов}=f(O_c, k_f, I, n_{ск}, P) \quad (1)$$

Коэффициент фильтрации, уклон и шероховатость склона, характер рельефа – определяют условия формирования стока, в то время как количество поступающей воды является причиной его образования. Причём, такие факторы как  $I$ ,  $n_{ск}$ ,  $P$  – характеризуют эрозионную опасность, а значит степень насыщенности потока взвешенными и другими веществами.

Объем загрязняющих веществ ( $G$ ), влекаемый потоком воды от диффузионного источника, в свою очередь практически пропорционально зависит от объема стока воды (что говорит об относительной постоянности концентрации веществ в потоке) и содержания загрязнителей в почво-грунтах ( $C$ ):

$$G=F(W_{\text{пов}}, C) \quad (2)$$

Типизация (ранжирование) диффузных источников загрязнения водных объектов следует проводить на основе:

- характеристик (например, указанных выше), которые отражают потенциальную опасность;
- вклада в изменение качества воды водного объекта, что отражает их фактическую опасность и актуально в водохозяйственной практике.



# 1. МЕТОДЫ РАНЖИРОВАНИЯ

Ранжирование – сортировка характеристик объекта в соответствии с убыванием релевантности (схожести) между ними по задаваемому признаку. Ранжирование диффузионных источников загрязнения водных ресурсов проводится с целью оценки их опасности и формирования общих водоохранных мероприятий для каждого выделенного ранга источников. В этом смысле понятие ранжирование сходно с понятиями классификации и типизации. (*Типизация – обоснованное сведение многообразия избранных типов к не большому числу. Классификация – систематическое деление и упорядочение характеристик и объектов*).

Обзорная информация о методах ранжирования (классификации) достаточно подробно рассмотрена в работах [Кожанов и др., 2012; Шабанов, 1969; Шабанов, Бунина, 2005]. Остановимся только на некоторых, используемых в практике водохозяйственного и природоохранного районирования.

## 1.1. Классификация методов ранжирования

Методы классификации делятся, по способу задания классификационного признака, на эвристические и оптимизационные. По способу объединения данных или объектов выделяют дивизимные<sup>1</sup>, агломеративные<sup>2</sup> и итеративные<sup>3</sup> (Методы классификации [Электронный ресурс]. – Портал искусственного интеллекта. – Режим доступа <http://www.aiportal> (дата обращения 25.02.2016)).

### 1.1.1. Эвристические методы

Эвристические методы основаны на опыте и интуиции человека. Классификационный признак в этих алгоритмах в явном виде не задается. Эвристические алгоритмы реализуют процедуры, обладающие рациональным смыслом и приводящие в конкретных случаях к хорошим результатам на практике. Данный метод используется для качественного разделения объектов. Например, для деления источников загрязнения водных объектов (точечных или

---

<sup>1</sup>Дивизимные – это методы последовательного деления исходных элементов и соответствующим увеличением числа кластеров.

<sup>2</sup>Агломеративные – это методы последовательного объединения исходных элементов и соответствующим уменьшением числа кластеров

<sup>3</sup>Итеративные методы – заключаются в разделении набора данных на определенное количество кластеров, на основе определения их границ или минимизации меры различия объектов.

диффузных) по периодичности и продолжительности действия, интенсивности и допустимости воздействия.

В работе [Вершинская, Шабанов, Маркин, 2007] сделано районирование водосборной площади реки Иртыш по потенциалу самоочищения природной среды. Потенциал самоочищения выступает как интегральная экологическая характеристика процессов и явлений, которые возникают при техногенном загрязнении. Методическое решение данной задачи осуществляется эмпирически, на основе анализа структурной организации природных систем, включающих радиальную и латеральную миграцию потоков. Так, экологическое состояние водного объекта определяется разнонаправленными процессами:

- способностью природной среды водосборных площадей удерживать (депонировать) в себе загрязняющие вещества;
- способностью выноса веществ с водосбора радиальными и латеральными потоками.

Депонирование веществ характеризуется потенциальной активностью, которая зависит от внутренних (внутрисистемных) факторов (например, строение почвенного поглощающего комплекса, щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия, ботанический состав растений, степень разложения органической массы). При этом активность структурных элементов (факторов) зависит от наличия миграционной фазы – воды, обусловленной не только атмосферными осадками, но и другими типами водного питания водосборных площадей. В то же время каждый тип миграционных потоков определяется различными факторами. Например, специфика радиального перемещения поллютантов зависит от: гравитации, плёночно-капиллярных сил, пористости и трещиноватости, радиальных геохимических барьеров в профиле почв и т.д. Процессы радиальной миграции, зависимых и независимых мигрантов, осложняются наличием в почвах экранирующих – «запирающих» геохимических барьеров, переводящих радиальные потоки в латеральные внутрипочвенные и которые впоследствии могут выйти на поверхность.

Латеральные миграционные потоки представляют собой естественные дренажные системы всей водосборной площади водного объекта. Любое техногенное вмешательство в структуру поверхностных миграционных каналов на водосборной площади влечёт за

собой цепную реакцию экологических нарушений в её природной среде, а также в конечном транс – аккумулятивном водном объекте.

Таблица 1.1

**Потенциальная активность почв и водосборных площадей реки  
Иртыш**

Морфогенетические структуры	Потенциальная активность самоочищения ведущих почв	Потенциальная активность самоочищения водосборных площадей	
		Радиальный сток	Латеральный сток
Предгорная равнина	Высокая	Средняя	высокая
Плато	высокая - средняя	Средняя	высокая - заторможенная
Равнины	средняя - низкая	Средняя	средняя - низкая
Низменности	заторможенная	Низкая	средняя

**1.1.2. Оптимизационные методы**

Оптимизационные методы ранжирования используют некоторую явную функцию, позволяющую разделить характеристики, путём поиска её экстремальных значений. Данные методы предпочтительнее в том случае, когда рассматриваются большие массивы разнородных данных, проводится многокритериальное деление с целым набором ограничений. Например, водохозяйственное районирование приоритетности водообеспечения отраслей экономики при дефиците водных ресурсов. Данные методы представляют сложность в формировании оптимизационной функции (которая в общем случае представляется в виде функционала, т.е. функции функций), параметризации степени «близости» данных или объектов оптимизации, установление критериев сходства (оптимизации).

Алгоритм использования оптимизационных методов ранжирования включает элементы:

- выделяется классификационный признак или его показатели;
- разрабатывается функционал;
- накладываются ограничения;
- определяется механизм поиска результирующего разбиения.

Например, для оценки приоритетности вододеления классификационным признаком служит объем подаваемый отраслям экономики воды. Функционал определяется зависимостью суммарных экономических потерь в зависимости от объёмов ограничений в воде. При этом накладываются ограничения на ресурс воды и максимальный объем ограничений в воде. Последовательность разбиения заключается в определении порядка приоритетности по критерию минимизации суммарных экономических потерь.

Оптимизационные методы классификации используют механизмы кластерного анализа [Вапник, Червоненкис, 1974]. **Кластерный анализ** – это совокупность методов, позволяющих классифицировать исходный набор переменных. Выделяется два подхода: фасетный и иерархический.

#### 1.1.2.1 Фасетные методы

Фасетные методы – реализует параллельное разделение множества объектов на независимые классификационные группы, на основе последовательного сравнения значений с границами выделенных групп. Образование группы, в этом случае, всегда связано с указанием ее границ по каждому признаку отдельно. Основным преимуществом данного метода является гибкость структуры. Изменения в любом из фасетов (*отдельном определяющем аспекте пространства значений*) не оказывают существенного влияния на все остальные. Возможность агрегации объектов и осуществления информационного поиска по любому сочетанию фасетов.

Однозначность классификационного деления в данном случае подразумевает использование только первостепенных признаков, которые определяют конкретный объект. Другими словами сходство между объектами отмечается только в случае, когда оно отмечено по всем признакам. В водохозяйственной практике это имеет место, например, в случае типизации рек по внутригодовому распределению стока. Однако чаще рассматриваются случаи влияния не только прямого, но и косвенного воздействия, т.е. вторичных факторов. Например, деформация русла рек зависит от расходов воды, при этом на устойчивость берегов влияет скорость течения и уровенный режим, которые в свою очередь определяются расходом.

#### 1.1.2.2. Иерархические методы

Иерархические методы – методы, в которых заданное множество последовательно делится на подчинённые подмножества, по-

степенно конкретизируя объект классификации. Основанием деления служит некоторый выбранный признак. Основными преимуществами иерархических методов является большая информационная ёмкость, возможность создания для объектов классификации мнемонических кодов, несущих смысловую нагрузку, учёт влияния прямых и опосредованных факторов.

Недостатком иерархической классификации является слабая гибкость структуры, обусловленная фиксированным основанием деления и заранее установленным порядком следования, не допускающим включение новых объектов и классификационных группировок. Таким образом, при изменении состава объектов классификации и характеристик с помощью классификационных задач, требуется коренная переработка всей классификационной схемы.

Иерархические методы используются, например: в определителях растений; при разработке алгоритмов действий.

К иерархическим методам относятся следующие (Научная библиотека избранных естественнонаучных изданий РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://stu.sernam.ru/book\\_fan1.php?id=81](http://stu.sernam.ru/book_fan1.php?id=81) (дата обращения 10.04.2016)).

**1. Агломеративные (объединяющие) методы** – последовательно объединяют отдельные объекты в группы (кластеры). Данные методы наиболее распространены. Их сущность заключается в рассмотрении каждого объекта выборки как отдельного кластера. Процесс объединения кластеров происходит последовательно. Наиболее близкие объекты объединяются на основании матрицы расстояний или матрицы сходства. Если матрица первоначально имеет размерность  $(m \times m)$ , то полностью процесс кластеризации завершается за  $(m-1)$  шагов. Последовательность объединения легко поддаётся геометрической интерпретации и может быть представлена в виде дендрограммы (дерево целей). На дендрограмме указывается мера сходства (расстояние), при котором произошло объединение.

Методы иерархического кластерного анализа различаются используемыми мерами сходства (различия) и алгоритмами классификации. Наиболее распространёнными алгоритмами являются: **метод ближайшего соседа; взвешенного попарного среднего; наиболее удалённых соседей** [<http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=KNN>]. Суть ме-



тодов заключается том, что классифицируемый объект относится к той группе выборки, для которой он имеет максимальное сходство. Методы отличаются определением нового объединённого кластера, который меняет свои характеристики (в качестве параметров сходства выбирается имеющееся значение, среднее или максимальное).

**Пример использования метода ближайшего соседа.** Пусть имеются четыре источника загрязнения водного объекта, каждый из которых характеризуется объёмом загрязняющего вещества ( $G_i$ ). Данные объёмы соответствуют или превышают объём предельно допустимого сброса (ПДС<sub>*i*</sub>):  $G_1/\text{ПДС}_1=2,5$ ;  $G_2/\text{ПДС}_2=3$ ;  $G_3/\text{ПДС}_3=1,8$ ;  $G_4/\text{ПДС}_4=1,3$ . Расстояние (сходство) между источниками можно определить кратно величине ПДС:  $<1$ ;  $1 \dots 2$ ;  $>2$ . С помощью соотношения  $(G_i \times \text{ПДС}_{i+1}) / (G_{i+1} \times \text{ПДС}_i)$  строится матрица сходства источников (диагональ обнуляется):

Источники	1	2	3	4
1	0	<b>0,88</b>	1,38	1,67
2	<b>0,88</b>	0	1,67	2,03
3	1,38	1,67	0	1,38
4	1,67	2,03	1,38	0

В данной матрице каждый объект представляет собой отдельный кластер: 1, 2, 3, 4. Минимальное расстояние (максимальное сходство) наблюдается между 1 и 2 источниками. Для второго шага матрица преформируется с учётом объединения 1 и 2 источников в кластер (1, 2):

Источник	1,2	3	4
1,2	0	1,67	2,03
3	1,67	0	<b>1,38</b>
4	2,03	<b>1,38</b>	0

На втором шаге объединяются в кластер 3 и 4 источники. Проводится третий перерасчёт матрицы расстояний с учётом нового кластера (3, 4):

Источник	1,2	3,4
1,2	0	<b>1,67</b>
3,4	<b>1,67</b>	0

На третьем шаге расстояние между кластерами равно 1,67 – это расстояние между 2 и 3 объектом. Образование кластеров за-

кончено. Результат классификации методом ближайшего соседа представлен в виде дендрограммы (рис. 1.1).

**Метод взвешенного попарного среднего** отличается от метода ближайшего соседа тем, что объединённые признаки или объекты образуют новый кластер, который может учитывать неодинаковость критериев сходства между объектами. Алгоритм классификации включает следующие шаги. Рассчитывается матрица расстояний между объектами, в которой по минимальному расстоянию определяются близкие кластеры (U и V).

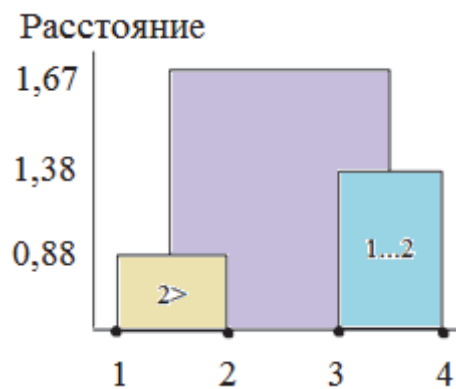


Рис. 1.1. Дендрограмма источников загрязнения по кратности превышения ПДС: <1; 1...2; >2

Найденные кластеры объединяются, образуя новый кластер K. Строки и столбцы, соответствующие кластерам U и V, удаляются из матрицы расстояний, и добавляется новая строка и новый столбец, соответствующие кластеру K. Определяется удалённость (расстояние D) других кластеров W от кластера K по формуле:

$$D[(u,v),w] = (D(u,v) + D(v,w)) / 2$$

В результате матрица сокращается на одну строку и один столбец. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будут объединены все кластеры.

Пример. Требуется классифицировать места поступления загрязняющих веществ в водный объект от рассредоточенного источника для оптимизации выбора водоохраных мероприятий. Для этого определяется интенсивность поступления веществ ( $g_i$ ) на разных расстояниях вдоль береговой линии:  $g_1=0,90$  мг/л·с;  $g_2=3,06$  мг/л·с;  $g_3=5,03$  мг/л·с;  $g_4=7,32$  мг/л·с;  $g_5=3,08$  мг/л·с. Допустимая по условию самоочищения воды интенсивность поступления веществ равны 1 мг/л·с. Сходство точек определяется относительно допустимого значения:  $L_{i+1} = g_{i+1} - 1$  (для первой точки интенсивность

меньше допустимой, поэтому  $L_1$  принимается равной 0). В результате получена матрица сходства.

Расстояние	1	2	3	4	5
1	0	<b>2.06</b>	4.03	6.32	2.08
2	<b>2.06</b>	0	3.50	4.12	5.43
3	4.03	3.50	0	2.25	3.65
4	6.32	4.12	2.25	0	4.81
5	2.08	5.43	3.65	4.81	0

Каждый объект матрицы представляет собой отдельный кластер: 1, 2, 3, 4 и 5. Согласно критерию классификации, объединение происходит по наименьшему расстоянию. На этом шаге объединяются кластеры 1 и 2. Расстояние объединения – 2,06. Необходимо произвести перерасчёт матрицы расстояний (так как матрица  $5 \times 5$ , то количество итераций будет 4) с учётом нового кластера, который имеет свои значения сходства, например  $L_{1,2-3} = (4,03 + 3,5) / 2 = 3,76$ :

Расстояние	1,2	3	4	5
1,2	0	3.76	5.22	3.75
3	3.76	0	<b>2.25</b>	3.65
4	5.22	<b>2.25</b>	0	4.81
5	3.75	3.65	4.81	0

В новой матрице расстояний наиболее близки кластеры 3 и 4. Расстояние объединения – 2,25. Проводится перерасчёт матрицы расстояний с учётом полученного кластера, например,  $L_{1,2-3,4} = (5,22 + 3,75) / 2 = 4,49$ :

Расстояние	1,2	3,4	5
1,2	0	4.49	<b>3.75</b>
3,4	4.49	0	4.23
5	<b>3.75</b>	4.23	0

На следующем шаге из кластеров (1,2), (3,4) и 5 наиболее близкими являются 1,2 и 5. Расстояние объединения – 3,75. На последнем шаге матрица расстояний с учётом нового кластера будет иметь вид:

Расстояние	1,2,5	3,4
1,2,5	0	4.36
3,4	4.36	0



На последнем шаге объединяются два оставшихся кластера 1,2,5 и 3,4. Результат работы алгоритма представлен в виде дендрограммы (рис. 1.2).

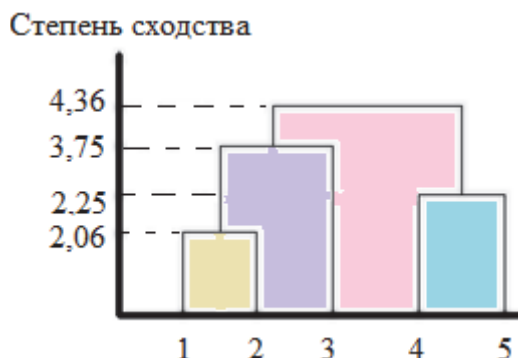


Рис. 1.2. Дендрограмма объединения объектов (места поступления загрязнений в водный объект) в кластерные группы

**Метод наиболее удалённых соседей** (метод полной связи) применяется когда важно учесть диапазон изменения классификационного признака. Заключается в следующем. Сходство между классами определяется как расстояние между наиболее отдалёнными представителями, т.е. объединяются те кластеры, расстояние между самыми отдалёнными представителями которых наименьшее.

Пример. Требуется провести районирование акватории водного объекта по степени загрязнённости. В разных точках определены концентрации вещества  $C_i$ . Границы классификационных групп, соответствующие диапазонам классов качества:  $C^1-C^2$ ,  $C^2-C^3$ ,  $C^3-C^4$ . Степень сходства определяется как разница между правой границей классификационного интервала и концентрацией вещества в точке:  $C^{i+1}-C_i$ . В результате получена матрица расстояний:

Точки	1	2	3	4
1	0	2.06	4.03	6.32
2	2.06	0	4.12	2.25
3	4.03	4.12	0	3.50
4	6.32	2.25	3.50	0

На первом шаге объединяются кластеры 1 и 2 с расстоянием объединения – 2,06. Проводится перерасчёт матрицы расстояний с учётом нового кластера (напомним, что расстояние между точками нового кластера определяется как расстояние между наиболее отдалёнными представителями):

Точки	1,2	3	4
1,2	0	4.12	6.32
3	4.12	0	<b>3.50</b>
4	6.32	<b>3.50</b>	0

В новой матрице кластеры 3 и 4 наиболее близкие. Расстояние объединения – 3,50. Необходимо произвести пересчёт матрицы расстояний с учётом нового кластера:

Точки	1,2	3,4
1,2	0	6.32
3,4	6.32	0

На данном шаге объединяются кластеры 1,2 и 3,4. Расстояние между ними равно 6,32. Образование кластеров закончено. Результат можно представить в табличном виде, отражающем принадлежность конкретной точки к определённому классу качества:

Классы	$C^1-C^2$	$C^2-C^3$	$C^3-C^4$
Точки	1, 2	-	3, 4

2. **Дивизимные** (разделяющие) **методы** делят группы на отдельные объекты. Данные алгоритмы трудоёмки и сложны при использовании для больших совокупностей. Получаемые результаты трудно анализировать.

