

На правах рукописи

КОРОЛЕВ Алексей Андреевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО
СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ОСНОВЕ
БАССЕЙНОВОГО ПРИНЦИПА
(на примере Верхней Волги)**

03.00.16 - экология

**А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Нижний Новгород

2007

Работа выполнена на кафедре экологии Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Гелашвили Давид Бежанович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Постнов Иван Евстафьевич
доктор технических наук, профессор
Губанов Леонид Никандрович

Ведущая организация: Институт экологии Волжского бассейна РАН
(г.Тольятти)

Защита диссертации состоится «30» мая 2007 г. в 15.00 ч. на заседании диссертационного совета Д.212.166.12 при Нижегородском государственном университете им. Н.И.Лобачевского по адресу: 603950, г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, д. 23, корп. 1, биологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского.

e-mail: ecology@bio.unn.ru

факс. (8312)65-85-92

Автореферат разослан «28» апреля 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Кравченко Г.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Антропогенные нагрузки на бассейн водосбора являются непосредственной причиной ухудшения экологического состояния водных экосистем, это отражается в изменениях показателей среды и биоты, связанных с модификацией трофики водного объекта. Для формирования целостных представлений об антропогенном воздействии на гидросферу и, в частности, анализа пространственного распределения нагрузки сточными водами необходимо применение интегрального междисциплинарного подхода основанного на бассейновом принципе экологического зонирования территории. На практике отчетливо просматривается тесная связь между нагрузками на территорию водосбора и теми показателями, которые определяют состояние водной экосистемы. По меткому замечанию современного крупнейшего гидробиолога и эколога Р.Маргалефа (1992, с. 72) «...химический состав речной воды является индикатором здоровья сухопутных экосистем на водосборном бассейне, также как состав мочи служит показателем здоровья человека». Таким образом, для комплексной оценки состояния водной экосистемы и направления протекающих процессов необходимо рассматривать в единой системе территорию водосборного бассейна и водный объект. Все вышесказанное в полной мере относится к Волжскому бассейну (Розенберг, Краснощеков, 1996; Найденко, 2003).

Целью работы явилось экологическое зонирование территорий Нижегородской, Костромской и Владимирской областей, а также республики Чувашия (далее субъектов федерации), на основе комплексной оценки уровня антропогенной нагрузки сточными водами с учетом бассейнового принципа.

Задачи исследования

1. Актуализировать сведения о сбросах загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты субъектов федерации по данным формы 2 ТП (водхоз) за 2005г.
2. Систематизировать гидрографические характеристики водных объектов субъектов федерации, являющихся приемниками загрязненных сточных вод от населенных пунктов.
3. Обосновать и верифицировать количественные оценки отсутствующих в справочной литературе гидрографических параметров водных объектов субъектов федерации на основе современных представлений о фрактальной геометрии речных бассейнов.
4. Обосновать алгоритмы расчета коэффициентов нагрузки загрязненными сточными водами на речной бассейн с учётом демпфирующей роли его экологической ёмкости и провести соответствующие расчеты.
5. Изучить экотоксикологическое воздействие сточных вод на выделенные подбассейны на примере ряда водотоков Нижегородской области
6. Дать интегральную оценку эколого-социальной обстановки в субъектах федерации с помощью обобщенной функции желательности.
7. Провести экологическое зонирование субъектов федерации по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа.

Научная новизна работы. Разработана процедура идентификации водопользователей, обуславливающих лимитирующую нагрузку на водоток сточными водами, а также методы интегральной оценки эколого-социальной обстановки в субъектах федерации с помощью обобщенной функции желательности. С помощью фрактальной модели впервые получены гидрографо-гидрологические характеристики водотоков, учтенных в форме 2 ТП (водхоз) для Нижегородской области. Предложены и обоснованы алгоритмы оценки нагрузки загрязненными сточными водами на водоток и речной бассейн с учётом демпфирующей роли его экологической ёмкости. Оценена экотоксикологическая опасность сточных вод выделенных подбассейнов. Проведено экологическое зонирование территории субъектов федерации.

На защиту выносятся следующие положения

1. Уточненный перечень притоков рек Волги и Оки и их подбассейнов, являющихся приемниками сточных вод на территории Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия.

2. Уточненные гидрографо-гидрологические характеристики водотоков Нижегородской, Владимирской и Костромской областей, а также Республики Чувашия, с указанием длины водотока, площади водосбора и среднегодового стока, полученные на основе фрактальной модели.

3. Алгоритмы оценки нагрузки загрязненными сточными водами на водоток и речной бассейн с учётом демпфирующей роли его экологической ёмкости.

4. Экологическая оценка нагрузки сточными водами на бассейны рек Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия с помощью обобщенной функции желательности.

Практическая значимость работы. Построены гидрографические схемы водотоков субъектов федерации, являющихся приемниками сточных вод. Разработанные подходы использованы для проведения экологического зонирования территории Нижегородской области по степени нагрузки сточными водами (заказчик - Комитет охраны природы и управления природопользованием Нижегородской области). Методика использовалась для анализа эффективности обращения с отходами на ОАО «ГАЗ» (заказчик ОАО ГАЗ). Полученные алгоритмы применялись при проведении государственного мониторинга водных объектов на территории Владимирской и Костромской областей, а также Республики Чувашия (заказчики - Верхне-Волжское бассейновое водное управление; территориальный центр государственного мониторинга геологической среды и водных объектов Владимирской области; территориальный центр государственного мониторинга геологической среды и водных объектов Костромской области «Костромагеомониторинг»; Центр лабораторного анализа и технических измерений по Чувашской Республике «ФГУ «ЦЛАТИ» по ПФО»).

Апробация работы и публикации Результаты работы были доложены на VIII Всероссийском популяционном семинаре «Популяции в пространстве и времени» (Нижний Новгород, 2005), IX съезде Гидробиологического общества РАН (Тольятти, 2006). По результатам исследования опубликовано 6 работ.

Структура и объём диссертации Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст изложен на страницах, включая таблиц, рисунков и список литературы, состоящий из источников, в том числе иностранных.

Личный вклад автора Автор разрабатывал алгоритмы для оценки уровня антропогенной нагрузки сточными водами территории на основе бассейнового принципа. Осуществлял анализ материалов, характеризующих водоотведение в Нижегородской, Владимирской, Костромской областях и Республики Чувашия. Проводил обработку и обобщение полученных результатов. Принимал участие в отборе проб из водоёмов, являющихся приемниками сточных вод для биотестирования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В данной главе рассматриваются сточные воды как экологический фактор антропогенной трансформации окружающей среды, приводится классификация сточных вод, природа их загрязнения, характеристика основных загрязнителей, классификации примесей. Приведены эколого-экономические характеристики субъектов федерации; основные характеристики речного бассейна, сведения по строению речной сети, основные морфометрические характеристики водосборов; принципы районирования территорий и акваторий; материалы о самоподобии рек и их фрактальной структуре; сведения об оценке экотоксикологической опасности сточных вод.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1 Источники данных

Объектами исследования послужили речные бассейны субъектов федерации - Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и Республики Чувашия. Источником данных для оценки уровня антропогенной нагрузки сточными водами послужили данные государственного учета использования вод по форме 2 ТП (водхоз). Для сравнительного анализа экологической обстановки в субъектах федерации использовались социально-экономические данные Госкомстата России.

Форма 2 ТП (водхоз) включает в себя сведения о заборе, приеме, передаче воды, сбросе сточных вод и загрязнении поверхностных водных объектов, лимит забора воды, суммарное по всем направлениям количество использованной воды, потери воды в процессе ее транспортировки.

2.2 Гидрографическая схема

Для наглядного представления структуры речного бассейна были построены гидрографические схемы, основанные на морфометрических данных водотоков. Определение длины рек и ручьев, площадей их водосборов осуществлялось по данным работы «Ресурсы поверхностных вод, 1973». При отсутствии необходимых данных длина водотока и площадь водосбора определялась по картам и атласам территорий субъектов федерации масштаба 1:100000 различных годов издания по общепринятой методике, а гидрологические характеристики (расход воды, годовой сток) оценивались методом аналогий, а так же по предложенной нами фрактальной зависимости между длиной водотока и среднегодовым стоком. Таким

образом, были определены гидрологические характеристики для ряда рек и ручьев из водотоков, являющихся приемниками сточных вод по форме 2 ТП (водхоз).