Иерархические дивизимные методы, в начале процедуры, объединяют все объекты в один кластер (монотетический или политетический), который последовательно делится на уменьшающиеся кластеры.

Монотетический кластер включает объекты приблизительно с одним и тем же значением некоторого конкретного признака (например, концентрация фосфора в воде, которая характеризует водный объект по трофности). Таким образом, монотетические кластеры определяются фиксированными признаками, определённые значения которых необходимы для принадлежности к кластерам. Монотетический подход дивизимной кластеризации, (ассоциативный анализ) распространён в экологии.

Политетические кластеры являются группами объектов, для принадлежности к которым нужно (достаточно) наличие определённых сочетаний из некоторого подмножества признаков. Например, от некого источника в воду поступает несколько веществ. Что-

бы считать данный источник источником загрязнения достаточно, чтобы по одному из веществ было превышение допустимых нормативов.

**3. Итеративные методы** – основаны на формировании кластеров исходя из задаваемых условий разбиения, которые могут быть изменены для достижения желаемого результата. Итеративные методы используются для обработки больших массивов исходной информации. В отличие от агломеративных и дивизимных методов классификации итеративные алгоритмы могут привести к образованию пересекающихся кластеров, когда один объект может одновременно принадлежать нескольким кластерам[<http://stu.sernam.ru/index.php>].

Алгоритм составления массива данных итеративным методом сводится к разбиению исходных данных на заданное число кластеров, по средним значениям (центрам тяжести).

Достоинством итеративных методов является использование первичных данных и возможность обрабатывать большие массивы.

Недостатки связаны с тем, что поиск оптимального разбиения данных заключается в образовании множества вариантов разбиения, что возможно для небольших и простых задач (для 15 объектов и 3 кластеров этот подход требует рассмотрения 217 945 728 000 вариантов разбиений).

Данный метод может использоваться, например, для районирования водных и наземных объектов по степени загрязнения, особенно при использовании комплексных показателей качества воды.

### **1.1.3. Примеры практического использования методов ранжирования**

#### **1.1.3.1. Учёт стохастичности факторов типизации**

В практике, при решении конкретных прикладных задач используются модификации описанных методов, которые учитывают различные признаки объединения в кластеры [Приёмы..., 2011] или применяются новые. Так в работе [Шабанов, Рудаченко, 1971] проведена типизация мелиорируемых земель по ряду признаков с учётом их стохастического характера. Мерой сходства служит вероятность принадлежности объекта к условному эталону по ряду признаков ( $m$ ), с учётом значимости признака:

$$P = \prod_{i=1}^m \left\{ \overline{P}_k * \left[ \prod_{k+1}^m (1 - P_n) \right] \right\}$$

где  $k$  – номера признаков первого порядка;  $n$  – номера признаков второго порядка;  $\overline{P}_k$  – одномерная вероятность совпадения признаков, вычисляемая по формуле:

$$\overline{P}_k = \Phi\left(\frac{S'' - \bar{w}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{S' - \bar{w}}{\sigma}\right),$$

где  $\bar{w}$ ,  $\sigma$  – среднее и среднеквадратическое отклонение признака;  $S', S''$  – границы эталонного интервала;  $\Phi\left(\frac{S-w}{\sigma}\right)$  – интеграл вероятности.

В данном случае методика учитывает законы распределения признака и деление всех признаков объединения на первостепенные и второстепенные. Так, если даже один из элементов первого порядка не полностью совпадает с эталоном, то есть  $P_k=0$ , то объекты считаются нетипичными для данного эталона рассматриваемой классификации. В то же время полное несовпадение с эталоном второстепенного признака не означает, что  $P=0$ . Для этого необходимо, чтобы все сомножители от  $k+1$  до  $m$  давали  $P_n=0$ , то есть когда все признаки второго порядка объекта не совпадали бы с эталоном.

### 1.1.3.2. Использование комплексных показателей для характеристики источников загрязнения

В работе [Мустакимова и др., Электронный ресурс] показана возможность водохозяйственного районирования территории бассейна реки. Предпринята попытка обобщения множества разноплановых показателей, характеризующих экологические, гидрологические, гидрохимические состояние реки Свияга по всему её течению, с масштабированием и представлением взаимодействующих факторов в единой шкале значений. При этом учитывается большой набор признаков, включающий:

- водоресурсные характеристики реки (поступление воды с выше расположенных участков реки, поступление воды на ниже расположенный участок, естественный речной сток, сток, формирующийся на участке);
- водохозяйственные показатели (объёмы сброса сточных вод, забор воды из поверхностных и подземных источников, тип водопотребления, использование воды на орошение);

- гидрохимические характеристики (объёмы загрязняющих веществ, в частности: биогенных, БПК, СПАВ, взвешенных веществ и др.).

Определён перечень показателей, необходимых для оценки величины диффузного массопереноса веществ с водосбора в реки, включающий факторы:

- рельеф ( $F_r$  – учитывает уклон земной поверхности в пределах водосборных участков и эрозионную устойчивость почв);
- климат ( $F_q$  – определяется по годовым осадкам);
- сорбция ( $F_s$  – отражает процессы биодеструкции и трансформации веществ в почве, зависящих от содержания гумуса в почве, мощности пахотного слоя);
- транслокация ( $F_t$  – перехвата веществ растениями). Данные факторы сведены в многофакторный *коэффициент диффузной нагрузки*.

$$F = F_q \times F_r \times F_s \times F_t,$$

Он определяет потенциальную возможность выноса загрязняющих веществ с водосбора на различных участках. Результирующей характеристикой является *эколого-гидрологический потенциал*, который формируется с учётом двух основных характеристик: *устойчивости* (определяемой, в конечном счёте, объёмом воды, формирующимся на конкретном участке) и *нагрузки* (как интегральной функции воздействия антропогенных факторов). С этой целью был рассчитан ряд обобщающих показателей, сгруппированных в блок резистентности и представленных в виде относительных индексов.

*Коэффициент условного разбавления* – является весовым коэффициентом, показывающим долю поступающего объёма веществ, которую река способна ассимилировать путём разбавления на том или ином участке, по сравнению с максимально возможным значением для этого водного объекта ( $U_{\text{усл}}$ ).

*Общий гидрохимический индекс* – характеризующий относительную гидрохимическую «загруженность» каждого исследуемого участка. Для этого частные индексы разных веществ суммировались по участкам и приводились к максимальному значению, т.е. выражались в долях единицы.

*Индекс устойчивости*, равный отношению коэффициента условного разбавления к общему гидрохимическому индексу. Это позволяет отразить резерв разбавления, проявляющийся в виде степе-

ни превышения индекса устойчивости над общим гидрохимическим индексом.

$$I_{уст} = U_{усл} / I_{гх}.$$

Из показателей приведённых масс сбрасываемых загрязняющих веществ вычисляется *индекс сброса*:

$$I_{сброса} = \Sigma m_i / \max \Sigma m,$$

где  $\Sigma m_i$  – сумма массы сброса на  $i$ -том участке,  $\max \Sigma m$  – максимальная сумма массы сброса среди всех участков.

Нагрузка, которая складывается из суммы приведённых значений общего гидрохимического индекса и индекса сброса, определялась по формуле:

$$H = I_{гх} + I_{сброса}.$$

Полученное суммарное значение также приводится к максимальному и получается *коэффициент суммарной нагрузки*  $H_{сумм}$ :

$$H_{сумм} = H_i / H_{\max}.$$

*Индекс общей резистентности* водного объекта, который показывает эффективность ассимиляции загрязняющих веществ на конкретном участке реки. Значение индекса ниже 1 указывает на неустойчивое состояние системы, а выше единицы – на достаточную степень разбавления стоков.

$$R = U_{усл} / H_{сумм}.$$

Индекс общей резистентности позволяет ранжировать различные участки реки, отражая динамику взаимодействия между организованным сбросом веществ, условиями разбавления и гидрохимической ситуацией на водном объекте. Итоговый эколого-гидрологический потенциал дает обобщающую оценку распределения на разных участках значений индекса общей резистентности  $R$  и коэффициента диффузной нагрузки  $F$ . Предполагается, что в зоне оптимального функционирования системы с минимальной устойчивостью должна быть минимальная диффузная нагрузка. Для удобства, полученные характеристики переводятся в единый масштаб с помощью формулы, предложенной в работе В.Ю. Куприенко:

$$r' = (R_{факт} - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}),$$
$$f' = (F_{факт} - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}),$$



где  $R_{\text{факт}}$ ,  $R_{\text{max}}$ ,  $R_{\text{min}}$  и  $F_{\text{факт}}$ ,  $F_{\text{max}}$ ,  $F_{\text{min}}$  – фактические, максимальные и минимальные значения показателей  $R$  и  $F$ , соответственно;  $r'$  и  $f'$  масштабированные значения  $R$  и  $F$ .

В результате преобразования получаются два ряда коэффициентов, значения которых изменяются от 0 до 1. Разница между ними является значением итогового эколого-гидрологического потенциала конкретного ( $i$ -го) участка:

$$E_i = (r'_i - f'_i).$$

Значения эколого-гидрологического потенциала изменяются в пределах от -1 до +1 (рис. 1.3).

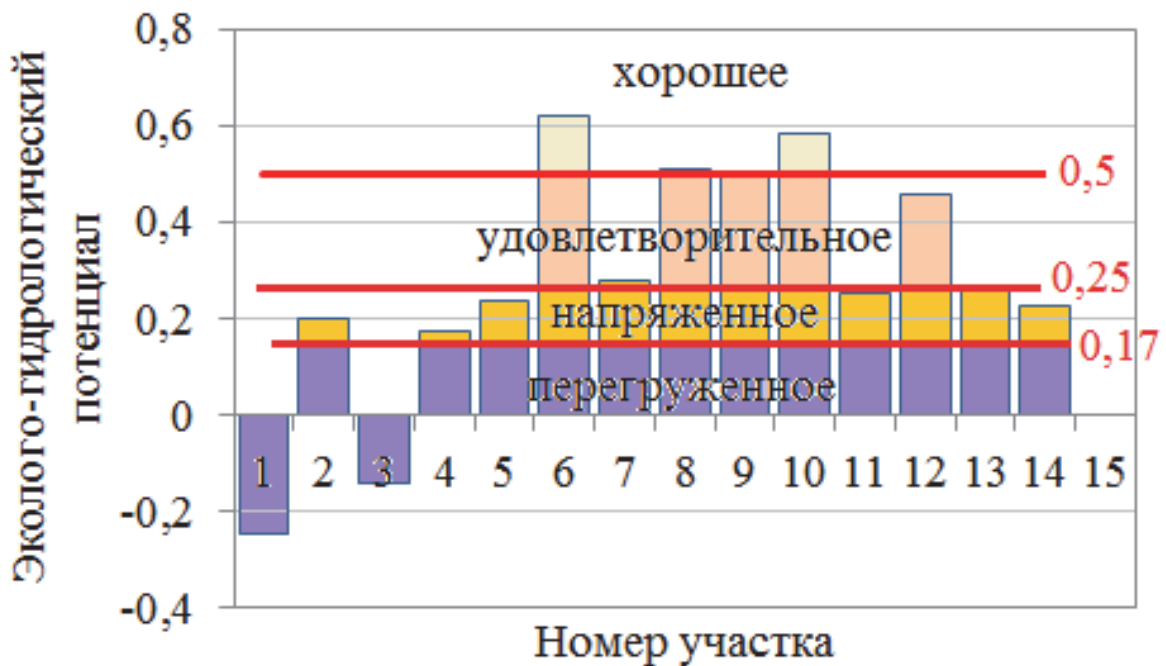


Рис.1.3. Значения эколого-гидрологического потенциала и оценка состояния водосбора по участкам реки

Основой для типизации водохозяйственных участков является ранжирование значений эколого-гидрологического потенциала ( $E$ ) методом квартилей на четыре диапазона, соответствующих четырём основным типам состояния системы:

- 1) система перегружена – необходимо сокращение водохозяйственной нагрузки на водный объект и водосбор в пределах участка;
- 2) напряжённое – нестабильное состояние системы, нежелательно увеличение водохозяйственной нагрузки;
- 3) удовлетворительное – стабильное состояние системы, возможна дополнительная нагрузка;

4) хорошее – возможно увеличение водохозяйственной деятельности. Дальнейшая спецификация участков проводится с учётом величины индексов  $N_{\text{сумм}}$ ,  $I_{\text{уст}}$ ,  $F$ ,  $R$ .

### **Выводы**

1. Ранжирование диффузных источников загрязнения следует проводить, используя комбинацию методов (эвристические и оптимизационные), позволяющих более полно ответить на поставленные задачи.

2. Типизация диффузных источников требует привлечения большого числа параметров (исходных данных), которые в большинстве случаев имеют вероятностный характер.

3. Использование комплексных показателей позволяет сократить количество анализируемых данных. Существенный эффект видится от совместного применения комплексных показателей качества воды водного объекта и характеристики источника загрязнения. В качестве последних могут служить объёмы выноса веществ (абсолютный или относительный, например, в виде показателя загрязнённости). В этом случае источники загрязнения водных объектов (диффузные и точечные) будут сопоставимы, и определяться едиными показателями.

## **2. ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

Нормативы допустимого воздействия на водные объекты предусматривают соблюдение предельно допустимых концентраций (ПДК) и предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ (ПДС). Причём сумма предельно допустимых сбросов от всех источников загрязнения не должна приводить к превышению в водном объекте нормативов допустимого воздействия (НДВ) [Методические указания..., 2007]. Например, в общем виде расчёт НДВ для химических загрязнителей  $НДВ_{\text{хим}}$  на расчётном участке водного объекта за определённый период времени выполняется по балансовой формуле:

$$НДВ_{\text{хим}} = C_{\text{нр}} \times W_{\text{уч}} - \sum (C_{\text{нр}} \times W_{\text{ст}} + C_{\text{нвх}} \times W_{\text{вх}} + C_{\text{нпр}} \times W_{\text{пр}}) \quad (2.1)$$

где  $W_{\text{уч}}$  – общий объём стока, поступающий на нижележащий участок, млн. м<sup>3</sup>;  $W_{\text{ст}}$  – объём местного стока, который формируется в пределах расчётного участка, в т.ч. с диффузных и точечных источ-



ников, млн.м<sup>3</sup>;  $W_{вх}$  – объем стока, поступающий на рассматриваемый участок с вышележащего, млн. м<sup>3</sup>;  $W_{пр}$  – объем стока, поступающий с притоками, млн. м<sup>3</sup>;  $C_{нр}$ ,  $C_{нвх}$ ,  $C_{нпр}$  – нормативы качества воды для соответствующих водохозяйственных участков, мг/л.

Нормативы рекомендуется определять по сезонам года и в целом за год. В качестве наиболее неблагоприятных условий принимаются:

- летне-осенняя и зимняя межень 95% обеспеченности;
- весеннее половодье 50% обеспеченности.

При этом годовая величина  $НДВ_{хим}^{год}$  определяется с учётом выделенных периодов:

$$НДВ_{хим}^{год} = НДВ_{хим}^{395\%} + НДВ_{хим}^{л-095\%} + НДВ_{хим}^{50\%} \quad (2.2)$$

На основании НДВ разрабатываются нормативы допустимых сбросов (НДС) для выпусков сточных вод, расположенных в пределах водохозяйственного участка. Величины НДС устанавливаются с учетом предельно допустимых концентраций веществ в местах водопользования и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды [Методика..., 2007].

Действующая в настоящее время система экологического контроля основана на концепции предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Однако известно, что концепция ПДК экологически не обоснована. Основные недостатки этой концепции следующие [Абакумов, Сущеня, 1991].

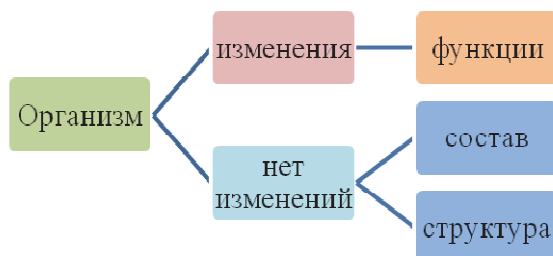
- Нормативы ПДК определяются в лабораторных условиях в краткосрочных (дни) и хронических (недели) экспериментах на изолированных популяциях организмов. Популяции принадлежат к небольшому числу видов. Определение реакции организмов идет по ограниченному набору физиологических и поведенческих реакций на отдельные факторы. Не учитывается их взаимодействие. Поэтому экстраполяция нормативов ПДК на реальные природные объекты неправомерна.
- ПДК принимаются в качестве единых нормативов без учета специфического естественного фона, климатических, хозяйственных и многих других характеристик конкретного региона.
- Исследования по определению ПДК дорогостоящие. К настоящему времени установлено около тысячи ПДК (не более 10% от общего числа нормированных по ПДК веществ обеспечено методами обнаружения на уровне ПДК [Абакумов,

Сущенко, 1991]). Число загрязняющих веществ антропогенного происхождения превысило миллионы наименований и ежегодно синтезируется около четверти миллиона новых химических веществ.

- Вредное действие физических, химических и других факторов в их комбинации может усиливаться (синергизм), что представляет наибольшую опасность для организмов. Комбинированное воздействие факторов приводит к образованию дополнительных повреждений за счет, индуцируемых каждым из агентов, взаимодействий. Причем каждое воздействие по отдельности может и не являться значимыми [Петин и др., 1999]. Показано, что существует оптимальное соотношение воздействующих агентов, при котором повреждающий эффект максимален.
- Помимо химического загрязнения, которое учитывается ПДК, на организмы оказывают влияние многие факторы другой природы: тепловое, радиационное, электромагнитное или биологическое загрязнения и др. Это не учитывается при определении ПДК из-за больших материальных затрат.
- Не учитываются особенности природных зон, времени года, местообитания. При этом каждая экосистема обладает эволюционно обусловленным уникальным комплексом связей между отдельными компонентами, специфическим адаптационным потенциалом к возможным опасным воздействиям, выработанной со временем, токсикорезистентностью.
- Отсутствие соответствия между лабораторными и природными моделями экосистем приводит к тому, что ПДК часто оказываются завышенными [Жигальский, 1997].