2.3 Алгоритмы расчёта коэффициентов нагрузки на водоток и бассейн загрязненными сточными водами

Для расчета нагрузки загрязненными сточными водами на водные объекты с учетом бассейнового принципа были разработаны и использованы следующие коэффициенты.

Нагрузка водного объекта (водотока), загрязненными сточными водами – это величина, характеризующая отношение объема сточных вод, сбрасываемых в водоток к среднегодовому стоку реки в этом створе (Селезнева, 2005)

$$k_{\sigma} = q_{\sigma} / W, \quad (1)$$

где k_{σ} – коэффициент нагрузки, q_{σ} – суммарный объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых в водоток, тыс. м³/год, W – среднегодовой сток реки, тыс. м³/год.

Суммарный объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых, например, населенным пунктом, рассчитывался по формуле

$$q_{\sigma} = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

где q_i – объем сточных вод, сбрасываемых в водоток i -м точечным источником, $i=1, n$.

Для расчета коэффициента нагрузки загрязненными сточными водами на речной подбассейн нами предложено следующее уравнение:

$$K_{\sigma} = \frac{\sum_{j=1}^m a_j k_{\sigma j}}{\sum_{j=1}^m a_j}, \quad (3)$$

где: $k_{\sigma j}$ – коэффициент нагрузки загрязненными сточными водами на j -й водоток, входящий в состав подбассейна, $j=1, m$, m - число водотоков в подбассейне, a_j – весовой коэффициент j -го водотока.

Поскольку вклад загрязненных сточных вод в загрязнение водотока снижается при разбавлении, т.е. при увеличении водного стока W , который, в свою очередь, линейно зависит от площади речного подбассейна, в качестве весового коэффициента взята величина обратная площади подбассейна

$$a_j = F_j^{-1}, \quad (4)$$

где F_j^{-1} – площадь подбассейна j -го водотока. Таким образом, уравнение (3) учитывает экологическую емкость бассейна водного объекта.

2.4 Биологическое тестирование природных вод с использованием дафний

Методика основана на определении смертности (острая и хроническая токсичность) и изменений в плодовитости дафний (*Daphnia magna* Straus, Cladocera, Crustacea) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контролем (ФР. 1.39.2001.00283).

2.5 Методы сжатия экологической информации

Для практической реализации экологического нормирования использовалась процедура свёртывания информации, направленная на преодоление проблемы размерности. С этой целью применялась функция желательности (Адлер и др., 1976; Фёдоров и др., 1982; Воробейчик и др., 1994), рассматриваемая в теории нечетких множеств (Л.Заде, 1965) как функция принадлежности. Для оценки суммарного отклика рассчитывали обобщённую функцию желательности. При этом граничные значения функции, например, 0 и 1, соответствуют традициям «плохо - хорошо». Необходимость введения функций желательности определяется различной размерностью переменных, входящих в интегральный показатель, что не позволяет усреднять их непосредственно.

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{\alpha_i}} = \sqrt[n]{d_1^{\alpha_1} \cdot d_2^{\alpha_2} \cdot d_3^{\alpha_3} \dots d_n^{\alpha_n}}, \quad (5)$$

где d_i – частная функция желательности, n – число показателей, α – весовой коэффициент, учитывающий вклад частной функции желательности. При расчете функций желательности по массе сброса загрязненных веществ в качестве коэффициента α принималась величина обратная значению класса опасности: для веществ 1 класса опасности $\alpha=1/1=1$; для веществ 2 класса опасности $\alpha=1/2$; для веществ 3 класса опасности $\alpha=1/3$; для веществ 4 класса опасности $\alpha=1/4$.

Для расчетов частных функций желательности применялись следующие формулы: если увеличение натурального показателя (x_i) является «желательным»

$$d_i = \frac{2(x_i \cdot x_{\max})}{x_i^2 + x_{\max}^2}, \quad (6)$$

и, в случае, когда увеличение натурального показателя (x_i) является «нежелательным»

$$d_i = \frac{2(x_i \cdot x_{\min})}{x_i^2 + x_{\min}^2}. \quad (7)$$

Глава 3. Экологическое зонирование территории субъектов федерации по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа

Зонирование территорий проводилось по следующей схеме. Выделялись водные объекты, являющиеся приемниками сточных вод, создавались гидрографические схемы речной сети, выделялись подбассейны и вычислялись коэффициенты нагрузки сточными водами. В связи с ограниченным объёмом автореферата полный комплект таблиц по оценке степени нагрузки сточными водами приводится только для Нижегородской области.

3.1 Экологическое зонирование Нижегородской области по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа

Нижегородская область имеет территорию площадью 76,9 тыс. км², расположенную по обоим берегам р. Волги. Плотность населения 48,5 чел/км², 77,9% приходится на городское население. По уровню развития промышленности область входит в пятёрку ведущих областей России.

3.1.1 Гидрографо-гидрологическая характеристика Нижегородской области

По территории области протекает свыше 9000 больших и малых рек и ручьев общей протяженностью около 33000 км, входящих в бассейн крупнейшей реки Европейской территории России – р. Волги. В Левобережье реки более полноводные, чем в Правобережье, средняя густота речной сети левобережья составляет 0,47 км/км² в правобережье средняя 0,5 км/км². Из 9000 водотоков Нижегородской области учтенными приёмниками сточных вод являются 188 рек и ручьёв.

Для ряда водотоков гидрографо-гидрологические характеристики в научно-технической литературе отсутствовали или были неполными, поэтому сведения о них были получены с помощью алгоритмов, приведенных в разделе 2.3. Исходя из полученных материалов, была создана гидрографическая схема водотоков Нижегородской области и проведено выделение подбассейнов. Всего выделено 42 подбассейна, в качестве примера представлены подбассейны рек, впадающих в Оку рис. 1.

3.1.2 Фрактальный анализ речной сети на примере Нижегородской области

В классической гидрологии хорошо известна зависимость между площадью водосбора F и длиной реки L , выражаемая в виде степенного уравнения (Нежиховский, 1971, 1998; Виноградов, 1988).

$$F = kL^n \quad (8)$$

Само же соотношение неодинаково для разных ландшафтов, зависит от размеров площади водосборов и длины рек, методики и точности определения их значений. В работе (Нежиховский, 1971) приведена зависимость более чем по 500 водосборам в равнинных районах Европейской территории СССР. Линия тренда этой зависимости удовлетворительно аппроксимируется уравнением

$$F = 0,57L^{1,8} \quad (9)$$

с погрешностью 21%.

Поскольку погрешность данной формулы довольно велика, а степенной закон является математическим выражением принципа самоподобия, на котором и основана теория фракталов (Мандельброт, 2002) нами была проведена работа по вычислению фрактального соотношения между длиной и площадью (рис. 2).

Зависимость площади водосбора от длины водотока аппроксимируется уравнением

$$\ln F = 1,57 \ln L - 0,04, \quad (10)$$

или после потенцирования

$$F = 0,95L^{1,57}. \quad (11)$$

Для зависимости среднегодового стока (W) от длины водотока справедливо выражение

$$\ln W = 1,781 \ln L - 3,77, \quad (12)$$

или после потенцирования

$$W = 0,02L^{1,78}. \quad (13)$$

Наконец, анализ зависимости среднегодового стока от площади водосбора дает результат, который может быть описан уравнением