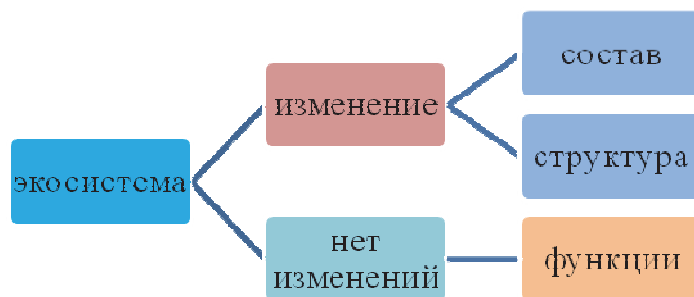
Перечисленные недостатки концепции ПДК ставят под сомнение возможность всей существующей системы экологического контроля и природоохранной деятельности. Однако, в настоящее время полный отказ от существующей системы невозможен. Один из путей решения проблемы является переход к экологическим нормативам предельно допустимых концентраций, которые определяются для конкретного водного объекта или даже его участка, на основе результатов биотестирования и биоиндикации [Максимов, 1991]. Суть её состоит в следующем. Для любой экологической системы можно найти такие пределы изменений экологических факторов, при которых признаки, отличающие эту экосистему от других экосистем, сохраняют относительную стабильность. В указанном смысле можно отождествить пределы экологической толерантности

с границами, внутри которых состояние экосистемы можно считать нормальным. Вследствие этого, при выходе какого-либо фактора за пределы толерантности, у организма наблюдается изменение функциональных показателей его состояния при неизменных показателях его состава и структуры, т.е. морфологических признаков (рис. 2.1).



**Рис. 2.1.Изменения в организме вызванные ухудшения состояния среды**

В противоположность этому, любое изменение внешних условий вызывает в экосистеме структурные изменения (рис. 2.2). Сохраняется относительное постоянство функциональных показателей, и других процессов экологического метаболизма [Федоров, 1974].



**Рис. 2.2.Изменения в экосистеме вызванные ухудшения состояния среды**

Биотический подход реализуется набором методов необходимых для получения оценок состояния сообществ, с помощью которых можно отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы, с существенными изменениями, вызванные внешними, в первую очередь – антропогенными, воздействиями.

Работы, проведённые Экологической и водохозяйственной фирмой ООО «ВЕД» (<http://gidro-ved.ru/ru/articles> (по данным на 25.03.2013)) позволили установить экологически допустимые концентрации некоторых веществ (общий фосфор, фосфаты, нефтепродукты, взвешенные вещества, ХПК) для ряда водных объектов Москворецкой системы и Водораздельного бьефа. Однако и это не позволяет в полной мере решить вопрос в силу индивидуальности

подхода. Одним из путей решения проблемы может быть использование метода «Соответствия параметров» водных объектов [Шабанов, Маркин, 2009], который позволяет на основе связи гидрохимических, гидробиологических и гидрологических показателей проводить оценку качества воды и состояния водной экосистемы. Реализуется данный метод с помощью комплексного показателя качества воды, например, индекса загрязнения воды (ИЗВ) или его модификаций. Это позволяет:

- делать оценку экологического состояния экосистемы на основе легкодоступных в инженерной практике параметров;
- прогнозировать изменение состояния экосистемы, что используется при оценке, планируемой на перспективу, водохозяйственной деятельности и определении допустимых воздействий;
- оценить и прогнозировать изменение качества воды, с целью определения её пригодности, для тех или иных целей, на современный и прогнозируемый периоды, с учётом планируемой на перспективу водохозяйственной деятельности;
- обосновать водоохранные мероприятия. В этом случае, зная объёмы загрязнений, поступающие от разных источников, определяется: их воздействие на водный объект; вклад источников в загрязнение; требуемая эффективность водоохранных мероприятий. В дальнейшем подбираются водоохранные мероприятия, позволяющие достичь данную эффективность. Загрязнённость стоков оценивается не конкретным загрязнителем, а комплексным показателем. В этом смысле, удобно использовать такие комплексные показатели как ИЗВ (осреднённая кратность превышения нормативных значений) или концентрация фосфора.

## **Выводы**

1. Типизация диффузных источников загрязнения водных объектов, проводимая с помощью комплексных показателей загрязнённости сточных вод. В качестве нормативных показателей используются классы качества воды.
2. Нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) следует уточнять с целью получения их экологически значимых, для конкретного водного объекта, значений.

Существующие нормативы ПДК могут использоваться для целей учёта опасности конкретного вещества, т.е. в качестве весового коэффициента.

### **3. СНИЖЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СО СТОРОНЫ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Диффузионные источники загрязнения характеризуются отсутствием канализованности стоков, что приводит к невозможности их подачи на очистные сооружения, поэтому применяются специфические водоохранные мероприятия [Водоохранные ...; Мероприятия...].

Водоохранные мероприятия классифицируются по месту их проведения:

- проводимые в источнике загрязнения;
- в транзитной зоне;
- в водном объекте.

Эффективность конкретного водоохранного мероприятия зависит от интенсивности негативных процессов и доли их участия в загрязнении водных объектов. Следует отметить, что мероприятия, проводимые в источнике загрязнения наиболее эффективны, поскольку направлены на устранение причины формирования загрязнений. В свою очередь все перечисленные мероприятия делятся на три уровня [Хрисанов, 1993].

Первый уровень – мероприятия направленные на использование экологически безопасных технологий и снижение потерь удобрений в сельском хозяйстве.

Второй уровень – мероприятия по ограничению миграции загрязнителей (использование гранулированных медленнодействующих удобрений, поперечная вспашка, рыхление, известкование).

Третий уровень – мероприятия направленные на снижение загрязнённости водоёмов, за счёт устройства прибрежных зарослей макролитов и их удаления осенью, аэрации воды.

**Водоохранные мероприятия первого уровня, проводимые в источнике загрязнения (на сельскохозяйственных угодьях).**

Почвозащитные севообороты:

- снижение доли пропашных культуры и увеличение доли многолетних трав (эффективность до 50...60%) (рис. 3.1);



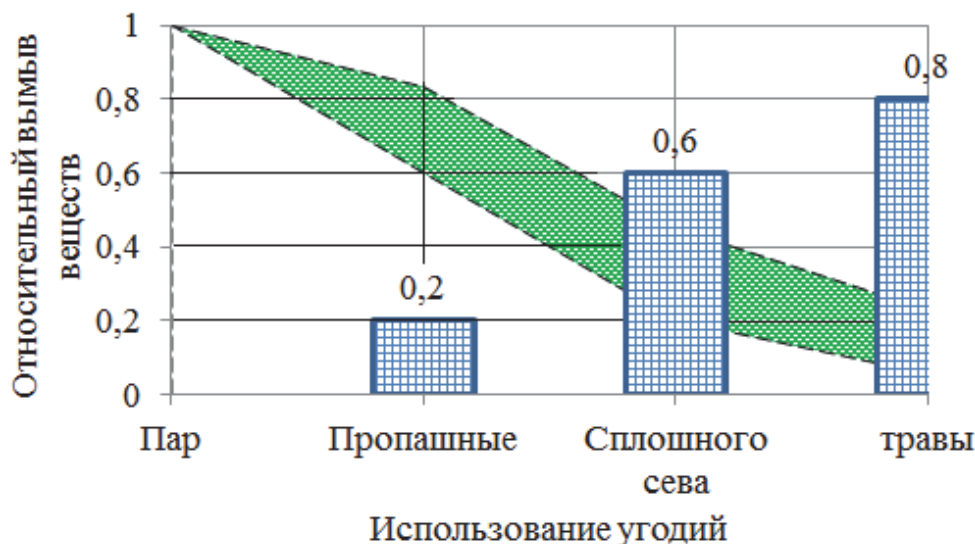


Рис. 3.1. Относительный вынос азота и калия из разных по механическому составу почв в зависимости от вида использования угодий (снижение объёмов выноса с угодий дано относительно чёрного пара)

- на склонах крутизной до 3...5° со слабо- и среднесмытыми почвами, ведущими делают культуры сплошного сева; на крутых склонах (крутизна 5...10°), в основном со средне- и сильносмытыми почвами, в севооборотах увеличивают посеvy многолетних трав.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия:

- вспашка, рыхление и культивация – как мероприятия по регулированию поверхностного стока;
- рядовой посев сельскохозяйственных культур поперёк склона;
- замена отвальной вспашки обработкой почвы без оборота пласта.

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия

- создание водорегулирующих лесополос
- сплошные противоэрозионные лесопосадки на сильноэродированных крутосклонных и бросовых землях, непригодных для использования в сельском хозяйстве.

**Водоохранные мероприятия первого уровня, проводимые в источнике загрязнения (не канализованные селитебные территории).**

Мероприятия общего характера:

- замена грунтовых покрытий твёрдыми и газонами;

- планирование и организация использования территории;
- систематическая уборка территории;

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия:

- озеленение территории с созданием лесных и парковых зон.

Гидротехнические мероприятия:

- устройство ливневой канализации и отвод загрязненных стоков на очистные сооружения;
- террасирование склонов;
- закрепление склонов.

*Таблица 3.1*

**Эффективность водоохранных мероприятий первого уровня**

Мероприятие	Эффективность, %
Организация мест складирования отходов	55-65
Замена грунтовых покрытий	30-60
Создание лесополос	20-40
Залужение	5-15
Снежные мелиорации	5-10
Уборка территории	5-10

**Водоохранные мероприятия второго уровня, проводимые в транзитной зоне (не канализованные селитебные территории).**

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия

- создание водоохранных зон вдоль водных объектов;
- сплошные противоэрозионные лесопосадки на сильноэродированных крутых склонах и бросовых землях, непригодных для использования в сельском хозяйстве.

Противоовражные мероприятия:

- приовражные, прибалочные и надвершинные лесонасаждения;
- облесение сетевого фонда – дна и откосов оврагов, балок, лощин. На откосах оврагов крутизной  $\geq 8^\circ$ , а также на берегах балок и лощин, которые малопригодны для луговых и пастбищных угодий. Облесение откосов оврагов допускается в случае, если они сформировали устойчивый про-

филь, т.е. угол их естественного откоса составляет не более 32° на суглинках и 26° – на супесях.

Гидротехнические сооружения:

- ограждающая дренажная сеть;
- закрепление русла оврагов;

Биологические инженерные сооружения:

- устройство биологического плато в овражно-балочной сети;
- устройство биоплато на открытой осушительной сети;

*Таблица 3.2*

### **Эффективность очистки сточной воды на биоплато**

(<http://www.textreferat.com/referat-3811-7.html>)

Показатель	Эффективность, %	
	весна	лето-осень
ХПК	66	80
БПК	42	53
Хлориды	56	62
Сульфаты	50	57
Фосфаты	28	79
Нитраты	81	96
Аммонийный азот	80	86
Коли-индекс	60	73

- водозадерживающие пруды в овражно-балочной сети.

Ландшафтные мероприятия:

- закрытые поглотители;
- формирование рельефа, способствующего разделению и локализации поверхностного стока в понижениях;
- искусственное заболачивание территории.

Мероприятия по охране вод второго уровня (по Хрисанову Н.И.) делятся по устойчивости к физико-географическим факторам на 5-ть групп.

*Таблица 3.3*

### **Эффективность водоохраных мероприятий второго уровня**

Мероприятие	Эффективность, %
Водоохранная зона	60-80
Обвалование территории	30-50
Заболачивание террито-	15-45



Окончание табл. 3.3

Мероприятие	Эффективность, %
Водоохранная зона	60-80
руи	
Пруды накопители	20-30
Закрытые поглотители	20-30

Таблица 3.4

**Классификация водоохранных мероприятий второго уровня по устойчивости к физико-географическим факторам (по Хрисанову Н.И.)**

Группа	Характеристика устойчивости	Мероприятия
1	Очень устойчивые	Создание водооборотных систем
2	Устойчивые	Создание ЗПО, устройство прудов накопителей, отстойников
3	Средне-устойчивые	Обвалование, очистка русла
4	Не устойчивые	Создание ВОЗ, лесополосы
5	Очень не устойчивые	Снежные мелиорации, залужение склонов

Данная классификация позволяет выбрать необходимые водоохранные мероприятия в зависимости от условий на водосборной площади, например уклонов поверхности земли и антропогенной нагрузки (рис. 3.2).



Рис. 3.2. График для определения необходимости водоохранных

**мероприятий в зависимости от уклона местности и фосфорной нагрузки на водный объект (по Хрисанову Н.И.)**

**Водоохранные мероприятия третьего уровня, проводимые в водном объекте:**

- создание русловых биологических плато;
- скашивание и удаление макрофитов осенью;
- удаление загрязненных донных отложений;
- борьба с синезелеными водорослями;
- оборудование водопоев для скота и мест массового отдыха населения на воде;
- аэрация воды.

*Таблица 3.5*

**Эффективность мероприятий третьего уровня  
(по Хрисанову Н.И.)**

Мероприятия	Эффективность, %
Борьба с синезелеными водорослями	55-65
Аэрация воды	30-50
Скашивание и удаление макрофитов осенью	45-50
Создание биоплато	20-40
Удаление донных отложений	20-40
Оборудование водопоев для скота и мест отдыха на воде	5-15

#### **4. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

Оценка качества воды позволяет определить ее пригодность для хозяйственных целей и обосновать водоохранные мероприятия. Основана оценка на использовании некоторых показателей, отражающих химическое, физическое и биологическое состояние. Показатели бывают индивидуальные и комплексные. Индивидуальных показателей достаточно много, одни из них выражаются в количественном виде (концентрации веществ), другие характеризуют систему на качественном уровне (цвет, запахи др.). Использование индивидуальных показателей позволяет на основе системы предельно допустимых нормативов (например, предельно допустимых концентраций ПДК) количественно определить каким веществом и на сколько, загрязнена вода. В этом смысле достоинство индивидуальных показателей неоспоримо. Однако имеются недостатки, за-

трудняющие, или делающие не возможным, решать вопросы обоснования водоохранных мероприятий, их видов и эффективности. Поэтому, когда требуется достижение определённого целевого уровня состояния водного объекта, используются комплексные показатели.

Все индивидуальные показатели связаны между собой явно или опосредованно [Экологический мониторинг. 2003, Н.Г.Булгаков и др., 2001, Алимов А.Ф, 2003], но часто невозможно выявить данные связи в силу действия большого количества других факторов.

Использование индивидуальных показателей затруднено необходимостью использования нормативных значений. Имеющаяся в настоящее время методика оценки загрязнённости воды, основанная на нормативах предельно допустимых концентраций, подвергается критике и обосновывается её замена.

Комплексные показатели загрязнённости воды позволяют однозначно, с помощью количественной величины оценить загрязнённость воды, классифицировать ее по степени загрязнённости, подготовить информацию для принятия решений в простом и понятном виде. Использование комплексных показателей позволяет выделить значимые характеристики, определяющие свойства воды.

Оценка состояния системы разными показателями должна давать одни и те же результаты, поэтому выявляются те из них, для которых связи достаточно постоянны (во времени и пространстве) и достоверны.

*Таблица 4.1*

**Связь показателей состояния водной экосистемы и качества воды.**

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	1	2	3	4	5	6
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязн.	Загрязн.	Грязная	Очень грязная
БПК <sub>5</sub> , мг О/л	0.5-1.0	1.1-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-10.0	>10
Индекс загрязнения воды (ИЗВ)	≤0.2	0.2-1	1-2	2-4	4-6	>6

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	1	2	3	4	5	6
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязн.	Загрязн.	Грязная	Очень грязная
Индекс сапробности (S)	≤0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-4	>4
Фосфаты, мгР/л	0,005-0,015	0,015-0,05	0,05-0,2	0,2-0,3		0,3-0,6
Нитраты, мгN/л	0,05-0,2	0,2-1,0	1,0-2,0	2,0-2,5		2,5-4,0
Индекс Шеннона (H)	3.06-2.30	2.30-1.89	1.89-1.52	1.52-1.25		1.25-1.11
Биотический индекс по Вудивису	10	9-7	6-5	4	3-2	1-0
Трофность	Олиготрофная	мезотрофная		эвтрофная		Гиперэвтрофная

Комплексные показатели должны удовлетворять (по Гусевой Т.В.) ряду требований:

- простота использования;
- универсальность;
- сопоставимость результатов;
- достаточная информативность.

В настоящее время используется ряд комплексных показателей [Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д., 2005].

### Выводы

Биологические методы сложны для использования в инженерной практике. Они приводят к существенному усложнению работ по оценке состояния водных объектов, в явном виде не учитывают гидрологические характеристики водного объекта и не однозначно

связаны с гидрохимическими показателями. В то время как именно, они, в первую очередь, подвержены влиянию хозяйственной деятельности.

Несмотря на общие закономерности, которые отражают биологические показатели, возникает необходимость учёта конкретных условий (характерных видов организмов, конкретный гидрохимический фон водного объекта). Существенным недостатком является и то, что биологические методы сложно использовать для целей перспективных расчётов и прогноза состояния среды. При водоохозяйственном проектировании это очень важно, особенно на стадии разработки Бассейновых схем комплексного использования водных объектов (Схем КИОВО). Разработка Схем подразумевает водоохозяйственное районирование, типизацию водных объектов, ранжирование источников загрязнения водных объектов. В этом случае необходимо давать оценку качества воды и состояния водного объекта, что можно сделать, используя методику, которая в качестве исходных данных будет использовать показатели, учитывающие гидрологические и гидрохимические условия.

#### **5. ПРИМЕР РАНЖИРОВАНИЯ ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Объект исследования расположен в бассейне модельной реки, площадью  $1290 \text{ км}^2$ . Норма стока  $180 \text{ млн. м}^3$ . Коэффициент вариации стока  $C_v=0,4$ ,  $C_s=2C_v$ . Модуль стока воды равен  $g=4,4 \text{ л/с. км}^2$ . В таблице 5.1 дана характеристика диффузных источников загрязнения. В качестве комплексного показателя качества речной воды и загрязнённости сточных вод использована концентрация общего фосфора (С). Модульный коэффициент стока для года 95% обеспеченности равен  $K^{95\%}_p=0,38$ .