$$\ln W = 1,15 \ln F - 3,79, \quad (14)$$

или после потенцирования

$$W = 0,02 F^{1,15}. \quad (15)$$

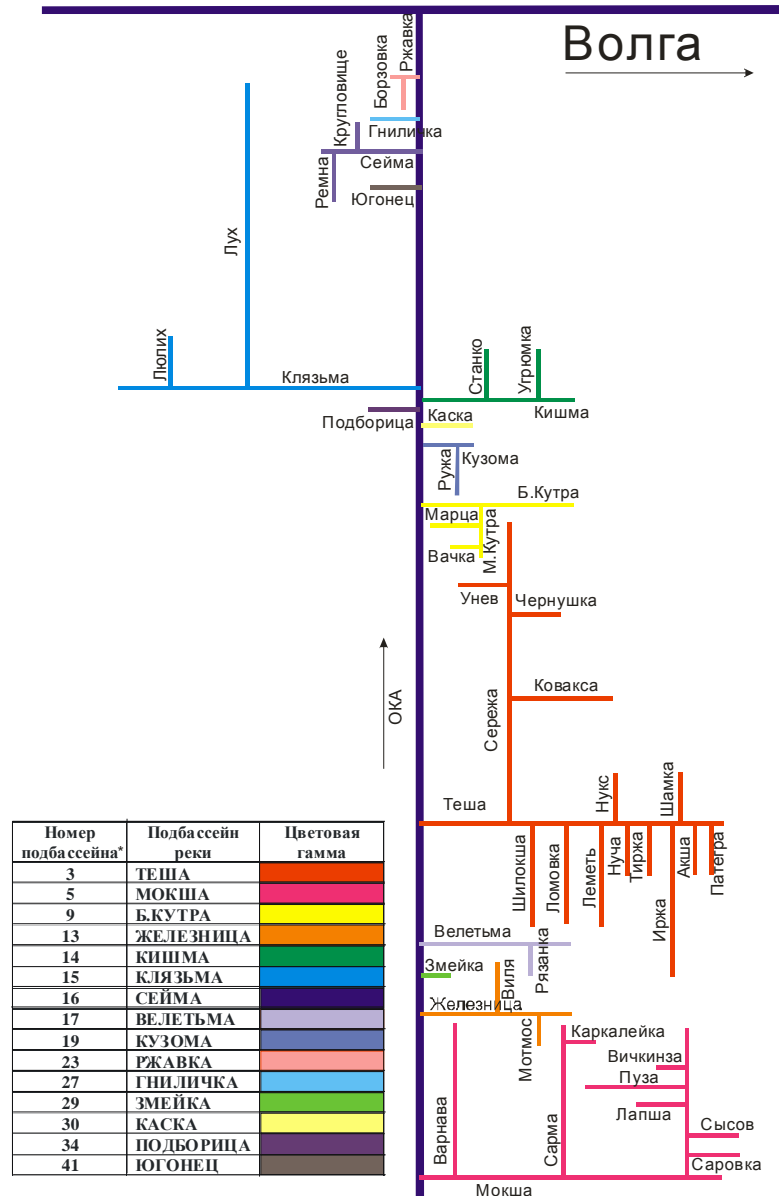


Рис.1. Линейная гидрографическая схема речной сети Нижегородской области на примере подбассейнов р. Оки

- номера подбассейнов указаны в соответствии с полным перечнем подбассейнов р.Волги на территории Нижегородской области

Наклон прямой (уравнение 15) близок к единице (1,15) и физический смысл этого понятен: среднегодовой расход просто пропорционален площади водосбора, что соответствует гипотезе однородности средней плотности осадков. Сравнение оценок площадей водосборов водотоков Нижегородской области), включенных в форму 2 ТП (водхоз), полученных по формулам (9) и (11) показало их высокую коррелированность (рис. 3): $r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9954} = 0,99$.

Таким образом, применение положений фрактальной геометрии позволило получить независимые оценки гидрографо-гидрологических параметров водотоков Нижегородской области, совпадающие с таковыми, полученными на основе эмпирических обобщений гидрологии. Полученные на примере Нижегородской области закономерности между длиной водотока, водосборной площадью и среднегодовым стоком использовались нами в работе при восполнении недостающих данных водотоков. В табл. 1 приведены степенные зависимости, применяемые для расчета гидрографо-гидрологических показателей.

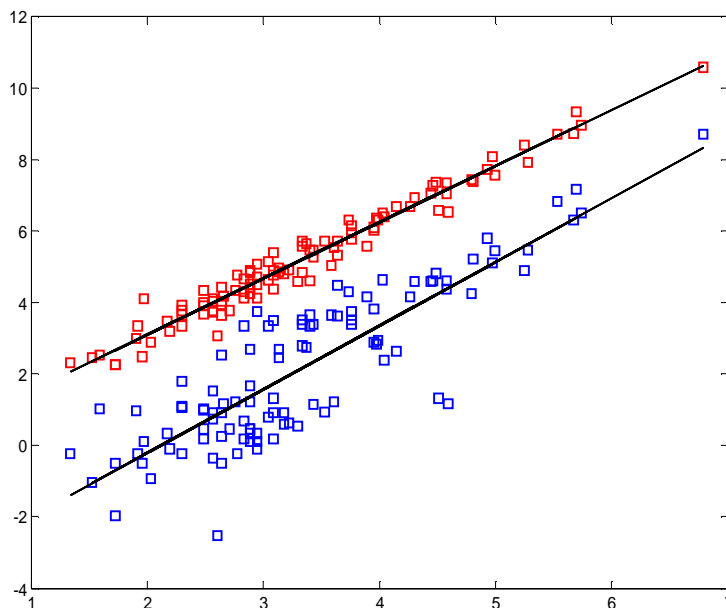


Рис.2. Красные квадраты - зависимость натурального логарифма площади водосбора (F , км^2) малых рек Нижегородской области (ось ординат) от натурального логарифма длины водотока (L , км) (ось абсцисс). Синие квадраты – зависимость натурального логарифма среднегодового стока (W , млн. м^3) (ось ординат) от натурального логарифма длины водотока (L , км).

Таблица 1

Степенные зависимости, применяемые для расчета гидрографо-гидрологических показателей

№ п/п	Общий вид формулы	Уравнение	Источник данных
1	$F=kL^n$	$F=0,57L^{1,8}$	[5]
		$F=0,58L^{1,78}$	[5]
		$F=0,36L^{0,56}$	[5]
		$F=(0,18-0,43)L^2$	[5]
		$F=0,95L^{1,57}$	Собственные данные
2	$W=kL^n$	$W=0,02L^{1,78}$	Собственные данные
3	$W=kF^n$	$W=0,02F^{1,15}$	Собственные данные

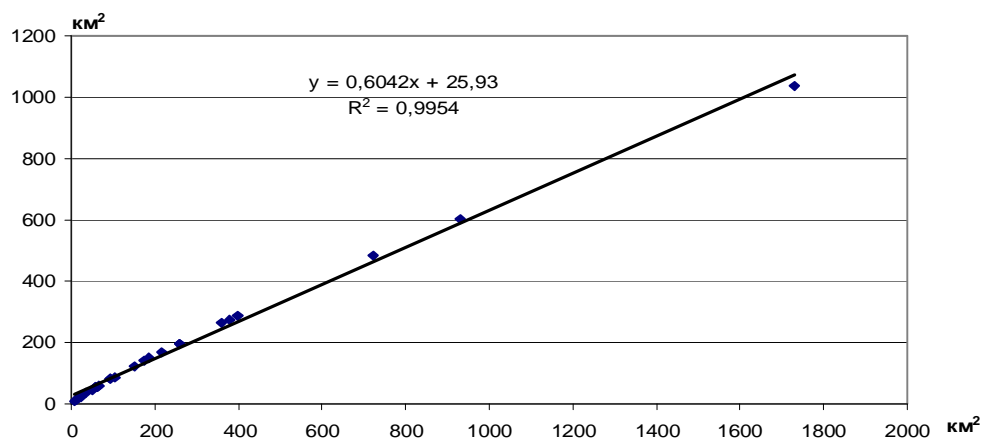


Рис.3. Зависимость площади водосбора для 25 водотоков Нижегородской области рассчитанных по формуле (2) – ось ординат, от аналогичных значений, рассчитанных по формуле (11) – ось абсцисс.

3.1.3 Расчет коэффициентов нагрузки на водоток и подбассейн

Полученные гидрографо-гидрологические характеристики позволили перейти к расчету коэффициентов нагрузки сточными водами на водотоки и подбассейны. Для оценки экологического состояния подбассейнов субъектов федерации нами была введена диагностическая таблица (табл. 2), градации характеристики нагрузки в которой взяты из работы по В.А. Скорнякову (1999), а поддиапазоны шкалы значений коэффициента нагрузки сточными водами были выбраны с использованием функции желательности Харрингтона (Адлер, 1976).