Таблица 5.1

**Характеристик диффузных источников загрязнения**

Источник	№	Показатели		
		Площадь (Fi), га	Объем сточных вод (Wi), млн.м <sup>3</sup>	Объем выноса фосфора (Gi), кг
С/х угодья - 1	1	1050	0,84	6300
	2	1500	1,20	12000
	3	800	0,64	8800
С/х угодья - 2	4	600	0,48	12600
	5	1200	0,96	16800
	6	480	0,38	12480
	7	1400	1,12	9800
Поселок – 1	8	808	0,65	9696
Животноводство	9	100	0,08	32500
Поселок – 2	10	740	0,59	9620
Сумма		8678	6,94	130596

На рисунке 5.1 показано ранжирование источников загрязнения по опасности превышения класса качества. Влияние источников 1 и 3 формирует качество воды в реке на уровне класса «умеренно загрязнённого», что можно считать приемлемым уровнем. При этом источники 5 и 9 способны ухудшить класс качества воды до уровня «грязного» и «очень грязного».

Таблица 5.2

**Расчёт комплексного показателя загрязнённости речной воды****К<sub>пз</sub> индивидуальным источником**

Источник	№	Показатели	
		С*, мг/л	К <sub>пз</sub> **
С/х угодья - 1	1	0,092	0,05
	2	0,175	2,14
	3	0,129	0,97
С/х угодья - 2	4	0,184	2,36
	5	0,246	3,89
	6	0,182	2,31
	7	0,143	1,33
Посёлок - 1	8	0,142	1,29
Животноводство	9	0,475	9,63
Посёлок - 2	10	0,141	1,27

\*Концентрация фосфатов в речной воде при воздействии каждого источника отдельно.\*\*Показатель качества воды в реке

при воздействии отдельных источников, рассчитывается по зависимости, полученной по таблице соответствия параметров (табл. 4.1):  $K_{пз}=(C-0,05)/0,04-1$ .

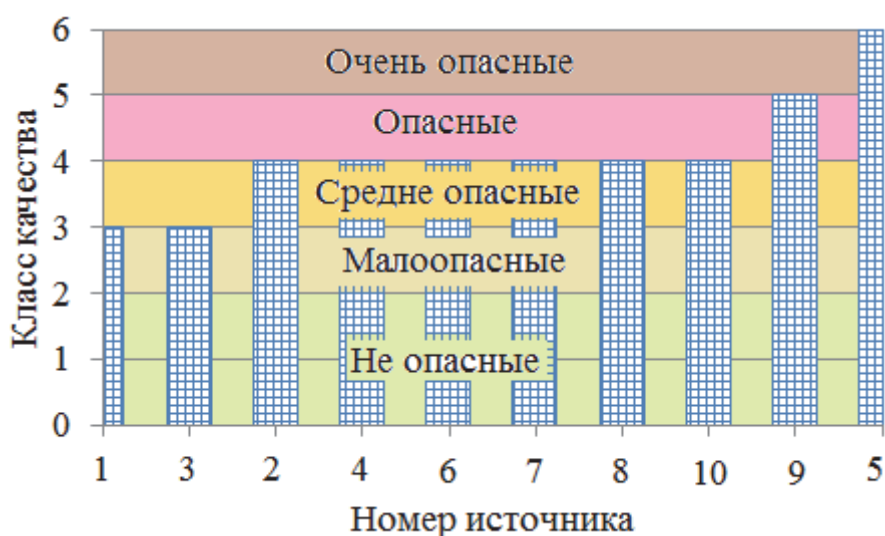


Рис. 5.1. Ранжирование источников загрязнения водных объектов по их индивидуальному вкладу в изменение класса качества воды в реке (классы качества воды: 1 – очень чистый; 2 – чистый; 3 – умеренно загрязнённый; 4 – загрязненный; 5 – грязный; 6-очень грязный)

Интересно отметить, что одиночный вклад источников в загрязнение реки может быть незначительным, однако совместное влияние нескольких из них может формировать опасную группу. На рисунке 5.2 показано влияние разного сочетания первого (малоопасного) источника с другими. Видно, что даже комбинация двух малоопасных 1 и 3 источников способна ухудшить класс качества воды в реке до уровня «грязной» воды.

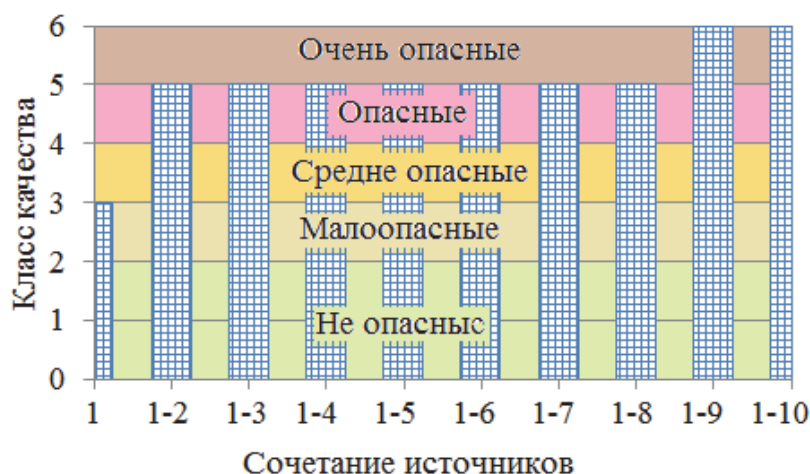


Рис. 5.2. Ранжирование группового действия первого источника другими по их вкладу в изменение класса качества воды в реке (классы качества см. рис. 5.1)



Загрязнённость поверхностных стоков, поступающих со всех рассредоточенных источников загрязнения, снижается при устройстве водоохранной зоны. Данное водоохранное мероприятие (ВОМ) является обязательным, поэтому учитывается в первую очередь (рис. 5.3). При этом опасность источников заметно снижается, они переходят в разряд «не опасных». Однако совместное действие остаётся достаточно большим (рис. 5.4). Совместное влияние 5 и 9 источников способно загрязнить воду в реке до класса «загрязнённой». Поэтому водоохранные мероприятия следует, в первую очередь, направить на более опасные источники (рис. 5.5).

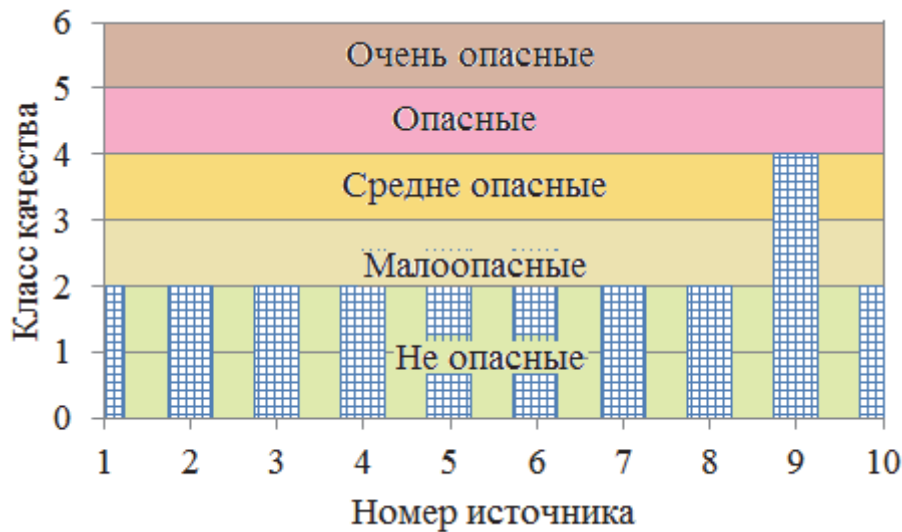


Рис. 5.3. Ранжирование источников загрязнения по их вкладу в изменение класса качества речной воды с учётом водоохранной зоны (ВОМ-1)

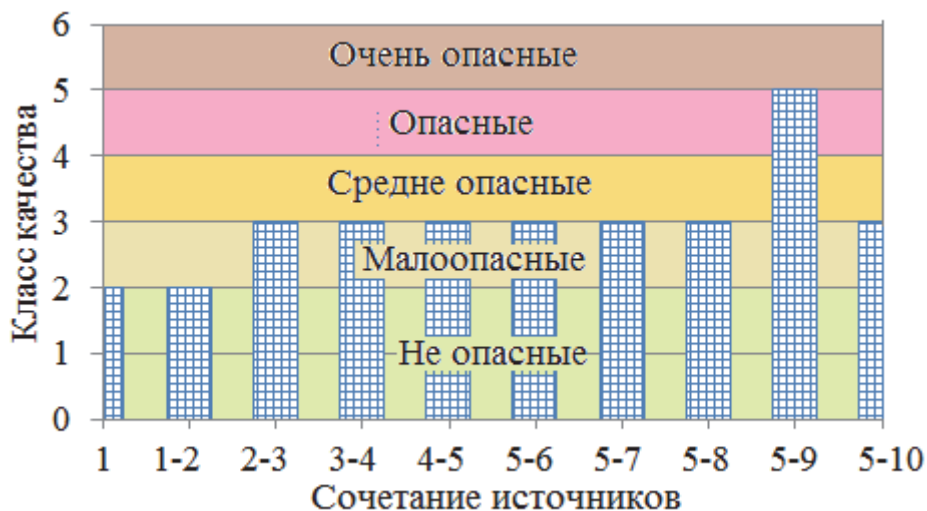
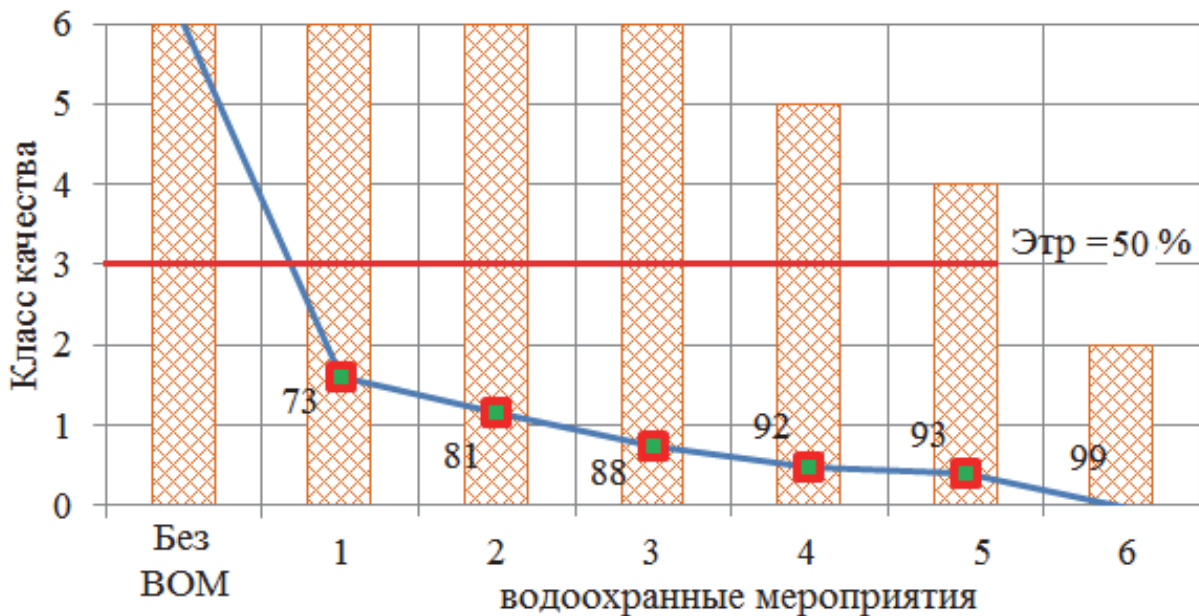


Рис. 5.4. Ранжирование парного действия источников загрязнения по их вкладу в изменение класса качества речной воды с учётом эффективности водоохранной зоны (ВОМ-1)





- 1 – устройство водоохранной зоны  $\text{Э}_{\text{в.з.}}=0,7$ ;  
 2 – Устройство контурных лесополос  $\text{Э}_{\text{л.п.}}=0,4$ ;  
 3 – Обвалование территории животноводческой фермы  $\text{Э}_{\text{обв.}}=0,6$ ;  
 4 – Организация поверхностного стока в посёлках и их очистка  $\text{Э}_{\text{оч.}}=0,95$ ;  
 5 – Осенняя вспашка поперёк склона  $\text{Э}=0,6$ .

Рис. 5.5. Изменение класса качества воды в реке при проведении водоохраных мероприятий (значения на графике – эффективности ВОМ)

Требуемая эффективность водоохраных мероприятий, для достижения класса «умеренно загрязнённой» воды, составляет  $\text{Э}_{\text{тр}}=(6-3/6)\times 100=50\%$ .

### 5.1. Использование иерархического агломеративного метода ближайшего соседа

Требуется провести районирование диффузных источников загрязнения водных объектов по их потенциальной опасности, которая оценивается с помощью показателей:

- I – средний уклон поверхности земли на площади диффузного источника;
- механический состав почво-грунтов, оценивается по коэффициенту фильтрации ( $K_{\text{ф}}$ );
- эрозионная опасность, оценивается по величине потерь гумуса за счёт водной эрозии;
- содержание веществ в почве, оценивается по величине урожайности ведущей культуры ( $Y$ ).

Таблица 5.3

**Исходные данные о диффузных источниках**

№ источника	I	Механический состав	У, ц/га	Ведущая культура	Использование угодий	У <sub>макс</sub> , ц/га
1	0,003	песок	320	картофель	Пропашные	500
2	0,015	песок	21	рожь	Сплошного сева	30
3	0,005	супесь	440	картофель	Пропашные	500
4	0,101	суглинок	360	свекла	Пропашные	600
5	0,008	песок	18	ячмень	Сплошного сева	35
6	0,022	суглинок	56	травы	Травы.	90
7	0,043	супесь	16*	ячмень	Черный пар	35
8	0,015	суглинок	26	ячмень	Сплошного сева	35
9	0,071	глина	74	травы	Травы.	90
10	0,008	супесь	380	картофель	Пропашные	500

\*Для чёрного пара дана урожайность ведущей культуры выращиваемой на данном объекте в предыдущие годы.

Требуется подготовка исходных данных, для возможности получения параметров, которые позволят определить степень сходства объектов.

1. В таблице 5.4 представлены классификационные признаки основных параметров по которым делается распределение всех источников по степени опасности (чем больше уклон, эрозионная опасность, почвенное плодородие и меньше коэффициент фильтрации, тем опаснее источник).

Таблица 5.4

**Выделение участков по влиянию уклона местности  
на водно-эрозионную опасность**

Уклон	Практическое отсутствие эрозионных процессов	Начало проявления эрозионных процессов	Активное проявление эрозии	Интенсивные процессы
I□	<1	1...3	3...5	>5

Таблице 5.5

**Средние значения коэффициентов фильтрации почв  
разного механического состава**

Механический состав почв	Песок	Супесь	Суглинок	Глины
К <sub>ф</sub> , м/сут	>1	1..0,1	0,1...0,01	<0,01

Таблице 5.6

**Характеристика плодородия почв по относительной урожайности ведущей культуры**

Характеристика плодородия	Очень низкое	Низкое	Среднее	Высокое
$У/У_{\text{макс}}$	<0,4	0,4...0.6	0,6...0.8	>0,8

Таблице 5.7

**Относительные потери гумуса от водной эрозии в зависимости от вида использования угодий (относительно чёрного пара).**

Вид угодий	Травы	Культуры сплошного сева	Пропашные культуры	Чёрный пар
Эр. опасность	<0,2	0,2...0,4	0,4...0.6	>0,6

В таблице 5.8 объединены данные таблиц 5.3...5.7 для классификации степени опасности загрязнения водных объектов поверхностными стоками. В данном случае применено ранжирование параметров эвристическим методом.

Таблице 5.8

**Классификация параметров по степени опасности для загрязнения поверхностных водных объектов**

Степень опасности	1	2	3	4
Характеристика опасности	Низкая	Слабая	Средняя	Высокая
I	<1*	1...3	3...5	>5
$K_{\phi}$	>1	1..0,1	0,1...0,01	<0,01
$У/У_{\text{макс}}$	<0,4	0,4...0.6	0,6...0.8	>0,8
Эр. опасность	<0,2	0,2...0,4	0,4...0.6	>0,6

\*Уклон соответствует 0,017

2. Группировка приведённых параметров для классификации источников в соответствии с таблицей 5.8.

Таблице 5.9

**Параметризация исходных данных по основным параметрам, характеризующим степень опасности диффузного источника**

№ источника	I	$K_{\phi}$ , м/сут	Эр. оп.	$У/У_{\text{макс}}$
1	0,003	1	0,6	0,64
2	0,015	1	0,4	0,70
3	0,005	0,1	0,6	0,88

4	0,101	0,01	0,6	0,60
5	0,008	1	0,4	0,51
6	0,022	0,01	0,2	0,62
7	0,043	0,1	1	0,46
8	0,015	0,01	0,4	0,74
9	0,071	0,001	0,2	0,82
10	0,008	0,1	0,6	0,76

3. Представление основных параметров объектов в виде степени опасности.

Таблице 5.10

**Представление параметров объектов в виде принадлежности к диапазонам степени опасности (табл. 5.8).**

№ источника	I	K <sub>ф</sub>	Эрозионная опасность	У/У <sub>макс</sub>
1	1	2	4	3
2	1	2	3	3
3	1	3	4	4
4	4	4	4	3
5	1	2	3	2
6	2	4	2	3
7	2	3	4	2
8	1	4	3	3
9	3	4	2	4
10	1	3	4	3

4. Формирование матрицы сходства источников загрязнения. Для этого по каждому параметру определяется степень сходства. Если, например, для первого источника параметр уклона равен 1, а для 2-го и 4-го источника, соответственно: 1 и 4 (табл. 5.10), то степень сходства 1 и 2-го источников равна 1 (1/1), а 1 и 4-го источников 0,25 (1/4), в соответствии с выражением:

$$Cx_{i...i+1-j} = \min(1...i+1,j) / \max(1...i+1,j),$$

где j – рассматриваемый параметр.

Проводя последовательное сравнение источников по каждому параметру отдельно, определяется степень сходства по всем источникам, используя выражение:

$$Cx_{i...i+1} = \prod_{j=1}^4 Cx_{i...i+1-j}$$

5. Формируется матрица сходства источников. Каждый элемент матрицы показывает степень соответствия параметров (чем

выше значение элемента матрицы, тем больше соответствие). Объединение источников в кластерные группы производится по описанному в главе 1 методу ближайшего соседа.

### Исходная матрица сходства источников диффузного загрязнения

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<b>0,00</b>	<b>0,75</b>	0,19	0,13	0,19	0,13	0,03	0,38	0,05	0,25
2	<b>0,75</b>	<b>0,00</b>	0,14	0,09	0,25	0,06	0,02	0,50	0,02	0,19
3	0,19	0,14	<b>0,00</b>	0,14	0,09	0,14	0,25	0,42	0,09	<b>0,75</b>
4	0,13	0,09	0,14	<b>0,00</b>	0,02	0,25	0,09	0,19	0,28	0,19
5	0,19	0,25	0,09	0,02	<b>0,00</b>	0,02	0,09	0,13	0,02	0,05
6	0,13	0,06	0,14	0,25	0,02	<b>0,00</b>	0,09	0,13	0,19	0,19
7	0,03	0,02	0,25	0,09	0,09	0,09	<b>0,00</b>	0,07	0,05	0,13
8	0,38	0,50	0,42	0,19	0,13	0,13	0,07	<b>0,00</b>	0,05	0,56
9	0,05	0,02	0,09	0,28	0,02	0,19	0,05	0,05	<b>0,00</b>	0,56
10	0,25	0,19	<b>0,75</b>	0,19	0,05	0,19	0,13	0,56	0,56	<b>0,00</b>

В данной таблице наибольшее сходство отмечено для источников 1 и 2 (степень сходства 0,75) и 3 и 10 (0,75). Исключая соответствующие строки и столбцы получим следующую матрицу.

Матрица сходства источников диффузного загрязнения (второй шаг) №								
	1...2	4	5	6	7	8	9	3...10
1...2	<b>0,00</b>	0,09	0,25	0,06	0,02	0,50	0,02	0,19
4	0,09	<b>0,00</b>	0,02	0,25	0,09	0,19	0,28	0,19
5	0,25	0,02	<b>0,00</b>	0,02	0,09	0,13	0,02	0,05
6	0,06	0,25	0,02	<b>0,00</b>	0,09	0,13	0,19	0,19
7	0,02	0,09	0,09	0,09	<b>0,00</b>	0,07	0,05	0,13
8	0,50	0,19	0,13	0,13	0,07	<b>0,00</b>	0,05	<b>0,56</b>
9	0,02	0,28	0,02	0,19	0,05	0,05	<b>0,00</b>	<b>0,56</b>
3...10	0,19	0,19	0,05	0,19	0,13	<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	<b>0,00</b>

Наибольшее сходство отмечено для источников 3...10 и 8 (степень сходства 0,56) и 3...10 и 9 (0,56). По результатам объединения, строится дендрограмма (рис. 5.6).

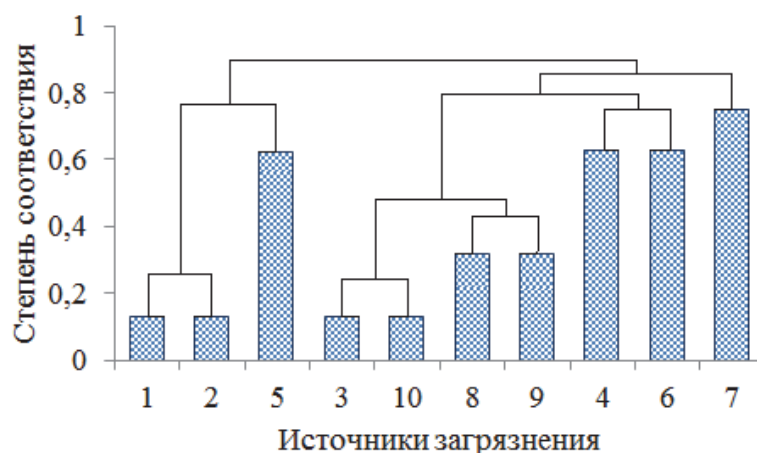


Рис. 5.6. Дендрограмма сходства диффузных источников по степени опасности загрязнения водных объектов (вертикальная шкала показывает обратные значения степени соответствия)

Выделяются три основные группы, в которую входят объекты: 1...2...5, 3...10...8...9...4...6 и 7. По степени опасности для водных объектов все источники относятся к группам от «слабой опасности» до «высокой» (табл. 5.11).

Таблице 5.11

**Классификация источников загрязнения по степени опасности. Требуемая эффективность водоохраных мероприятий (ВОМ)**

Источник	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень опасности	3	2	3	4	2	3	3	3	4	3
Характеристика опасности	Средняя	Слабая	Средняя	Высокая	Слабая	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя
Требуемая эффективность ВОМ, %	50	30	50	90	30	50	50	50	90	50

**5.2. Ранжирование водоохраных мероприятий методом попарного среднего**

Классификация источников загрязнения и водоохраных мероприятий можно проводить на основе данных об эффективности и стоимости водоохраных мероприятий. В том случае классы качества воды согласуются с необходимым набором водоохраных мероприятий, позволяющих достичь заданный уровень качества воды.



Из списка (любой сложности), возможных для осуществления мероприятий, выбираются наборы, которые позволяют достичь требуемую эффективность  $\mathcal{E}_{тр}$  (для примера принята 0,8). Требуемая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{тр} = \frac{(K_{пз}^{95\%} - K_{пз}^{\phi})}{K_{пз}^{95\%}}$$

где  $K_{пз}^{95\%}$ ,  $K_{пз}^{\phi}$  – комплексный показатель загрязнённости воды, соответственно для расчётного года и естественного фона. Вместо фонового уровня может приниматься приемлемый, т.е. возможный для достижения в конкретных условиях поэтапного планирования.

В таблице 5.12 даны возможные для реализации водоохранные мероприятия для рассредоточенных стоков, поступающих с застроенных территорий [Хрисанов, Осипов, 1993].

Таблица 5.12

**Водоохранные мероприятия и их эффективности ( $\mathcal{E}$ ) по снижению негативного влияния диффузных источников загрязнения**

№ п/п	Мероприятия	$\mathcal{E}$ ,%
1	Регулярная уборка территории	10
2	Озеленение	20
3	Замена грунтовых покрытий на твёрдые и газоны	30
4	Обустройство водоохранной зоны	70
5	Биологическое плато	85
6	Соблюдение методики хранения, транспортировки и внесения удобрений	50
7	Обвалование территории	20-40
8	Устройство отстойников	40-70
9	Организация складирования отходов	55-65
11	Создание лесополос	40-60
12	Аэрация воды	20-40
13	Снежные мелиорации	20-30
14	Залужение	5-15
15	Пруды накопители	30-50
16	Заболачивание территории	15-45
17	Закрытые поглотители	20-40

Определить наборы водоохранных мероприятий можно с помощью модернизированного «Метода взвешенного попарного среднего» [Методические указания..., 2007]. В этом случае классификация делается по эффективности мероприятий. Для реализации

приняты 5-ть мероприятий (выделены в табл. 5.12). Алгоритм классификации включает следующие шаги.

1. Составляется матрица эффективности мероприятий (матрица симметричная с нулевой диагональю). Попарная эффективность мероприятий определяется по формуле:

$$\mathfrak{E}_{i,j}^{\text{BOM}} = 1 - (1 - \mathfrak{E}_i) \times (1 - \mathfrak{E}_j),$$

где  $i, j$  – номера водоохранных мероприятий в строке и столбце матрицы.

Например, парная эффективность 1 и 2 мероприятий составит:

$$\mathfrak{E}_{1,2}^{\text{BOM}} = 1 - (1 - \mathfrak{E}_1) \times (1 - \mathfrak{E}_2) = 1 - (1 - 0,1) \times (1 - 0,2) = 0,28$$

Матрица эффективности водоохранных мероприятий (исходная)

BOM	i	1	2	3	4	5
j	0*	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>
1	<b>0,1</b>	0	0,28	0,37	0,73	0,37
2	<b>0,2</b>	0,28	0	0,44	0,76	0,44
3	<b>0,3</b>	0,37	0,44	0	0,79	0,51
4	<b>0,7</b>	0,73	0,76	0,79	0	0,79
5	<b>0,3</b>	0,37	0,44	0,51	0,79	0

\*Диагональные значения обнуляются.

2. По минимальной эффективности выделяется столбец и строка ( $\mathfrak{E}_{\min} = \mathfrak{E}_1 = 0,1$ ) (выделение кластеров), которые удаляются. Образуется новый кластер, строка и столбец которого пересчитывается по формуле:

$$\mathfrak{E}_{i+1,j}^{\text{BOM}} = 1 - (1 - \mathfrak{E}_{i+1}) \times (1 - \mathfrak{E}_j),$$

В результате матрица сокращается на одну строку и один столбец.

Матрица эффективности мероприятий (шаг первый)

BOM	I	1,2	3	4	5
j	0	<b>0,42</b>	0,56	<b>0,92</b>	0,56
2,1	<b>0,42</b>	0	0,44	0,76	0,44
3	0,56	0,44	0	0,79	0,51
4	0,92	0,76	0,79	0	0,79
5	0,56	0,44	0,51	0,79	0

Требуемая эффективность достигается проведением мероприятий 1 и 4.

3. Процедура повторяется до тех пор, пока не будут объединены все кластеры.

Матрица эффективности мероприятий (шаг второй)

ВОМ	i	1,2,3	4	5
j	0	0,75	<b>0,98</b>	0,75
2,1,3	0,75	0	0,79	0,51
4	0,98	0,79	0	0,79
5	0,75	0,51	0,79	0

Матрица эффективности мероприятий (шаг третий)

ВОМ	i	1,2,3,4	1,2,3,5
J	0	0,996	<b>0,88</b>
2,1,3,4	0,996	0	0,79
1,2,3,5	0,88	0,79	0

Требуемая эффективность достигается проведением мероприятий 1, 2, 3 и 5.

Таким образом, достижение заданного качества воды возможно с помощью двух наборов водоохраных мероприятий: 1, 4 и 1,2,3,5. Из двух наборов, в качестве рекомендуемого, принимается тот, для которого затраты будут наименьшие.

Полученные матрицы позволяют каждому классу качества воды определить соответствующий набор мероприятий, с помощью которого достигается заданный (в данном примере фоновый) уровень (табл. 5.13). При этом соблюдается условие – эффективность набора мероприятий ( $\mathcal{E}_{\text{ВОМ}}$ ) должна быть не меньше требуемой ( $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ ):  $\mathcal{E}_{\text{ВОМ}} \geq \mathcal{E}_{\text{тр}}$ .

Таблице 5.13

### Ранжирование водоохраных мероприятий по классу качества воды

Исходный класс	$\mathcal{E}_{\text{тр}}$ , %	Водоохраные мероприятия	$\mathcal{E}_{\text{ВОМ}}$ , %
Загрязнённый	67	Обустройство водоохранной зоны	70
Грязный	80	Регулярная уборка территории, обустройство водоохранной зоны	92
		Регулярная уборка территории, озеленение, замена грунтовых покрытий на твёрдые и газоны, закрытые поглотители	88
Очень грязный	90	Регулярная уборка территории, озеленение, замена грунтовых покрытий на твёрдые и газоны, закрытые поглотители, обустройство водоохранной зоны	99,6

## **Выводы**

Рассмотрена возможность использования показателя эффективности водоохранных мероприятий для их ранжирования, которое направлено на определение набора мероприятий, позволяющего достичь требуемую эффективность. Это позволяет сократить количество итерационных расчётов, т.к. найденный набор мероприятий, имеющий эффективность не меньше требуемой, из дальнейших расчётов исключается.

## **6. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВЕДЕНИЮ МОНИТОРИНГА ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Мониторинг диффузных источников загрязнения водных объектов входит в мониторинг земель, который представляет собой комплексную систему наблюдений за состоянием земельного фонда, являющуюся составной частью мониторинга компонентов окружающей природной среды и выполняющую базовую, связующую роль между другими видами мониторинга природных ресурсов, в том числе водных.

Основными целями данного мониторинга являются:

- своевременное выявление и прогноз влияния диффузных источников загрязнения на качество воды в водных объектах и их состояние;
- разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий;
- оценка эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов;
- информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе для государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

Изучение состояния земель водосбора включает в себя следующие виды работ:

- 1) геодезические и картографические работы (ст. 1 Федерального закона от 26 декабря 1995 г. N 209-ФЗ "О геодезии и картографии");
- 2) почвенные, геоботанические и другие обследования и изыскания. Почвенные обследования и изыскания могут включать:

- почвенное районирование – разделение территории на части по характеру почвенного покрова;

- почвенно-мелиоративное районирование (разделение территории по характеру почвенного покрова, природным и ирригационно-хозяйственным условиям, определяющим направленность почвообразования, приёмы агрономического и мелиоративного воздействия, скорость и характер изменения плодородия почвы под влиянием агротехники, осушения и орошения);

- составление почвенно-эрозионной карты, отображающей распределение почвы с учетом степени эродированности;

- проведение почвенных съемок (информация о качестве почв и их границах);

3) оценка качества земель – установлению экологического состояния и свойств конкретных земельных участков для определенных целей (экологическая и сельскохозяйственная оценка земли);

4) инвентаризация земель – учет и оценка земель с выявлением ее принадлежности, описанием ее основных признаков и определением технического состояния.

Задачи мониторинга диффузных источников включают:

- наблюдения за состоянием земельных ресурсов, где расположены или могут появиться диффузные источники загрязнения, определение их количественных и качественных показателей состояния, оценка их влияния на водные объекты;
- сбор, обработку и хранение сведений, полученных в результате наблюдений;
- совершенствование системы оценки допустимого воздействия на водные объекты со стороны диффузных источников.

Организацию и осуществление экологического мониторинга обеспечивают, в пределах своей компетенции, специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти [Положение об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) УТВЕРЖДЕНО постановлением Правительства Российской Федерации от 31 марта 2003 года N 177]:

- министерство природных ресурсов Российской Федерации,
- Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,

- Федеральная служба земельного кадастра России,
- министерство сельского хозяйства Российской Федерации.

### **6.1. Общие положения**

Загрязнение водных объектов, в том числе и диффузными источниками, ведет к ухудшению их экологического состояния и проблемам водохозяйственного использования. Происходит это на фоне сокращённой сети наблюдений в системе государственного мониторинга, и ослабления контроля влияния на водные и наземные объекты подверженные антропогенной деятельности.

Актуальность вопросов оценки влияния диффузных источников связана с характером и особенностью их влияния:

- большое количество диффузных источников, их разнообразие. Площади, которые они занимают, изменяются в пределах от 4% (урбанизированные территории) до 85% (площади сельскохозяйственных угодий);
- стохастический характер изменения их параметров и влияния на водные объекты;
- совместное влияние нескольких диффузных источников загрязнения, ухудшающих качество воды, это сложная, для обнаружения и разработки методов охраны, задача;
- возросла роль причинно- следственных связей. Последнее приводит к тому, что следствия, вызванные ранее какой-либо причиной, или их совокупностью, перерастают в причины.

В условиях, когда усложняются взаимосвязи и взаимозависимости в техно-природной системе, невозможно управление простыми способами. Требуется развитие многообразных структур и методов. Это в полной мере относится к мониторингу, основные требования к которому могут быть сформулированы следующим образом.

- Постоянство контроля и охват больших территорий.
- Оперативность и достоверность, на фоне относительной простоты и снижения трудоемкости.

Мониторинг диффузных источников загрязнения водных объектов предлагается на основе постоянного отслеживания изменений в земельном использовании и водных объектах современными техническими средствами.

Виды контроля диффузных источников.



1. *Периодический контроль состояния земельного фонда* – осуществляется преимущественно для выявления новых диффузных источников, оценки состояния существующих (выявление проблемных зон). Проводится не реже одного раза в год средствами авиакосмического зондирования.
2. *Постоянный контроль состояния водных объектов в зонах влияния диффузных источников* – проводится в соответствии и методиками проведения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений за водными объектами. Позволяет отслеживать влияние источников загрязнения на водные объекты, проводить анализ происходящих изменений и отклонений от естественных процессов. *Используется стационарная сеть наблюдений, методы аэрокосмического сканирования, с прогнозированием ситуации расчётными методами.*
3. *Постоянный контроль состояния диффузных источников* – проводится в соответствии с методами мониторинга состояния и использования земельных угодий.
4. *Разовый контроль* – проводится при появлении нового площадного источников загрязнения, для оценки его опасности и, на существующих объектах, для уточнения параметров.

В зависимости от видов контроля, осуществляются три группы наблюдений:

- базовые (фиксирующие состояние объектов наблюдений на начало ведения мониторинга или начало его очередного периода, например, в начале водохозяйственного года);
- регулярные (позволяющие определить проблемные области с опасностью развития негативных процессов);
- оперативные (фиксирующие текущие изменения в «аварийных» ситуациях).

## **6.2. Расположение пунктов наблюдений**

Мониторинг осуществляется диффузных источников загрязнения и водных объектов. Пункты наблюдений размещаются в зонах мониторинга.

1. Зона источника - это территория, где расположен источник загрязнения, включая площадь формирования стока воды (после выпадения осадков и таяния снега), который подвергается загрязнению при контакте с источником (рис. 6.1).

2. Зона транзитных участков – контроль прохождения загрязнённых стоков и их трансформация на участке от зоны источника до водного объекта.
3. Зона влияния источников на водные объекты. Включает водную акваторию:
  - а. для водотоков – территория в пределах береговой линии поступления загрязнённых стоков от диффузного источника плюс не менее 500 м вверх по течению и вниз по течению до полного смешения загрязнённых и речных вод;
  - б. для водоемов – территория в пределах береговой линии поступления загрязнённых стоков от диффузного источника плюс не менее 500 м с каждой стороны.
4. Фоновые зоны – участки земельного фонда и водных объектов, расположенные вне зон воздействия источников загрязнения.

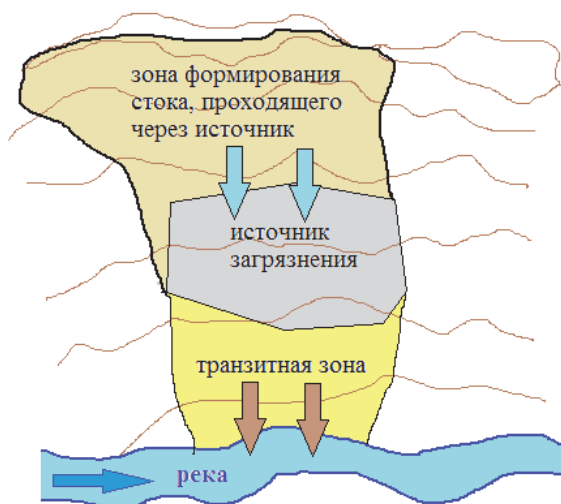


Рис. 6.1. Зоны мониторинга диффузных источников

Проведение наблюдений, в данных зонах, должны позволять:

- выявить влияние и опасность диффузного источника;
- проводить факторный анализ, для определения условий формирования объёмов загрязняющих веществ на территории диффузного источника, выявлять закономерности формирования загрязнённого стока, влияния водоохранных мероприятий и т.п.;
- оценить и прогнозировать объёмы загрязнений, формирующиеся в диффузных источниках и поступающих в водные объекты, их влияние на качество воды, изменение экологического состояния водных объектов.

Получаемые в пунктах наблюдений данные должны позволять формировать многолетние ряды контролируемых параметров водных объектов. В этом случае учитывается использование расчётных методов (особенно для неконтролируемых постоянными наблюдениями створов), в том числе методов аналогии на фоне ранжирования диффузных источников загрязнения.