Таблица 2

Диагностическая таблица оценки экологического состояния речного подбассейна

Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Коэффициент нагрузки (Кб) сточными водами на речной подбассейн	
	Значение	Характеристика нагрузки
I	0,00 - 0,20	Очень слабая
II	0,20 - 0,37	Слабая
III	0,37 - 0,63	Умеренная
IV	0,63 - 0,80	Значительная
V	0,80 - 1,00	Большая
VI	> 1	Очень большая

Характеристика нагрузки подбассейнов р. Волги на территории Нижегородской области сточными водами приведена в табл. 3, её анализ показывает, что для 13-ти водотоков 9-ти подбассейнов общий объем сбрасываемых сточных вод превышает среднегодовой сток. Другими словами, эти водотоки, в первом приближении, можно рассматривать как «сточные канавы». Экологическая характеристика нагрузки сточными водами на подбассейны приводится в табл.4. Так же в этой таблице идентифицированы предприятия, обуславливающие лимитирующую нагрузку на водотоки подбассейнов р. Волги на территории Нижегородской

Таблица 3

Экологическая характеристика нагрузки общим объёмом сточных вод и загрязненными сточными водами на водотоки подбассейнов р.Волга на территории Нижегородской области

Номер подбас-сейна	Подбассейн реки	Коэффициент нагрузки на подбассейны (Кб) сбрасываемыми сточными водами	Характеристика нагрузки на водоток	Номер реки	Лимитирующий водоток	Среднегодовой сток, тыс.м ³	Суммарный сброс сточных вод, q _в (тыс. м ³)	Коэффициент нагрузки на водоток (кв) сбрасываемыми сточными водами
Нагрузка общим объёмом сточных вод								
2	ВЕТЛУГИ	0,62	Умеренная	134	р.Самариха	800,0	2893	3,62
6	КУДЬМЫ	1,76	Очень большая	114	р.Печеть	1700,0	3546	2,09
				178	р.Чижково	900,0	4000	4,44
				181	р.Шава	3140,0	4096	1,30
17	ВЕЛЕТЬМЫ	3,82	Очень большая	36	Р.Велетьма	3200,0	13785	4,31
				133	р.Рязанка	900,0	3424	3,80
20	ЛЕВИНКИ	0,49	Умеренная	28	р.Варя	1600,0	482	0,60
23	РЖАВКИ	7,45	Очень большая	24	р.Борзовка	140,0	2033	14,52
				126	р.Ржавка	600,0	227	0,38
29	ЗМЕЙКИ	1,36	Очень большая	50	р.Змейка	400,0	542	1,36
30	КАСКИ	125,29	Очень большая	59	р.Каска	80,0	10023	125,29
40	ЧЕРНОЙ	6,03	Очень большая	172	р.Черная	1400,0	8448	6,03
41	ЮГОНЕЦ	1,06	Очень большая	189	р.Югонец	2520,0	2671	1,06
Нагрузка загрязненными сточными водами								
2	ВЕТЛУГИ	0,59	Умеренная	134	р.Самариха	800,0	2808	3,51
17	ВЕЛЕТЬМЫ	3,27	Очень большая	36	Р.Велетьма	3200,0	1723	0,54
				133	р.Рязанка	900,0	3031	3,37
20	ЛЕВИНКИ	0,49	Умеренная	28	р.Варя	1600,0	482	0,60
23	РЖАВКИ	7,45	Очень большая	24	р.Борзовка	140,0	2033	14,52
				126	р.Ржавка	600,0	227	0,38
29	ЗМЕЙКИ	1,35	Очень большая	50	р.Змейка	400,0	541	1,35
30	КАСКИ	125,29	Очень большая	59	р.Каска	80,0	10023	125,29
40	ЧЕРНОЙ	6,03	Очень большая	172	р.Черная	1400,0	8448	6,03
41	ЮГОНЕЦ	1,06	Очень большая	189	р.Югонец	2520,0	2671	1,06

Таблица 4

Идентификация предприятий, обуславливающих лимитирующую нагрузку общим объёмом сточных вод на водотоки подбассейнов р. Волги на территории Нижегородской области

Номер подбас-сейна	Подбассейн реки	Коэффициент нагрузки общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки	Лимитирующий водоток	Лимитирующий источник сброса сточных вод	
						Предприятие (организация)	Код по ГУИВ
2	ВЕТЛУГИ	0,62	III	Умеренная	р.Самариха	МПО ЖКХ г.Шахунья	11220458
6	КУДЬМЫ	1,76	VI	Очень большая	р.Печеть	АООТ БОРЦОВО (рыбхоз)	11220600
					р.Чижково	ПК ЧИЖКОВО /рыбхоз/	11221202
					р.Шава	ООО Рыбхоз БОРОК	11220601
17	ВЕЛЕТЬМЫ	3,82	VI	Очень большая	р.Велетьма	ОАО НЗСМ /З-Д СТРОЙМАТЕРИАЛОВ/; МУП ЖКХ г.Навашино; в/ч 36798	11220207; 11220511; 11221101
					р.Рязанка	ООО ЭТЭП /очистные соор.сточн.вод /	11220975
20	ЛЕВИНКИ	0,49	III	Умеренная	р.Варя	ОАО НАЗ СОКОЛ	11220069
23	РЖАВКИ	7,45	VI	Очень большая	р.Борзовка	МУП ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ГОРОДА; МУП НИЖЕГОРОДСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН	11220098; 11220304
					р.Ржавка	ОАО ЭТНА; ОАО ЗеФС /фрезерных станков/	11220013; 11220049
29	ЗМЕЙКИ	1,36	VI	Очень большая	р.Змейка	ОАО П/Ф ВЫКСУНСКАЯ; МУП СТОКИ Досчатинское и Шиморское отделения;	11220415; 11221193
30	КАСКИ	125,29	VI	Очень большая	р.Каска	ОАО ПАВЛОВСКИЙ АВТОБУС; МУП МПП ЖКХ	11220004; 11220452
40	ЧЕРНОЙ	6,03	VI	Очень большая	р.Черная	МП НИЖЕГОРОДСКИЙ ВОДОКАНАЛ	11220456
41	ЮГОНЕЦ	1,06	VI	Очень большая	р.Югонец	ОАО ИЛЬИНОГОРСКОЕ (свиноводческий комплекс, и мясокомбинат)	11220819

области общим объёмом сточных вод. Аналогичные данные, касающиеся нагрузки загрязненными сточными водами приведены в диссертации.

3.1.4 Экотоксикологическая характеристика воздействия сточных вод на природные водные объекты Нижегородской области

Для выявления экотоксикологического воздействия сточных вод на выделенные подбассейны на примере ряда водотоков Нижегородской области было проведено биотестирование природной воды с помощью тест-организма *Daphnia magna Straus*. Коэффициенты нагрузки сточными водами на подбассейн (раздел 3.1.3) сравнивались с токсикологическими характеристиками природных вод. Результаты экспериментов, приведенные в табл. 5, показывают, что при уменьшении коэффициента нагрузки сточными водами хроническая токсичность и угнетение плодовитости убывают. Так, вода р. Кудьма, подбассейн которой характеризуется «очень большой» нагрузкой сточными водами, в серии токсикологических экспериментов оказала максимальное угнетающее действие на плодовитость *Daphnia magna*, более чем на 60% по сравнению с контролем. Напротив, вода из р.Кишма, характеризующейся «очень слабой» нагрузкой сточными водами оказала стимулирующее действие на плодовитость дафнии. Таким образом, полученные нами характеристики нагрузки сточными водами на подбассейн удовлетворительно согласовываются с данными биотестирования.

Таблица 5

Экотоксикологическая характеристика воздействия сточных вод на природные водные объекты Нижегородской области (по данным биотестирования на *Daphnia magna Straus*)

Подбассейн реки	Коэффициент нагрузки общим объёмом сточных вод на подбассейн, К	Характеристика нагрузки	Водоток	Токсикологическая характеристика природных вод		
				Острая токсичность, %	Хроническая токсичность, %	Плодовитость, %*
Кудьмы	1,76	Очень большая	р.Кудьма	13,33	33,42	-60,60
			р.Озерка	6,67	37,50	-33,62
Ветлуги	0,62	Умеренная	р. Ветлуга	2,22	25,12	-1,36
			р.Б.Какша	16,67	13,04	-0,41
Сундовика	0,27	Очень слабая	р.Сундовик	0,00	23,91	-1,14
Суры	0,10	Очень слабая	р. Пьяна	22,50	25,00	8,24
Клязьмы	0,06	Очень слабая	р. Клязьма	0,00	0,00	53,78
Кишмы	0,01	Очень слабая	р. Кишма	3,33	0,00	51,16

*-отрицательные значения свидетельствуют об угнетении плодовитости

3.2 Экологическое зонирование Костромской области по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа

Костромская область имеет территорию площадью 60,1 тыс. км². Плотность населения 13,4 чел/км², на городское приходится 66,3%. В структуре промышленного комплекса преобладает энергетика – 34,1%, машиностроение – 14,2%, деревообрабатывающая – 16,9%, легкая – 7,7%, пищевая – 12%.