### **6.3. Состав мониторинга в зоне источника диффузного загрязнения**

Состав мониторинга в зоне источника диффузного загрязнения зависит от его вида: свалки, сельскохозяйственные угодья, территории, не канализованной жилой застройки, промышленных зон и др. В задачи контроля входит:

- учёт характера водосборных площадей (например: твёрдые покрытия, газоны, грунтовые покрытия, крыши, сельскохозяйственные угодья); определение площадных параметров диффузного источника, включая характеристики рельефа;
- определение объёмов поверхностного и подземного стока воды, после выпадения осадков и таяния снега, и определение загрязнённости данных стоков.

Контроль осуществляется в соответствии с учётом формирования ливневого и талого стока. Отборы проб воды проводятся через каждые 5...10 минут в течение первых 30 минут после образования стока, далее через 20...30 минут.

### **6.4. Состав мониторинга в транзитной зоне диффузного источника загрязнений**

Транзитная зона может ослаблять негативное влияние диффузного источника, организовывать его (например, при наличии овражно-балочной системы). Особый эффект оказывает водоохранная зона (ВОЗ), которая представляют собой биогеоэкологический барьер, функциями которого являются: защита берегов от размыва; биологический дренаж; перевод поверхностного стока в грунтовый (водорегулирующая функция); снижение объёмов загрязнений поступающих в водный объект; сохранение экологических условий переходной зоны от водных к наземным системам.

Мониторинг состояния и режима использования земель транзитной зоны, и особенно состояния водоохранных зон, должно позволить выявлять процессы:

- эволюционные (естественно – исторические процессы развития);
- антропогенные (связанные с человеческой деятельностью), в том числе чрезвычайные ситуации (связанные с авариями, катастрофами, стихийными и экологическими бедствиями).

Основными задачами мониторинга, в этом случае, являются:

- своевременное выявление изменений состояния земель и объектов на них расположенных, их оценка, прогноз и выработка рекомендаций по предупреждению и устранению последствий негативных процессов;
- контроль использования и охрана земель.

Содержание мониторинга транзитных зон диффузных источников составляют систематические наблюдения (съёмки, обследования), выявление изменений и их оценка:

- состояния земель и объектов в транзитной зоне, в том числе водоохранных зон;
- процессов, связанных с формированием поверхностного и подземного стока, в том числе эрозионные, оврагообразование, подтопление и заболачивание территорий.

Оценка состояния территории выполняется путём анализа ряда последовательных наблюдений (периодических, постоянных, разовых) и сравнения полученных показателей с допустимыми (или соответствующими естественным условиям). Количество и периодичность наблюдений зависит от направленности и интенсивности изменений.

Для получения необходимой информации применяется:

- дистанционное зондирование наземных объектов транзитной зоны (съёмки и наблюдения с космических аппаратов, самолётов, средств малой авиации, беспилотных летательных аппаратов др.), что позволяет получить характеристики состояния земель на крупномасштабном уровне. Съёмки и наблюдения с помощью малой авиации и беспилотных летательных аппаратов производятся для локального изучения состояния земель и уточнения аэрокосмической информации;
- наземная съёмка и наблюдения, приводящиеся визуально, с использованием стационарных и передвижных лабораторий;

- расчётные методы, позволяющие моделировать и прогнозировать изменение ситуации на объекте, выявлять потенциально опасные зоны, осуществлять оперативное и перспективное планирование природоохранной деятельности.

### **6.5. Мониторинг качества воды водного объекта**

В общую программу определения качества воды водных объектов входят: температура воды, взвешенные вещества, минерализация, цветность, кислотность, растворенный кислород, БПК, ХПК, запах, ионы водной вытяжки, биогенные компоненты, нефтепродукты, фенолы, пестициды, соединения тяжёлых металлов и другие, в зависимости от особенностей загрязнения и важности водного объекта.

Наблюдения за изменением качества воды проводятся с помощью:

- сети стационарных наблюдений (определяются гидрологические, гидрохимические и гидробиологические показатели, по полной или сокращённой схеме. Периодичность наблюдений должна обеспечивать необходимую автокорреляционную связь между показателями);
- расчётных методов (по мере накопления данных проверяются или устанавливаются связи между параметрами и закономерности их изменения). Это позволит сократить количество определяемых параметров и увеличить интервал между проведением наблюдений);
- передвижных станций, при проведении разовых наблюдений (проводится обследование по интересующим параметрам);
- применения летательных аппаратов (отслеживается распространение специфических загрязнений и изменение параметров, для которых определены связи с параметрами сканирования, такими как яркость, цвет и др.).

Проведение мониторинговых исследований должно учитывать:

- специфические загрязнения свойственные конкретным водным объектам;
- общие для всех водных объектов показатели и показатели свойственные природным водам.

На основе получаемой информации развиваются расчётные методы, направленные на выявление зависимостей и закономерностей происходящих изменений, с целью прогноза и планирования мероприятий.

## **6.6. Методы мониторинга**

### **6.6.1. Методы биотестирования состояния водных объектов**

Биотестирование реализуется методами позволяющими получать оценку состояния водных сообществ, с помощью которых можно отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы, с существенными изменениями, вызванные внешними, в первую очередь – антропогенными, воздействиями. Систематический контроль изменения выбранных оценок состояния составляет основу биологической части экологического мониторинга. Выявление физико-химических изменений экосистемы позволит отслеживать изменение условий существования биоты и количественно определять ее выход за установленные границы стабильного существования. Это математические методы анализа, позволяющие установить экологически допустимые уровни воздействия (ЭДУ) на водные системы.

К методам биотестирования предъявляются требования:

- относительная простота, позволяющая проводить исследования техническому персоналу службы мониторинга;
- достоверность и сопоставимость результатов;
- оперативность и объективность получаемой информации;
- низкая относительная стоимость.

Биологические методы могут использоваться для оценки качества воды водного объекта (в основном биоиндикация) и загрязнённости поверхностных и подземных вод (в основном биотестирование).

### **6.6.2. Расчётные методы мониторинга**

Наблюдения за изменением параметров состояния водного объекта могут быть прямыми и опосредованными. Многие параметры, характеризующие природные процессы, трудноизмеримы. В этом случае прибегают к вычислению их через величины, массовое измерение которых налажено в системе контроля состояния окружающей среды. Понятия мониторинга в этом случае расширяется. Появляется возможность не только измерять базовые параметры,



но выполнять прогноз тех параметров, измерение которых затруднено или невозможно. В этом случае речь идёт о расчётном мониторинге [Шабанов, Тоньшин, 2001].

Цель расчётного мониторинга связана с необходимостью принятия управляющих решений при возникновении или угрозе возникновения негативного проявления природных или антропогенных процессов.

Основными задачами являются:

- своевременное выявление изменений состояния водного объекта;
- оценка и прогноз происходящих изменений;
- выработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных последствий;
- информационное обеспечение заинтересованных лиц.

Расчётный мониторинг может использоваться и для оперативного слежения за состоянием контролируемого объекта (оперативный или дежурный мониторинг), который ведётся с использованием данных базового и периодического мониторинга. Полученные результаты при этом легко совмещаются с банками данных автоматизированных информационных систем. Данные, получаемые при непосредственных наблюдениях или в результате расчётного мониторинга, могут обобщаться по водным объектам и водохозяйственным участкам.

Моделирование, проводимое в рамках расчётного мониторинга, даёт возможность выявить и обратить внимание, прежде всего на потенциально опасные, с экологической точки зрения, места и, в первую очередь там, планировать проведение инструментального мониторинга для детального изучения причин неблагоприятной экологической ситуации.

### **6.6.3. Методы аэрокосмического наблюдения**

Дистанционные методы контроля используют спутниковые системы, пилотируемые и беспилотные летательные аппараты [Методические рекомендации по дистанционным методам..., 1987].

Спутниковые изображения могут быть выполнены в видимой, ультрафиолетовой, инфракрасной части спектра, с помощью радарной съёмки. Дешифрование и анализ спутниковых снимков выполняется с помощью автоматизированных программных комплексов,

которые позволяют подготавливать снимки для использования в ГИС и САПР.

Спутниковые фотографии имеют, на сегодняшний день, разрешающую способность 60 см (в массовом использовании задействованы аппараты с разрешением 6м), а в перспективе позволят опознавать объекты на поверхности Земли размером менее полуметра. В последнее время при производстве аэрофотосъёмки используются системы GPS и ГЛОНАСС.

### **Выводы**

В соответствии с законодательством Российской Федерации, мониторинг диффузных источников и водных объектов, на которые они оказывают влияние, представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза состояния водных объектов, состояние самих диффузных источников загрязнения и транзитной зоны.

Все объекты наблюдений подвергаются мониторингу по единой методике, с привлечением комплекса методов.

При мониторинге диффузных источников основными методами авиакосмические и наземные (для выявления источников загрязнения), расчётные.

При мониторинге водного объекта основным методом оценки качества воды являются наземные инструментальные. Причём оценка качества воды проводится преимущественно биологическими методами (важно зафиксировать факт воздействия диффузного источника, поскольку провести очистку неорганизованного стока по конкретному веществу или даже группе не возможно). Особое положение занимают прогностические методы.

Мониторинг состояния земель и угодий проводится в основном с помощью авиакосмической разведки (для малых объектов – визуально или с помощью беспилотных летательных аппаратов).

Таким образом, предлагаемое направление развития мониторинга, основано на постоянном контроле источников диффузного загрязнения и водных объектов современными техническими средствами. Развитие пригодных, для разных уровней мониторинга, методов прогноза и оценки состояния объектов, которые проверяются и корректируются периодическим контролем фактического состояния.

## 7. ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К РАНЖИРОВАНИЮ ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ<sup>4</sup>

Снижение уровня диффузного загрязнения водных объектов осуществляется снижением поступления в них веществ с водосборной площади. Учитывая, что загрязняющие вещества поступают с поверхностным и подземным стоком, водоохранные мероприятия направляются на перехват данных потоков. При этом уместно говорить о водоохранных мероприятиях, как о биогеохимических барьерах [Голованов и др., 2008; Шабанов, Бунина, 2004]. Например, лесные насаждения, осушительная система, специальные сооружения, которые собирают и транспортируют сток в биологические утилизаторы. Создание искусственных биогеохимических барьеров позволяет ввести загрязняющие вещества, в первую очередь биогенные, в биологический круговорот [Добрачев, 2011]. В этом случае существенную роль биологического концентратора выполняют растения.

Для разработки принципов ранжирования биогеохимических барьеров, как водоохранных мероприятий, целесообразно использовать классификации диффузных источников, как элементов ландшафта. Этому соответствуют классификации ландшафтов Глазовской – Польшовой [Геохимия, 1961] по типам их геохимических сопряжений [Голованов и др., 2005]. Выделяют следующие основные разновидности ландшафтов: элювиальный, аквальный. На рисунке 7.1 показаны типы ландшафтов, которые учитывают стоковые (перемещающие загрязнители) составляющие водного баланса территории. В связи с чем, уместно использовать терминологию описания типов водного питания (по Брудастову). Это обосновано и тем, что типы водного питания выделяют поверхностные и подземные потоки воды, которые являются причиной выноса веществ с земель в водные объекты.

Элювиальный ландшафт формируется при атмосферном типе водного питания. Основные составляющие общего водного баланса включают: осадки ( $O_c$ ), испарение ( $E$ ) и слабый поверхностный отток ( $O_{T_{эл}}$ ):

$$\Delta W = O_c - E - O_{T_{эл}}$$

---

<sup>4</sup> Глава написана по работам Буниной Н. П. и Шабанова В.В.

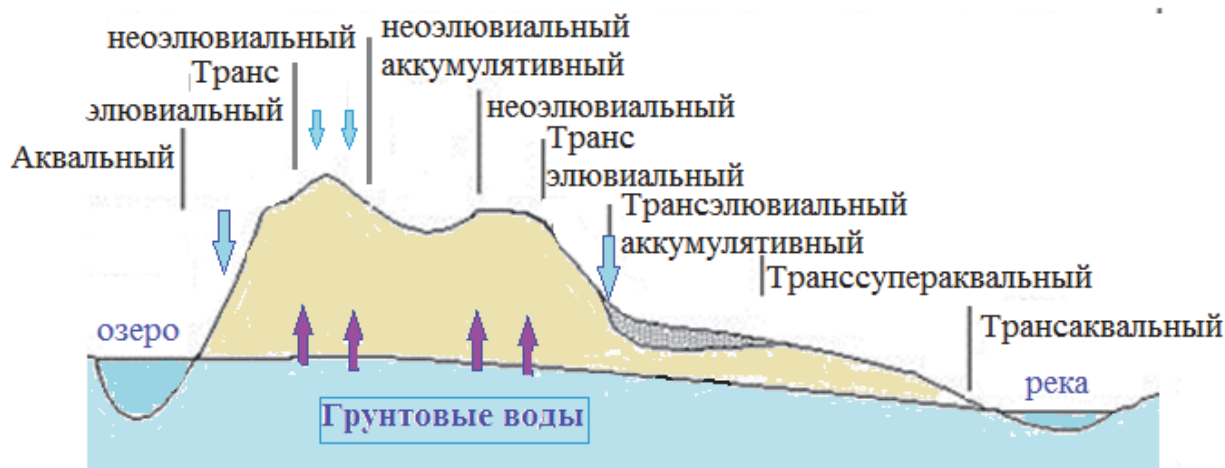


Рис. 7.1. Распределение элементарных ландшафтов (по Глазовской М.А.)

Неоэлювиальный-аккумулятивный ландшафт характеризуется увеличением роли подземного оттока ( $\underline{O}_{Т_{нэл}}$ ) и поверхностного притока ( $\underline{P}_{нэл}$ ) воды:

$$\Delta W = O_c - E + \underline{P}_{нэл} - \underline{O}_{Т_{нэл}} \quad \underline{P}_{нэл} = \underline{O}_{Т_{эл}}$$

Трансэлювиальный формируется при склоновом типе питания, где усилена роль поверхностного и подземного оттока воды:

$$\Delta W = O_c - E + \underline{P}_{тэл} - \underline{O}_{Т_{тэл}} - \underline{O}_{Т_{тэл}} \quad \underline{P}_{тэл} = \underline{O}_{Т_{эл}}$$

Трансэлювиальный-аккумулятивный ландшафт способствует формированию, как поверхностных, так и подземных составляющих стока:

$$\Delta W = O_c - E + \underline{P}_{тэак} + \underline{P}_{тэак} - \underline{O}_{Т_{тэак}} - \underline{O}_{Т_{тэак}} \\ \underline{P}_{тэак} = \underline{O}_{Т_{эл}} \quad \underline{P}_{тэак} = \underline{O}_{Т_{тэл}}$$

Супераквальный (гидроморфный) – при грунтовом типе водного питания, при этом трансупераквальный характеризуется высокой ролью подземного оттока и притока.

$$\Delta W = O_c - E + \underline{P}_{тсак} + \underline{P}_{тсак} - \underline{O}_{Т_{тсак}} - \underline{O}_{Т_{тсак}}$$

$$\underline{P}_{тсак} = \underline{O}_{Т_{тэак}} + \underline{O}_{Т_{тэл}} \quad \underline{P}_{тсак} = \underline{O}_{Т_{тэак}} + \underline{O}_{Т_{тэл}}$$

Уравнения баланса показывают, что связь типов ландшафтов и типов водного питания обусловлена связями между элементарными ландшафтами. Это в свою очередь позволяет дифференцировать последние по условиям миграции водно-химического потока.

В элювиальной группе ландшафтов выделяются четыре типа миграции геохимических элементов:

- элювиальный тип (формируется на плоских возвышенностях, хорошо дренированных равнинах);

- трансэлювиальный тип (приурочен к верхним частям склонов);
- элювиально-аккумулятивный (нижние части склонов и сухие ложбины);
- аккумулятивно-элювиальный (местные замкнутые понижения с глубоким уровнем грунтовых вод).

В супераквальной группе ландшафтов выделяются два типа миграции химических элементов:

- трансупераквальный тип (территории с малыми уклонами, включая пойменные участки);
- супераквальные (замкнутые понижения со слабым водообменом).

В субаквальной группе ландшафтов также выделяются два типа миграции химических элементов:

- трансаквальный (реки, проточные озера);
- аквальный (непроточные озера).

Наблюдается устойчивая связь между ландшафтным элементом и процессом поступления загрязняющих веществ [Джорж Фортестью, 1985]. Учитывая связь между ландшафтом и типом водного питания можно полагать, что существует связь между типом водного питания, и типом загрязнения. ***Под типом загрязнения понимается основное направление поступления на территорию и выхода с неё загрязнённых потоков, под воздействием которых формируется режим загрязнения.*** Так, по классификации А.Д. Брудастова выделяются пять типов водного питания земель: атмосферный, грунтовый (бассейн грунтовых вод и поток грунтовых вод), грунтово-напорный, склоновый (делювиальный), намывной (аллювиальный). Учитывая, что с потоком воды на рассматриваемый массив поступают загрязняющие вещества, то каждый тип водного питания характеризует направление загрязняющего потока [Шабанов, 1997]. В соответствии с этим, типы загрязнения могут быть следующими (по Буниной Н.П. и Шабанову В.В.):

- атмосферный (который включает: атмосферный – элювиальный; атмосферный – трансэлювиальный; атмосферный – супераквальный; атмосферный – аквальный);
- грунтовый (грунтовый – супераквальный; грунтовый – аквальный);
- грунтово-напорный (грунтово-напорный – элювиальный; грунтово-напорный – трансэлювиальный; грунтово-



напорный – супераквальный; грунтово-напорный – аквальный);

- склоновый (склоновый – трансэлювиальный);
- намывной (намывной – супераквальный).

Такая классификация даёт возможность каждому типу загрязнения поставить в соответствие свой метод управления качеством природных водных и почвенных объектов. Например, атмосферный тип загрязнения преобладает на повышенных водоразделах и равнинах, сложенных глинистыми и суглинистыми грунтами с малыми уклонами поверхности и имеющими на глубине 30...70 см практически водонепроницаемые глеевые горизонты. В случае формирования в данных условиях источника загрязнений, загрязняющие вещества накапливаются в почве. Таким образом, ландшафт имеет низкий потенциал самоочищения, что способствует его низкой опасности как источника загрязнения водных объектов. Водоохранные мероприятия связаны с перехватом поверхностного стока на присклоновых участках.