3.2.1 Гидрографо-гидрологическая характеристика Костромской области

Территория хорошо обеспечена водными ресурсами: средний многолетний сток составляет 15,2 куб.км при общем объеме стока 53,2 куб.км. По территории области протекает свыше 3189 больших и малых рек и ручьев. Приёмниками сточных вод являются 95 водотоков. Как и для Нижегородской области гидрографо-гидрологические характеристики в научно-технической литературе были представлены не для всех водотоков. Недостающие данные получены по алгоритмам, приведенными в разделе 2.3. Исходя из полученных материалов, была создана гидрографическая схема и проведено выделение 13 подбассейнов, представленных на рис. 4.

3.2.2 Расчет коэффициентов нагрузки на водоток и подбассейн

Основываясь на гидрографо-гидрологических характеристиках водотоков Костромской области были рассчитаны коэффициенты нагрузки сточными водами на выделенные подбассейны. В табл. 6 приведены параметры антропогенной нагрузки общим объемом сточных вод на подбассейны р.Волги на территории области. Нагрузка загрязненными сточными водами приводится в тексте диссертации. Анализ данных по нагрузке сточных вод на водоток выявил, что только для подбассейна р. Ключевки объем сбрасываемых сточных вод превышает среднегодовой сток ($k_6=1,77$). В диссертации приводятся сведения о предприятиях, обуславливающих лимитирующую нагрузку на водотоки подбассейнов р. Волги на территории Костромской области общим объемом сточных вод и загрязненными сточными водами.

3.3 Экологическое зонирование Владимирской области по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа

Владимирская область имеет территорию площадью 29 тыс. км², полностью расположена в бассейне Волги на юге Волжско-Окского междуречья. Доля городского населения 80,1%, плотность населения 56,7 чел/км². В структуре промышленного производства преобладает машиностроение.

3.3.1 Гидрографо-гидрологическая характеристика Владимирской области

По территории области протекает свыше 915 больших и малых рек и ручьев. Самый крупный водоток области р. Клязьма пересекает всю область и впадает в р. Оку протекающую на юго-восточной границе области. Приёмниками сточных вод являются 124 водотока. Отсутствовавшие гидролого-гидрографические характеристики были получены по алгоритмам, описанным в разделе 2.3. Гидролого-гидрографические данные водотоков позволили создать гидрографическую схему и выделить 11 подбассейнов, р.Оки на территории Владимирской области, они представлены на рис. 5.

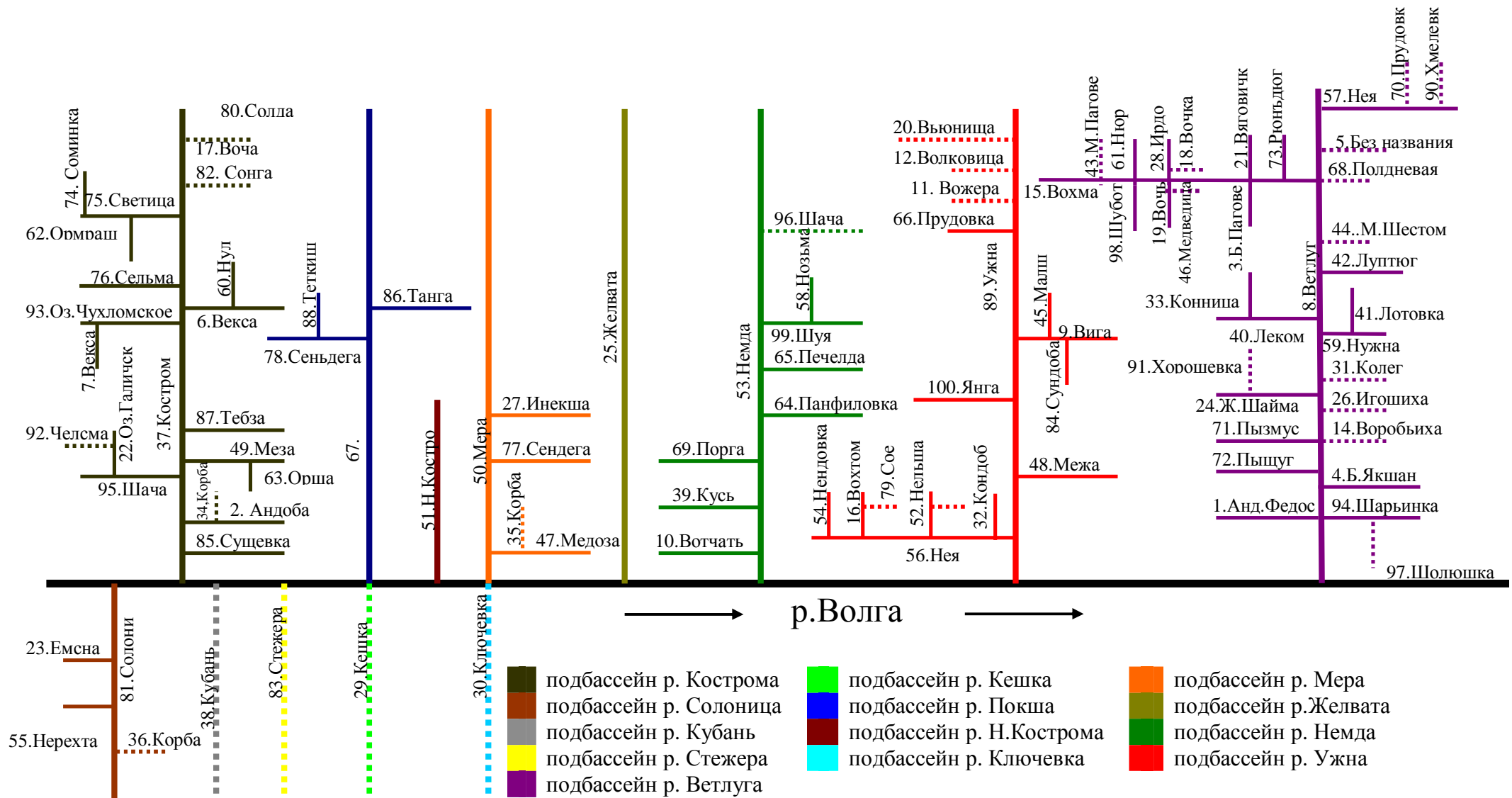


Рис.4. Линейная гидрографическая схема речной сети Костромской области с выделением подбассейнов притоков р. Волги.