При грунтовом типе питания, загрязняющие вещества, в основном, переносятся грунтовыми водами, формирующимися в пределах массива за счёт инфильтрации загрязнённых атмосферных осадков и притока загрязнённых поверхностных вод со стороны (бассейн грунтовых вод), или за счёт притока загрязнённых грунтовых вод со стороны (поток грунтовых вод). Этот тип загрязнения преобладает в низинах и нижних частях склонов с хорошо проницаемыми грунтами. Глубина залегания грунтовых вод в весенний период колеблется от 0 до 1,2 м. В данном случае возрастает опасность загрязнения грунтовых вод. Ландшафт имеет высокий потенциал самоочищения и представляет опасность загрязнения подземных поверхностных водных объектов. Водоохранные мероприятия направляются на организацию стока (дренирование) и направление его на биологические плато.

При грунтово-напорном типе загрязнения поступление загрязняющих веществ осуществляется подземными водами, которые могут быть загрязнены на значительном расстоянии от охраняемого объекта. Загрязнённые подземные воды находятся во втором от поверхности водоносном горизонте, отделённом от грунтовых вод слабопроницаемым пластом. Восходящий поток загрязнённых подземных вод проходит через «окна» в водоупоре – тектонические трещины, карстовые воронки и другие, более проницаемые места в



водоупоре. Уровни грунтовых вод и вертикальные потоки обычно стабильны, интенсивность загрязнения зависит от концентрации загрязняющих веществ и интенсивности вертикального потока. Этот тип загрязнения может проявиться на болотах или отдельных участках болот, расположенных в глубоких понижениях, в силу чего ландшафт имеет низкий потенциал самоочищения. Однако, болото является естественным «очистным сооружением» и водоохранные мероприятия направляются на контроль экологического состояния и повышение очищающей способности.

При склоновом (делювиальном) типе загрязнения вещества переносятся водами, стекающими со склонов. Этот тип загрязнения проявляется на склонах, сложенных тяжёлыми почвами, или у их подножья. Загрязняющие вещества могут поступать с поверхностным стоком с вышележащей площади, а сам ландшафт, в случае формирования на нем источника загрязнений, представляет повышенную опасность поверхностным и подземным стоком. Данный ландшафт имеет высокий потенциал самоочищения и представляет наибольшую опасность для поверхностных водных объектов. Мероприятия по охране вод связаны со следующим:

- задержание стоков (путём устройства закрытых, открытых поглотителей);
- повышение гидравлической шероховатости склонов (высадка лесополос, кулисная высадка сельскохозяйственных культур);
- организацией и направлением стоков на биологические плато.

В случае больших площадей, включающих разные типы загрязнений, проектируется сеть искусственных биогеохимических барьеров, соответствующих каждому типу загрязнения. Либо определяется тип загрязнения, под влиянием которого находится большая часть массива и проектируется природоохранная система, ориентированная на этот тип загрязнения.

Количественная характеристика типа загрязнения, необходимая для определения параметров природоохранной системы, определяется с помощью гидрохимического баланса. Он позволяет выявить соотношение между приходом и расходом влаги и загрязняющих веществ за определённый период времени.

Для экспертных оценок типа загрязнения можно использовать качественный метод, заключающийся в сравнении природных ус-

ловий с характерным признаком каждого типа загрязнения (табл. 7.1).

Размещение биогеохимических барьеров требует глубокого научного обоснования и прогноза поведения веществ на барьере в течение продолжительного времени [Шабанов, 2005; Шабанов, Бунина, 2007; Максимов, 2010]. Однако точный прогноз момента, в который барьер может «раскрыться» и накопленные за многие годы вещества выйдут за его пределы и принесут значительный ущерб окружающей территории, предстоит разрабатывать.

Загрязнённость поверхностного стока находится в прямой зависимости от распаханности водосборов и доз внесения удобрений (коэффициент корреляции составляет 0,72...0,99). Размещение биогеохимических барьеров, в первую очередь, необходимо планировать вокруг охраняемых объектов, в частности, водных.

### 7.1. Виды барьеров и их классификация

Биогеохимический барьер задерживает часть загрязнений, а другая часть мигрирует. Состав и количество удерживаемых загрязнений, во многом, зависит от почв и определяется их показателями. Например: содержание и состав гумуса; кислотнo-щелочные и окислительно-восстановительные условия; сорбционная способность; интенсивность биологического поглощения и др. Оценка этих количественных показателей лежит в основе выделения ландшафтно-геохимических барьеров. Техногенные геохимические барьеры делятся на две группы: нейтрализационные (осаждающие) и поглотительные.

Таблице 7.1

#### Соответствие характеристик ландшафта и типа загрязнения

Тип загрязнения	Основной источник загрязнения	Условия формирования
1. Атмосферный	Загрязнённые атмосферные осадки, выпадающие на водосборе или над водоемом	Водораздельные земли и верхние части склонов с малыми уклонами, со слабопроницаемыми грунтами (глины, тяжелые суглинки) и с глубоким залеганием грунтовых вод (3-5 м)
2. Грунтовый	Неглубоко залегающие загрязнённые грунтовые воды	Земли, представленные песками, супесями и низинными торфами, реже – переходными торфами
2.1. Поток загрязнённых грунто-		Низинные болота, расположенные в понижениях рельефа, осо-

вых вод		бенно в поймах и на нижних частях склонов
2.2. Поток фильтрационных вод из водохранилищ и рек		Высокое стояние загрязненных вод в гидрографической сети
2.3. Бассейн загрязнённых грунтовых вод		Плоские слабодренированные равнины, сложенные проницаемыми грунтами, – пески, супеси. Уклоны грунтовых вод малые
<b>3. Грунтово-напорный</b>	Загрязнённые воды напорного водоносного горизонта, перекрытого сверху слабоводопроницаемыми грунтами	Выклинивание напорных вод через гидрогеологические «окна» в водоупоре (низинные болота в притеррасных частях пойм), площадное выклинивание напорных вод (грунтовые воды подпитываются напорными), капиллярное загрязнение (слабоводопроницаемые покровные отложения – глины, тяжёлые суглинки, характеризуются большой высотой капиллярного поднятия и отсутствием грунтовых вод)
<b>4. Склоновый</b>	Загрязнение в результате поступления поверхностного стока с прилегающих.	Слабодренированные участки склонов, сложенные слабопроницаемыми грунтами: тяжёлые супеси – глины.

Нейтрализационные барьеры создаются для изменения миграционных форм техногенных потоков, меняя в них кислотно-щелочные условия и переводя загрязняющие вещества в малоподвижные или нерастворимые формы. Такие барьеры могут использоваться, например, при загрязнении атмосферного типа кислотными осадками.

Поглотительные барьеры работают на основе использования механизмов физико-химической или «биологической» сорбции, то есть поглощения химических веществ растениями. Растения, как биологический элемент, приближают техногенные геохимические барьеры к естественным и в этом случае барьер становится биогеохимическим. Последние могут использоваться при любом типе загрязнений.

Учитывая масштабы и опасность, которую представляют для водных объектов сельскохозяйственных угодий, создание биогео-

химических барьеров для агроландшафтов требует их отдельной классификации. Так по форме барьеры делятся на виды:

- контурные (например, лесополосы, водоохранные зоны);
- площадные (например, почвы, болота, залесенные участки);

по эффективности задержания потоков на:

- статические;
- динамические, барьерные свойства, которых можно поддерживать только при оптимальном управлении их водным, тепловым и химическим режимами.

Естественными барьерами служат природные объекты агроландшафта (заболоченный луг, пруд, болото, кустарники, леса, почвенные слои и др.). Для повышения эффективности их работы используются специальные инженерные сооружения и мероприятия. Они направляют загрязнённые воды к биологическим концентраторам (в первую очередь, это растения), удерживают их необходимое время в контакте с корневой системой и отводят излишки очищенных вод [Добрачев, 1995; Мусаев, 2014]. Наиболее распространённым естественным биогеохимическим барьером является почвенно-грунтовая толща. Эффективность ее работы, как барьера, определяется поглощающей способностью в отношении задерживаемых элементов, и зависит от свойств почво-грунта, состава загрязнителей и гидротермического режима. Так, слой почво-грунтов зоны аэрации служит динамическим биогеохимическим барьером. Поддерживая в нем режим равновесного водообмена, можно удерживать биогенные вещества в системе «грунтовые воды – почва – растение». При сбалансированности восходящих и нисходящих потоков влаги за отдельные периоды создаются наилучшие условия для развития растений [Булнина, и др. 1993]. При таком режиме вещества, находящиеся в почвенном растворе, включаются в биологический круговорот или находятся в динамическом равновесии в системе не выходят за ее пределы.

## **7.2. Реализация биогеохимических барьеров**

Реализация техногенных барьеров, сформированных на основе природных, наиболее просто и с меньшими затратами, возможна при осушении низинных торфяников. Вынос загрязнений с осушаемого болота может быть перехвачен на динамическом биогеохимическом барьере, в котором действует комплекс факторов (ак-

тивный контакт с кислородом, испарение, сорбция, поглощение растениями, осаждение).

Почва является площадным геохимическим барьером, но без специальных инженерных сооружений или мероприятий, создающих оптимальный гидрохимический режим, она не в состоянии осуществить барьерные функции в полной мере. Статический барьерный эффект создаётся изменением водно-физических и химических характеристик почвы, тем самым управляя ее проводящими и сорбционными (ёмкостными) свойствами.

Известны способы торфования минеральных и землевания торфяных почв, известкования и гипсования, соответственно кислых и щелочных почв. При этом формируется сорбционный геохимический барьер.

Заболоченные земли можно использовать в качестве пространственного биогеохимического барьера, который является одним из немногих методов нейтрализации эмиссии биогенов, поступающих от диффузных источников.

Известна водорегулирующая роль естественных угодий, в том числе лесов (рис. 7.2, 7.3).

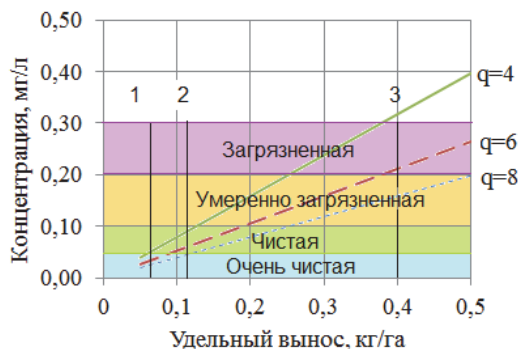


Рис. 7.2. Соответствие классов качества воды для разных видов угодий (1 – леса, 2 – луга, 3 – болота), для разных модулей стока ( $q$ , л/с·км<sup>2</sup>)

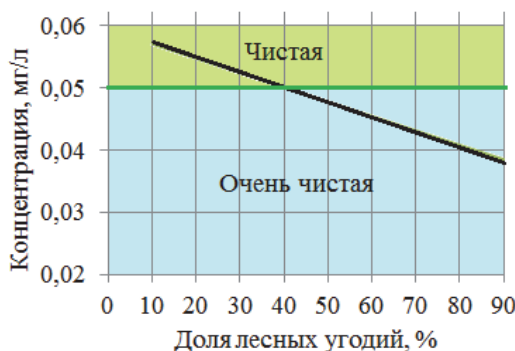


Рис. 7.3. Изменение классов качества воды в зависимости от залесенности (fлес) водосборной площади (площадь лугов 100–fлес, заболоченность 1%)

Их эффективность можно проследить используя связь экологически допустимой биогенной нагрузки на реки и площади естественных угодий (лесов и лугов) водосбора [Маркин, Горбачева, 2001] (рис. 7.4):

$$g_{\text{доп}} = g_e \times [K \times T \times (1 + 3 \times C_v) - f_e] / (1 - f_e),$$

где  $g_{\text{доп}}$  – допустимый вынос биогенного веществ с с/х угодий в водный объект с водосборной площади, кг/га;  $g_e$  – вынос биогенного вещества с естественных угодий (например, лесов, лугов), кг/га;  $K$  – коэффициент самоочищения воды, 1/сут.;  $T$  – продолжительность тёплого периода года, сут.;  $C_v$  – коэффициент вариации стока;  $f_e$  – доля естественных угодий от площади бассейна (например, залесенность, залуженность).

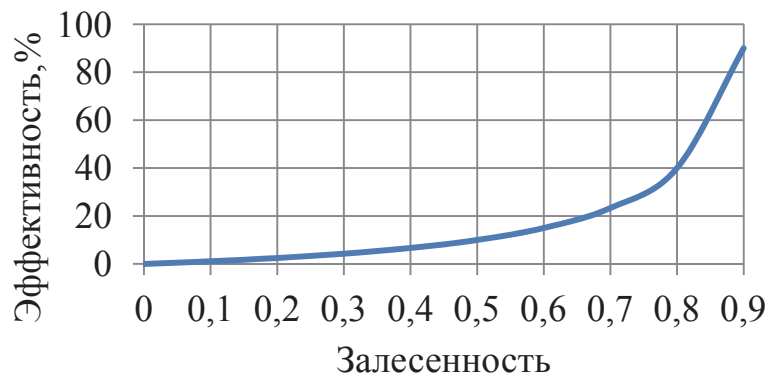


Рис. 7.4. Эффективность лесных угодий по снижению загрязнённости рек

В лесополосах водопоглощение в 2...5 раз выше, чем на полевых участках. При этом водопоглощение в полосе с кустарником в 2,3 раза больше, чем без кустарника. Кустарники задерживают твердую фракцию, но незначительно снижают концентрацию водорастворимых соединений азота.

Усиление водоохранной роли лесных полос может быть достигнуто созданием простейших гидротехнических сооружений. Например, открытых и закрытых собирателей загрязненного стока, нагорных и ловчих каналов, перехватывающих сток и подводящий его к биоконцентраторам. Сооружение канав веерного типа обеспечивает повышение эффективности лесных насаждений и позволяет задерживать до 10...30 т/га твердых веществ [Величко, 1986].

В очистке загрязненного стока поступающего с полей (загрязнение склонового и грунтового типа) принимает участие не весь лес, а только та его часть, через которую проходит загрязненный



сток, так называемый рабочий участок. Обычно это облесенные ложбины, лесные полосы и опушки леса, расположенные перпендикулярно направлению стока, облесенные днища балок и т.д. Наибольшая нагрузка со стороны загрязненных вод ложится на начало лесных полос (опушки). В этих местах наблюдается самое интенсивное изменение концентраций азотных и фосфорных соединений. Что же касается других компонентов химического состава вод, то содержание их в большей степени лимитируется глубиной залегания вод и разнообразием почвенных горизонтов. Для большинства почвенных экотонов, то есть переходных зон между лесными насаждениями и распаханymi частями склонов, характерна более низкая кислотность по сравнению с почвами, находящимися под растительностью в глубине лесных насаждений. Почвы экотонов содержат обычно меньше гумуса, азота, но богаче фосфорными и калийными соединениями. В экотоне и в зоне 5...10 м от него наблюдается изменение водно-физических свойств почв: увеличение плотности; уменьшение водопоглотительной способности и водопроницаемости. Увеличение эффективности биогехимического барьера возможно за счет фигурного (например, шахматного) расположения его отдельных элементов.

Возможность создания искусственных биогехимических барьеров во многом заложена в конструкции мелиоративных систем. Это вытекает из типизации загрязнений, которые достаточно хорошо коррелируются с типами водного питания. Примером тому служат замкнутые осушительно-оросительные системы, состоящие из регулирующей сети, проводящей сети, прудонакопителя дренажных стоков и оросительной сети, подающей воду из прудонакопителя на осушаемый участок в засушливые периоды. При правильном управлении такой системой можно достаточно полно удерживать биогены в биологическом цикле. Сложность управления обуславливается, с одной стороны, стохастичностью во времени погодных условий, а с другой – стохастичностью в пространстве характеристик почво-грунтов. Все это требует разработки специальных методов прогноза поведения биогенов в динамическом геохимическом барьере.

Конструктивные особенности биогехимических барьеров обусловлены природоохранными мероприятиями, которые, в свою очередь, обуславливаются типами загрязнения. Так, основные природоохранные мероприятия при атмосферном загрязнении – удале-

ние загрязнённых вод с поверхности путём ускорения поверхностного стока, нейтрализация загрязнённых (например, подкислённых вод), концентрация загрязнителя на биогеохимическом барьере или накопление их в растительной массе. Технические методы борьбы с атмосферным загрязнением включают: увеличение уклона; уменьшение гидравлической шероховатости поверхности земли; ликвидацию бессточных понижений; повышение впитывающей, аккумулирующей и сорбционной способности почво-грунтов (рыхление почв, устройство поглотителей и нейтрализаторов) (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Схема управления стоком при атмосферном типе загрязнения

При загрязнении грунтового типа основными природоохранными мероприятиями могут быть: понижение уровня грунтовых вод (при сельскохозяйственном использовании территории - ниже корнеобитаемой зоны и высоты капиллярного поднятия); регулирование уровней грунтовых вод для интенсификации работы нейтрализаторов и концентраторов загрязняющих веществ (рис. 7.6).

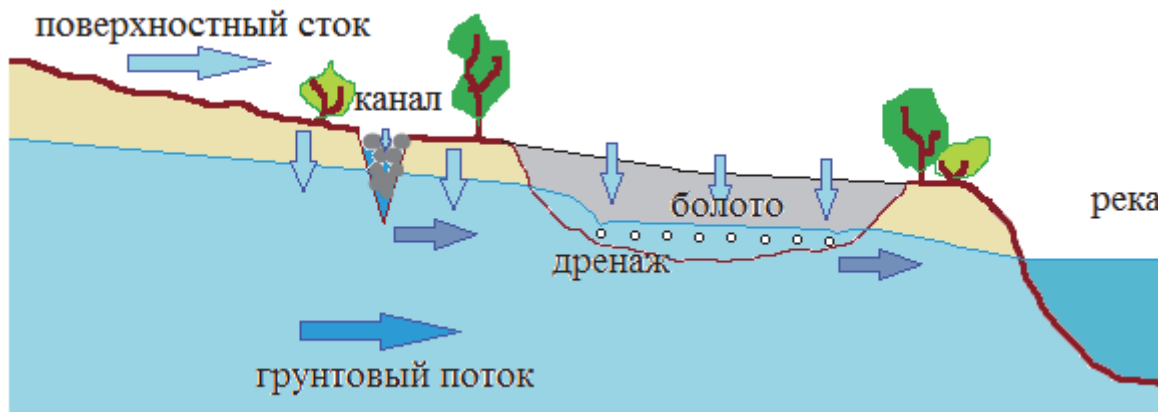


Рис. 7.6. Схема управления стоком при грунтовом типе загрязнения

При грунтово-напорном загрязнении основные мероприятия заключаются в снижении напорности загрязнённого водоносного пласта, после чего тип загрязнения переходит в грунтовый.

При склоновом загрязнении основное природоохранное мероприятие – перехват склонового стока (поперечное бороздование, лункование склонов, посадка водорегулирующих лесополос (рис. 7.7).