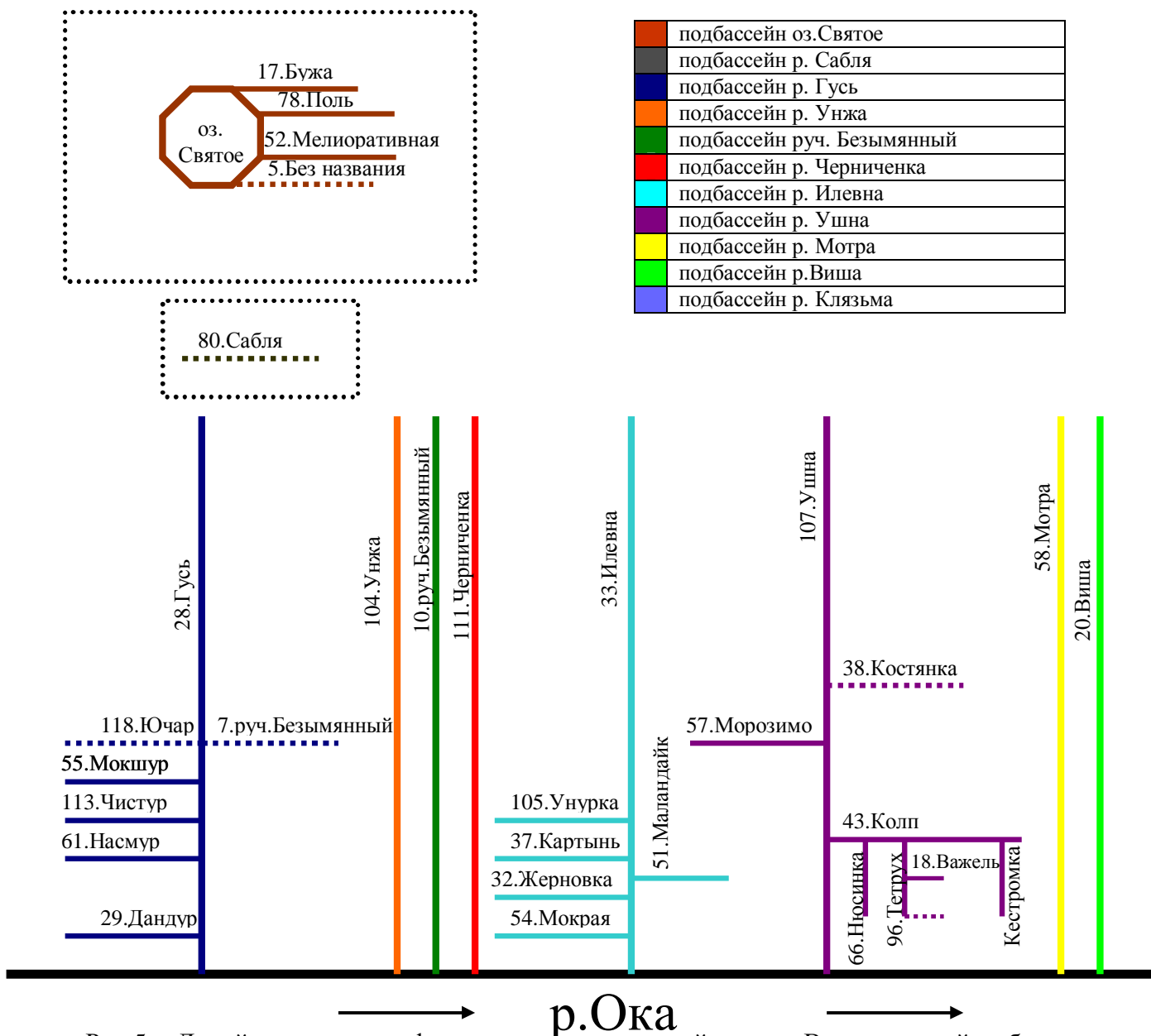


Рис.5. Линейная гидрографическая схема речной сети Владимирской области с выделением подбассейнов притоков р. Оки, кроме подбассейна р. Клязьма

3.3.2 Расчет коэффициентов нагрузки на водоток и подбассейн

Основываясь на гидрографо-гидрологических характеристиках водотоков Владимирской области были рассчитаны коэффициенты нагрузки сточными водами (табл. 6). Анализ данных показывает, что для 7 водотоков объем сбрасываемых сточных вод превышает среднегодовой сток.

Оценка нагрузки общим объемом сточных вод на водотоки Владимирской области позволила отнести только подбассейны р.Клязьмы и р.Гусь к категории умеренно загрязненных, остальные подбассейны характеризуются «очень слабой» антропогенной нагрузкой. В тексте диссертации проводится подробная идентификация лимитирующих водотоков и предприятий.

Таблица 6

Параметры антропогенной нагрузки общим объёмом сточных вод на подбассейны р.Волги на территории Костромской области и Владимирской области

Номер подбассейна	Подбассейн реки	Коэффициенты нагрузки на подбассейны (K_{σ}) общим объемом сточных вод	Категория подбассейна по степени нагрузки сточными водами	Характеристика нагрузки
Костромская область				
1	Ветлуги	0,02	I	Очень слабая
...
10	Ключевки	1,77	IV	Очень большая
...
13	Стежеры	0,01	I	Очень слабая
Владимирская область				
1	Клязьмы	0,57	III	Умеренная
2	Ушны	0,06	I	Очень слабая
3	Гусь	0,52	III	Умеренная
...
11	Сабли	0,02	I	Очень слабая

3.4 Экологическое зонирование Республики Чувашия по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа

Чувашская республика занимает площадь 18,3 тыс. км², территория полностью расположена в Волжском бассейне. На городское население приходится 60,6%, плотность населения 74,4 чел/км². В промышленности преобладает машиностроение, электроэнергетика и химическое производство.

3.4.1. Гидрографо-гидрологическая характеристика Республики Чувашия

В республике насчитывается 2356 рек, речек и ручьев. Приемниками сточных вод являются 63 водотока. Отсутствовавшие гидролого-гидрографические характеристики были получены по алгоритмам описанным в разделе 2.3. Гидролого-гидрографические данные водотоков позволили создать гидрографическую схему и выделить 8 подбассейнов, р.Волги, представленные на рис. 6.

3.4.2 Расчет коэффициентов нагрузки на водоток и подбассейн

Основываясь на гидрографо-гидрологических характеристиках водотоков были рассчитаны коэффициенты нагрузки сточными водами, по рассчитанным коэффициентам нагрузки сточными водами на подбассейн (k_{σ}) было установлено, что все подбассейны характеризуются очень слабой нагрузкой сбрасываемыми сточными водами.

Глава 4. Сравнительный анализ экологической обстановки в субъектах федерации по степени нагрузки сточными водами

Сравнительный анализ нагрузки сточными водами на подбассейны субъектов федерации приведен в табл. 7. Из таблицы видно, что в Нижегородской области наибольшее количество подбассейнов характеризуется очень большой экологической нагрузкой, меньшая нагрузка во Владимирской и Костромской областях, в Республике Чувашия все подбассейны характеризуются как испытывающие очень слабую нагрузку.