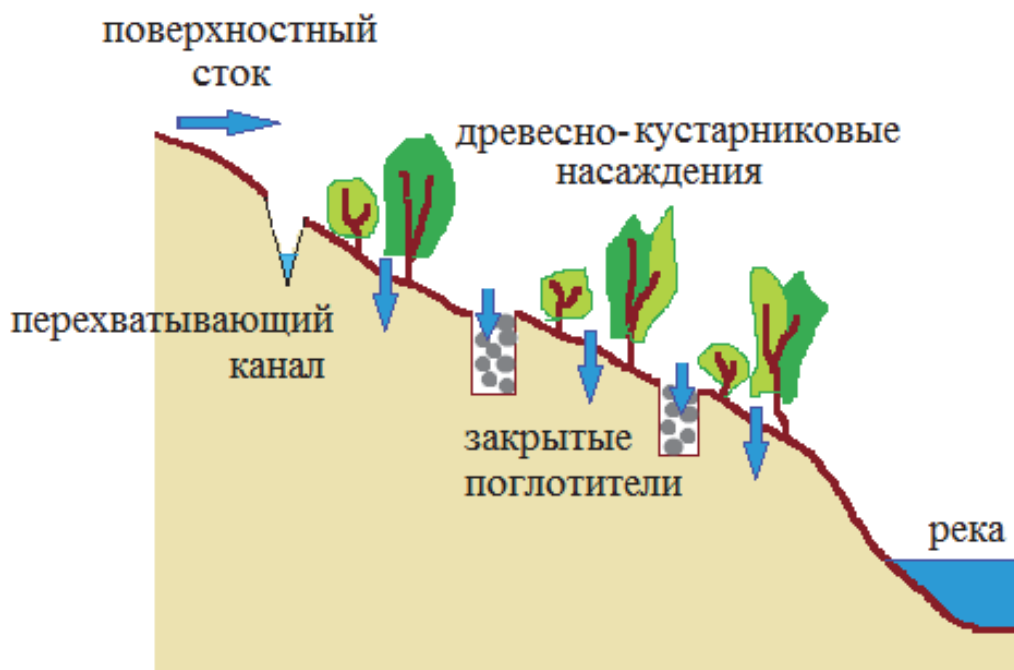


Рис. 7.7. Схема управления стоком при склоновом типе загрязнения

При загрязнении намывного типа основные природоохранные мероприятия – регулирование стока (ускорение или задержка паводков) и защита территорий в долинах и поймах путём устройства дамб или валов (рис. 7.8).



Рис. 7.8. Схема управления стоком при намывном типе загрязнения

Как видно из рисунков, все схемы управления загрязнённым потоком в качестве обязательного элемента включают биологический концентратор загрязняющего вещества в виде травянистой, кустарниковой и древесной растительности. Залесенность изменяется в зависимости от типа ландшафта и механического состояния почв (рис. 7.9, 7.10).

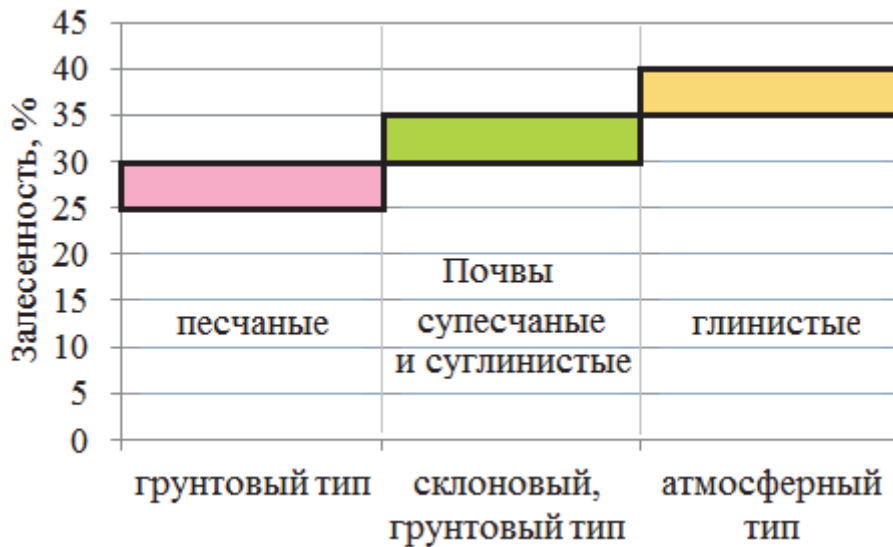


Рис. 7.9. Рекомендуемая залесенность ландшафтов при разном типе загрязнения и почв (холмистый ландшафт)

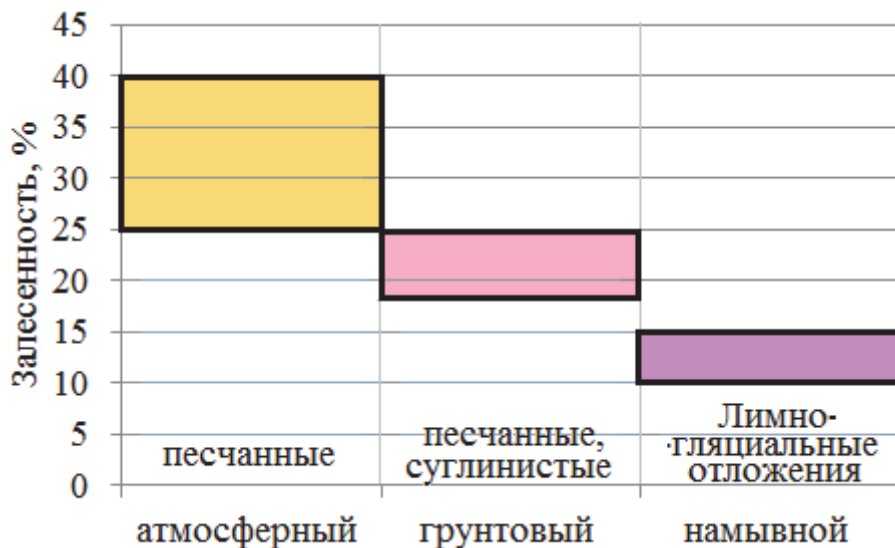


Рис. 7.10. Рекомендуемая залесенность ландшафтов при разном типе загрязнения и почв (равнинный ландшафт)

В процессе функционирования биогеохимического барьера (в том числе и выполненного в виде лесной полосы) происходит постепенное ухудшение его водопоглотительных и сорбционных свойств, поэтому необходим мониторинг их состояния и использования.

Конкретно места размещения барьеров зависят от многих параметров – структуры рельефа; крутизны, формы и протяжённости склонов (табл. 7.2).

Таблице 7.2

**Параметры размещения биогеохимических барьеров (лесных насаждений) для охраны агроландшафта [Паулюквичус, 1989]**

Тип рельефа	Механический состав почв	Оптимальная площадь открытого пространства, М	Необходимая длина экотонов, м	Оптимальное расстояние между лесными насаждениями, м
Равнинный	Пески, гравий, супеси	30...40	1500...1800	500...800
	Суглинки, глины	60...80	2300...2500	600...1000
Холмистый	Пески, гравий, супеси	15...20	1200...1400	400...500
	Средние и тяжёлые суглинки, глины	45...50	2500...2800	600...800

Представленная типизация загрязнений водосборов и соответствующие им методы организации потоков загрязняющих веществ позволяют создавать систему биогеохимических барьеров, как элементов культурного ландшафта.

Искусственные и естественные биогеохимические барьеры позволяют повышать качество воды в водных объектах, одновременно решая вопросы повышения разнообразия ландшафта и его устойчивости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены диффузные источники загрязнения водных объектов, как проблемные с точки зрения контроля и возможности управления, идущими с них загрязнёнными потоками. Для целей эффективного управления потоками требуется:

- осуществление мониторинга системы «водосбор - водный объект»;
- ранжирование источников загрязнения;
- ранжирование водоохранных мероприятий.

Развитие мониторинга основано на постоянном контроле источников диффузного загрязнения и водных объектов современными техническими средствами. Основными методами, видятся, авиакосмические (в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов), наземные и расчётные (прогностические). При оценке качества воды преимущество отдаётся биологическим методам.

Ранжирование диффузных источников загрязнения предлагается на основе ландшафтного подхода. Это позволяет связать типы водного питания территории с типами загрязнений, а это, в свою очередь, позволяет учесть те потоки воды, которые и являются причиной вымыва загрязнений с территорий. Управление данными потоками воды и содержащимися в них загрязняющими веществами подразумевает их перехват, транспортировку и аккумуляцию. Это в свою очередь эффективно осуществляется с помощью способов биологического или инженерного осушения. Водоохранные мероприятия в этом случае рассматриваются как биогеохимические барьеры.

Ранжирование водоохранных мероприятий проводится с целью определения оптимального набора мер, позволяющих управлять качеством воды водных объектов. Предлагается эколого-экономический подход. Экологическое обоснование использует критерий эффективности водоохранных мероприятий, что позволяет сформировать разные комплексы мер достижения требуемого качества воды в водном объекте. Экономическое обоснование связано с выбором определённого комплекса водоохранных мероприятий.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 41-51.
2. Аверьянов С.Ф. Статистические характеристики физических и химических свойств осушаемых торфяных почв / С.Ф. Аверьянов, В.В. Шабанов, Е.П. Рудаченко, В.Н. Щипакин, В.А. Мухина, В.М. Лавриченко. // Труды МГМИ, вып. "Сельскохозяйственные мелиорации", т. XXXVI, 1974. С. 70-74.
3. Бунина Н. П., Шабанов В.В., Федоров С.А., Ермошин В.Г. Способ регулирования водного режима низинного торфяника. Патент № 1801160; заявл. 22.02.91; опубл 07.03.93. бюл. № 9. 4 с.
4. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. М.: Наука, 1974. 416 с.
5. Величко А.Б. Роль лесных насаждений в предотвращении загрязнения водных объектов поверхностным стоком в связи с широким применением минеральных удобрений в зоне типичных черноземов Левобережной лесостепи УССР: автореф. дис. канд. тех. наук., 1986. 23 с.
6. Водоохранные мероприятия на территории зон санитарной охраны водозаборов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gidrostops.ru/oxrana-sredy/index60.htm>(по данным на 22.06.2013).
7. Геохимические барьеры и их значение в защите подземных вод от загрязнения. М.: МГУ, 1990 .
8. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале: монография / Под ред. А.И. Перельмана. М.: МГУ, 1961. 180 с.
9. Голованов А.И., Кожанов Е С., Сухарев Ю.И. Ландшафтоведение: учебник / А.И. Голованов, Е.С. Кожанов, Ю.И. Сухарев. М.: Колос, 2005 .216 с.
10. Голованов А.И., Сухарев Ю.И., Шабанов В.В. Комплексное обустройство (мелиорация) водосборов / В кн. Природообустройство. Под ред. А.И. Голованова. М: Колос, 2008. С. 510-542.

11. Джорж Фортескью. Геохимия окружающей среды: Монография / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1985. 360 с.
12. Добрачев Ю.П. Управление водным режимом агроценоза на гидромелиоративной системе с учетом экологических ограничений. / Экологические аспекты природно-мелиоративных исследований. Труды ВНИИГиМ, т. 88, М.: 1995. С. 36-42.
13. Добрачев Ю.П. Апробация технологии координатной мелиорации земель на примере размещения азотных удобрений по участкам поля [Текст] / Ю.П. Добрачев, А.В. Матвеев // Инновационные технологии в мелиорации: материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения), Москва, 13 апреля 2011 г. / Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова". Москва, 2011. С. 56-61.
14. Жигальский О.А. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок // Тез. докл. 3 междунар. конф. "Освоение Севера и пробл. рекультивации". Сыктывкар, 1997. С. 73-75.
15. Кожанов А.Л., Воеводин О.В., Слабунов В.В., Жук С.Л. Принципы построения классификаций мелиоративных систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [rosniipm.ru/izdan/2010/sbornik\\_44.pdf](http://rosniipm.ru/izdan/2010/sbornik_44.pdf) (по данным на 20.06.2013).
16. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утверждено приказом МПР 30 ноября 1992 г.
17. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиол. журн. 27, № 3. 1991. С. 8-13.
18. Максимов С.А. Биогеохимические барьеры при мелиорации земель. Печатный – «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук» Научно-теоретический журнал. Москва. 2010 г. № 5, стр. 28-30, ISSN 0869-3730, УДК 631.6:550.4 0,6 усл. п. л.
19. Максимов С.А. Управление биогеохимическими барьерами при мелиорации земель. Печатный – «Природообустройство»

- журнал МГУП, 2010, №3 стр. 18-23, ISSN 1997-6011, УДК 502/504:550.7:631.60.5 усл. п. л.
20. Маркин В.Н., Горбачева Е.В. Оценка допустимой биогенной нагрузки на речные системы со стороны водосбора // Мелиорация и водное хозяйство. 2001; N 3. С.16-17.
  21. Мероприятия по борьбе с эрозией почв [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://zaikovich.narod.ru/index.files/page0004.htm> (по данным на 22.06.2013).
  22. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Приказ МПР от 2007-12-17 № 333.
  23. Методика расчёта систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ФГУП «НИИ ВОДГЕО». М.: 2000. 113 с.
  24. Методические рекомендации по дистанционным методам контроля качества поверхностных вод суши / Подготовка и проведение экспрессной гидрохимической съёмки. Вып.1. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 32 с.
  25. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты методические указания. 12 декабря 2007 г.
  26. Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на поверхностные водные объекты. Министерство природных ресурсов РФ от 26 февраля 1999, N 328.
  27. Мусаев Ф.А. Оценка загрязнения мелиорируемого агроландшафта азотсодержащими веществами и методы их снижения / Ф.А. Мусаев К.Н. Евсенкин, Ю.П. Добрачев, О.А. Захарова. Рязань: РГАТУ, 2014. 158 с.
  28. Мустакимова И.В, Минуллина А.А., Мавляутдинова Г.С., Ярошевский А.Б. К проблеме оценки экологической инфраструктуры водосбора малых рек (на примере реки Свяги) // [Электронный ресурс]. <http://cyberleninka.ru/article> (дата обращения 03.03.2016).
  29. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий научная-библиотека. – [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: [http://stu.sernam.ru/book\\_fan1.php?id=81](http://stu.sernam.ru/book_fan1.php?id=81)(по данным на 20.06.2013).

30. Паулюкявичюс Г.Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафта: монография / Г.Б. Паулюкявичюс. М., 1989. 216 с.
31. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Пантюхина А.Г., Рассохина А.В. Малые дозы и проблемы синергического взаимодействия факторов окружающей среды // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. 39. № 1. С. 113-126.
32. Приёмы повышения биопродуктивности земель, сохранения почвенного плодородия и экологической устойчивости агроландшафтов: Научный обзор PDF. Новочеркасск: ФГНУ «РосНИИППМ», 2011. 71 с.
33. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
34. Система координат [Электронный ресурс]// – Режим доступа: <http://aerophoto.com.ua/technology.html>
35. Федоров В.Д. Устойчивость экологических систем и ее измерение // Изв. АН СССР. Сер. биол. № 3, 1974, с. 402-415.
36. Ходоровская Н.И. Инвентаризация и ранжирование источников загрязнения Шершнёвского водохранилища / Н.И. Ходоровская., В.С. Сперанский, К.М. Цейзер, С.В. Тряпицына, К.С. Чернов. Челябинский государственный университет БИОЛОГИЯ Выпуск 1 № 4 (105) 2008. 126...128 с.
37. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов: монография / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 276 с.
38. Чертко Н.К. Геохимия агроландшафтов Белоруссии и их оптимизация: автореф. дис. канд. тех наук. М, 1991. 24 с.
39. Шабанов В.В., Бунина Н.П. Подходы к оценке экологического состояния водных экосистем «Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК» // Материалы международной научно-практической конференции). М.: МГУП, 2007 Часть I. С. 207-211.
40. Шабанов В.В. Классификация типов загрязнения водных ресурсов на водосборе. // Современные проблемы водного хозяйства и природообустройства / Тезисы докладов Научно-технической конференции, посвящённой 110 – летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ, члена корреспондента АН

- СССР А.Н. Костякова(22-25 апреля 1997 г.). Москва 1997. С. 21-23.
41. Шабанов В.В. Количественные методы по классификации мелиоративных объектов // Совещание по применению математических методов и электронно-вычислительных машин в мелиорации и водном хозяйстве. М: МГМИ, 1969. С. 9-10.
  42. Шабанов В.В. Некоторые задачи многофакторной количественной классификации объектов. // В кн.: Режим осушения и методика полевых научных исследований // Научн.тр. В АСХНИЛ, Колос, 1971. С. 159-166.
  43. Шабанов В.В. Обоснование необходимости создания инженерных систем, восстанавливающих природное состояние автотрофного звена экосистемы водосбора // Мелиорация и водное хозяйство. № 5, 2005. С. 33-39.
  44. Шабанов В.В., Бунина Н.П. Способы и технологии восстановления природных водных объектов посредством создания геохимических барьеров // Межрегиональная Конференция МКИД "Производство продовольствия и вода: социально-экономические проблемы ирригации и дренажа" Москва, Россия, 8-10 сентября 2004. М., 2004. 7 с.
  45. Шабанов В.В., Бунина Н.П. Элементы проектирования искусственных биогеохимических барьеров на водосборах нечернозёмной зоны России. //Природообустройство и рациональное природопользование - необходимые условия социально-экономического развития России. Сборник трудов МГУП. Москва. 2005 г. С. 298-314.
  46. Шабанов В.В., Вершинская М.Е., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водосбора и водных объектов бассейна Иртыша. Материалы международной научно-практической конференции «Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК». МГУ Природообустройства: М. 2007. С. 290-307.
  47. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин; Москов. Гос. ун-т. Природообустройства. Москва 2007. 81 с.Деп. в ВИНТИ 06.11.07.
  48. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных объектов: монография / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. М: МГУП 2009.154 с.

49. Шабанов В.В., Тоньшин Д.Е. Роль расчётного мониторинга при оценке экологического состояния территории музеев-заповедников // Экологические проблемы сохранения исторического и культурного наследия. Часть 1. М: МГУП, 2001. С. 37-41.
50. Шабанов В.В., Рудаченко Е.П. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций // Вестник с.х. науки, 197., № 1. 83 с.



*Научное издание*

**Маркин Вячеслав Николаевич  
Шабанов Виталий Владимирович**

**РАНЖИРОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ  
МЕРОПРИЯТИЙ**

Монография

Издано в авторской редакции  
Корректурa авторов  
О-макет – *М.В. Васильева*

Подписано в печать 12.04.2016 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. л. 5,8. Тираж 50 экз. Зак. 202.

Издательство РГАУ-МСХА  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44  
Тел.: 8(499) 977-00-12; 977-40-64