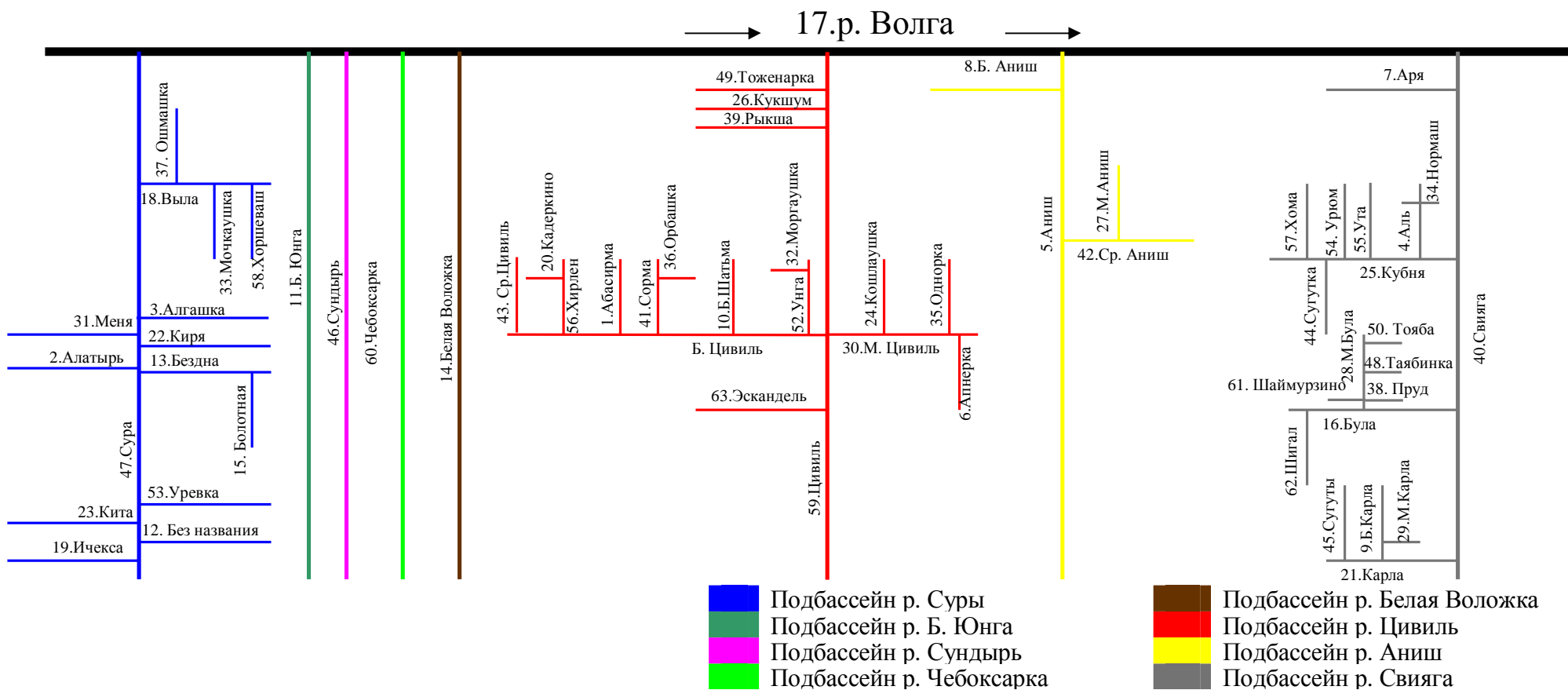


Рис.6. Линейная гидрографическая схема речной сети Чувашской Республики с выделением подбассейнов притоков р. Волги.

При этом следует отметить, что наибольшую нагрузку, обуславливают водотоки с очень малым среднегодовым стоком, большая часть которых протекает по территории населенных пунктов (табл. 8). Сравнение по подбассейнам (табл. 7) является не достаточно корректным, так как в нём учитывается только количество выделенных подбассейнов без учета массы сбрасываемых загрязняющих веществ в речную систему субъекта федерации. Для учёта массовых показателей сброса нами была использована обобщенная функция желательности. Сравнение субъектов федерации проводилось по 30 показателям ингредиентного загрязнения содержащихся в форме 2ГП (водхоз). Расчет частных функций желательности проводился по формуле (7), обобщенной - по формуле (5), результаты приведены в табл. 9.

Таблица 7

Антропогенная нагрузка сточными водами на подбассейны Верхней Волги

Субъект федерации	Количество выделенных подбассейнов						
	Всего	В том числе с антропогенной нагрузкой сточными водами					
		Очень слабая	Слабая	Умеренная	Значительная	Большая	Очень большая
Нижегородская область	42	29 (69%)	4 (9%)	2 (5%)	-	-	7 (17%)
Владимирская область	11	9 (82%)	-	2 (18%)	-	-	-
Костромская область	13	12 (92%)	-	-	-	-	1 (8%)
Республика Чувашия	8	8 (100%)	-	-	-	-	-

Таблица 8

Лимитирующие водотоки субъектов федерации ранжированные по увеличению объёма среднегодового стока

Субъект федерации	Лимитирующий водоток	Среднегодовой сток, тыс.м ³	Суммарный сброс сточных вод, $Q_{в3}$ (тыс. м ³)	Коэффициент нагрузки на водоток ($K_{в}$) сбрасываемыми суммарным сбросом сточных вод
Нижегородская область	р.Каска	80,0	10023	125,29
	р.Борзовка	140,0	2033	14,52
	р.Змейка	400,0	542	1,36
	р.Ржавка	600,0	227	0,38
	р.Самариха	800,0	2893	3,62
	р.Рязанка	900,0	3424	3,80
	р.Чижково	900,0	4000	4,44
	р.Черная	1400,0	8448	6,03
	р.Варя	1600,0	482	0,60
	р.Печеть	1700,0	3546	2,09
	р.Югонец	2520,0	2671	1,06
р.Шава	3140,0	4096	1,30	
р.Велетьма	3200,0	13785	4,31	
Костромская область	р.Ключевка	358,3	635	1,77
Владимирская область	р. Бородинка	129,1	223	1,73
	руч. Безымянный	292,1	1126	5,24
	руч. Безымянный	347,6	418	1,20
	р. Терентьевка	457,2	821	1,80
	р. Бавленка	471,0	389	0,83
	р. Ундолка	904,7	1018	1,13
	р. Беленькая	1410,6	2224	1,58
	р. Гза	4317,9	2404	0,56

Таблица 9

Экологическая обстановка в субъектах федерации в 2005 г., оцененная по массе сброса загрязняющих веществ со сточными водами в поверхностные воды субъектов федерации

№ п/п	Вид показателя	Размерность показателя	Субъекты федерации			
			Нижегородская область	Владимирская область	Республика Чувашия	Костромская область
1	Объем сточных вод имеющих загрязняющие взвешенные вещества	мл.куб.м	425,57	155,26	129,16	67,77
		d_i	0,311	0,733	0,823	1,000
2	БПК полный	тыс.тонн	2,8	1,86	3,32	0,45
		d_i	0,313	0,457	0,266	1,000
3	Нефте продукты	тыс.тонн	0,2	0,04	нет сбросов	0,01
		d_i	0,100	0,471		1,000
4	Взвешенные вещества	тыс.тонн	6,34	1,83	3,63	0,63
		d_i	0,197	0,616	0,337	1,000
5	Сухой остаток	тыс.тонн	195,6	86,07	57,2	3,08
		d_i	0,031	0,071	0,107	1,000
6	Сульфаты	тыс.тонн	83,29	14,63	9	3,88
		d_i	0,093	0,496	0,727	1,000
7	Хлориды	тыс.тонн	38,62	12,7	19,88	6,97
		d_i	0,350	0,844	0,624	1,000
8	Фосфор общий	тонн	697,93	159,76	196,41	7,77
		d_i	0,022	0,097	0,079	1,000
9	Азот аммонийный	тонн	2738,19	438,26	309,71	297,36
		d_i	0,215	0,929	0,999	1,000
...	
31	Хлороформ	тонн	1,46	нет сбросов	0,45	нет сбросов
		d_i	0,563		1,000	
Обобщённая функция желательности (D) рассчитанная с учётом классов опасности			0,546	0,628	0,710	0,982

По значениям обобщенной функции желательности была построена гистограмма (рис. 7), из которой наглядно видно, что наибольшая нагрузка загрязняющими веществами, содержащимися в сточных водах, наблюдается в Нижегородской области, далее, по мере убывания идут Владимирская обл., республика Чувашия и Костромская обл. Но такой анализ также можно считать неполным, поскольку не учитываются социальные и экономические особенности субъектов федерации. Поэтому нами были проведены расчёты обобщённых функций желательности с учётом ряда социо-эколого-экономических показателей, результаты которых представлены в табл. 10 и на рис. 8. Хорошо видно, что при учёте этих показателей картина кардинально меняется. Наиболее благополучная ситуация наблюдается в Нижегородской и Владимирской областях, а республика Чувашия и Костромская область становятся аутсайдерами.

Следует подчеркнуть, что применение элементов теории нечётких множеств (Л. Заде, 1965), предназначенной для преодоления трудностей представления неточных понятий, анализа и моделирования систем в которых участвует человек, хотя и позволяет получить интегральные (обобщенные) оценки состояния сложных систем, тем не менее,

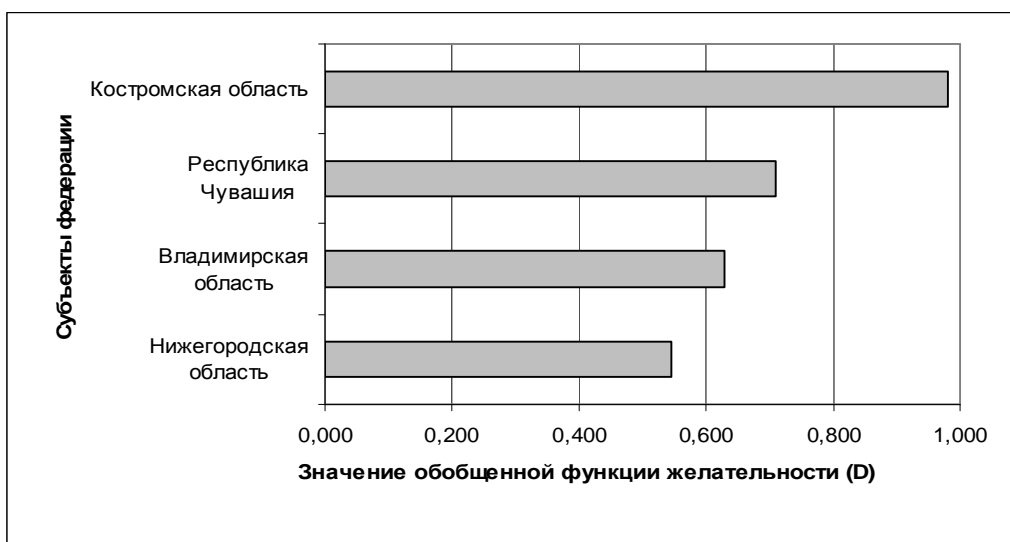


Рис. 7. Экологическая обстановка в субъектах федерации в 2005 г., оцененная по нагрузке загрязняющими веществами содержащимися в сточных водах с помощью обобщенной функции желательности

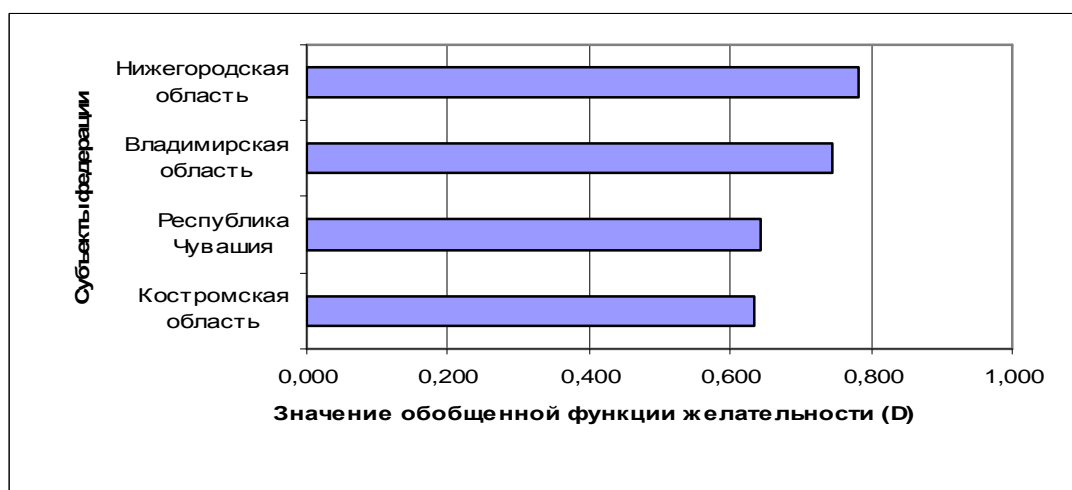


Рис. 8. Экологическая обстановка в субъектах федерации в 2005 г., оцененная по социо-эколого-экономическим показателям субъектов федерации с помощью функции желательности

не гарантирует от конфликта интересов и разных точек зрения. Вышесказанное в полной мере относится к проблеме оценки эффективности мероприятий в природоохранной сфере, где конфликт между ведомственными, личностными, профессиональными, социально значимыми и многими другими точками зрения является объективной реальностью. В этом отношении проблема охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами не является исключением.

Тем не менее, проведенная работа показала возможность применения разработанных алгоритмов для интегральной экологической оценки природно-антропогенных объектов верхней Волги на примере Нижегородской, Владимирской, Костромской областей и республики Чувашия.

Таблица 10

Экологическая обстановка в субъектах федерации в 2005 г., оцененная по социо-эколого-экономическим показателям субъектов федерации с помощью функции желательности

№ п/п	Показатель	Размерность показателя	Костромская область	Республика Чувашия	Владимирская область	Нижегородская область
1	Плотность населения	чел/км ²	12,3	68,1	52,6	47,1
		<i>d_i</i>	0,350	1,000	0,968	0,936
2	Детская смертность	чел. на 1000	14,2	11,4	13,1	13,6
		<i>d_i</i>	0,976	1,000	0,990	0,985
3	Валовый региональный продукт	млн.руб.	14286,9	18372,1	25577	83456,2
		<i>d_i</i>	0,333	0,420	0,560	1,000
4	Валовый региональный продукт на душу населения	руб.	18098,5	13526,8	15828	22741,4
		<i>d_i</i>	0,974	0,879	0,938	1,000
5	Объём промышленной продукции	млн.руб.	13305	19531	36010	106984
		<i>d_i</i>	0,245	0,353	0,605	1,000
6	Выброс загрязняющих веществ в атмосферу	тыс.тонн	47	54	37	189
		<i>d_i</i>	0,972	0,933	1,000	0,377
7	Число предприятий и организаций	шт.	14329	17358	26000	68854
		<i>d_i</i>	0,399	0,474	0,661	1,000
8	Объём продукции сельского хозяйства	млн.руб.	7882	10704	9777	19068
		<i>d_i</i>	0,706	0,854	0,812	1,000
9	Площадь сельскохозяйственных угодий	тыс.га.	914,1	980,4	920,2	2913,7
		<i>d_i</i>	0,571	0,605	0,574	1,000
10	Лесовосстановление	тыс.га.	11	1,6	4,5	9
		<i>d_i</i>	1,000	0,285	0,701	0,980
11	Сброс загрязненных сточных вод	тыс.куб.м	64335	123256	160564	436596
		<i>d_i</i>	1,000	0,820	0,691	0,288
12	Сброс взвешенных веществ со сточными водами в открытые водоёмы субъектов федерации	<i>d_i</i>	0,982	0,710	0,628	0,546
Обобщённая функция желательности (D)			0,633	0,642	0,743	0,784

ВЫВОДЫ

1. Разработаны и верифицированы алгоритмы оценки нагрузки сточными водами на водотоки и подбассейны с учётом их экологической емкости.
2. На основе фрактальной модели получены независимые оценки гидрографических параметров водотоков являющихся, приемниками сточных вод в изученных субъектах федерации.
3. Разработаны линейные гидрографические схемы субъектов федерации, выделены подбассейны р. Волги, являющиеся приемниками сточных вод и рассчитаны коэффициенты нагрузки на них.
4. Предложенные градации характеристик нагрузки сточными водами на подбассейн удовлетворительно согласовываются с данными биотестирования на дафниях.
5. По степени убывания антропогенной нагрузки массой загрязняющих веществ сточных вод, оцененной с помощью обобщенной функции желательности, изученные субъекты федерации располагаются следующим образом:
Нижегородская обл. > Владимирская обл. > Чувашия > Костромская обл.
6. По возрастанию предпочтительности комплекса социо-эколого-экономических показателей, оцененных с помощью обобщенной функции желательности, изученные субъекты федерации располагаются следующим образом:
Костромская обл. < Чувашия < Владимирская обл. < Нижегородская обл.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях рекомендованных ВАК:

- 1.Королев А.А., Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Панютин А.А., Иудин Д.И. Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Известия Самарского научного центра РАН. 2007. Т.9. №1. С.265-269.

В других изданиях

- 2.Королев А.А. Статистический анализ гидрохимических данных во временной динамике // Мат. конф. Естествознание и гуманизм. - Томск, 2004. Т. 1, №2. – С. 114– 115.
- 3.Королев А.А. Изучение структурных показателей гидробионтов плёсов Куйбышевского водохранилища многомерным статистическим анализом // Популяции в пространстве и времени. Сборник материалов VIII Всероссийского популяционного семинара (Н.Новгород, 11-15 апреля 2005г.). Н.Новгород: ННГУ 2005. – С. 166 – 167.
- 4.Гелашвили Д.Б., Захаров В.М., Королев А.А. Интегральная оценка эколого – экономической информации // Бюллетень центра экологической политики России «На пути к устойчивому развитию» - М., 2004. - №29. - С. 13 – 16.
- 5.Гелашвили Д.Б., Королев А.А., Басуров В.А. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщённой функции желательности (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. 2006. №2. – С. 129 – 138.
- 6.Королев А.А. Районирование территории Нижегородской области по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа // матер. докл. IX съезда Гидробиологического общества РАН (г.Тольятти, Россия 18-22 сентября 2006 г.), т.1. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. С. 232