

Министерство образования Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего и профессионального образования  
Владимирский государственный университет

Т.А. Трифонова  
Н.В. Мищенко  
Н.В. Селиванова  
С.М. Чеснокова  
Р.В. Репкин

**БАССЕЙНОВЫЙ ПОДХОД  
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Владимир 2009

УДК 630.182.47; 604.062

ББК 40.3; 38.761.104

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент кафедры химии

Владимирского государственного университета Е.П. Гришина

Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Селиванова Н.В., Чеснокова С.М.,  
Репкин Р.В. Бассейновый подход в экологических исследованиях. –  
Владимир:ООО «ВладимирПолиграф» . 2009. – 80 с.

ISBN

В монографию включены результаты исследований в области экологии речных бассейнов с применением современных ГИС-технологий. Может представить интерес для научных сотрудников, аспирантов и студентов при изучении особенностей ландшафтов, оценке почвенно-продукционного потенциала и качества воды поверхностных и подземных источников.

Табл. 15. Ил. 21. Библиогр. 7

УДК 630.182.47; 604.062

ББК 40.3; 38.761.104

ISBN

© Трифонова Т.А., Мищенко Н.В.,  
Селиванова Н.В., Чеснокова С.М.,  
Репкин Р.В., 2009.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
<b>Бассейновый подход в экологических исследованиях .....</b>	<b>5</b>
Развитие бассейнового подхода в экологических исследованиях .....	5
<b>Почвы и продукционный потенциал .....</b>	<b>10</b>
Почвенный покров бассейнов рек Киржач и Судогда Владимирской области .....	10
Буферная способность почв бассейна р. Печенка к химическому загрязнению .....	14
Особенности ландшафтов в истоках малых рек .....	18
Почвенно-продукционный потенциал речных бассейнов Европейской части России .....	23
Использование данных дистанционного зондирования для оценки продукционного потенциала и структуры землепользования бассейнов рек Киржача и Судогды .....	28
Почвенно-продукционный потенциал речных бассейнов Владимирской области .....	33
Составление базы данных для экологической карты оценки состояния лесных ресурсов бассейнов р. Судогда и ее притоков .....	37
<b>Оценка качества воды .....</b>	<b>40</b>
Оценка качества поверхностных и подземных вод Владимирского региона .....	40
Оценка качества воды реки Нерль .....	46
Усовершенствование системы экологического мониторинга бассейнов малых рек .....	52
Самоочищающая способность бассейна реки Колокша .....	61
Оценка устойчивости р. Каменка к воздействию антропогенных факторов .....	67
Оценка донных отложений как источника вторичного загрязнения на примере малых рек .....	74
Список литературы .....	78

## **ВВЕДЕНИЕ**

Водосборный бассейн – наиболее типичная целостная и относительно самостоятельная единица в организации земной поверхности, что является важным моментом в определении его как специального подразделения, то есть природной геосистемы.

В современных условиях бассейновый подход выполняет незаменимую и все возрастающую роль при изучении и предотвращении антропогенного загрязнения окружающей среды.

Изучение разнообразия природных условий речных бассейнов позволяет решать актуальные проблемы в области общей и четвертичной геологии, геоморфологии, гидрологии, почвоведения, гидробиологии, геохимии и биогеохимии, географии растений и животных, археологии и истории культуры, экономической, физической и медицинской географии.

Водосборный бассейн – это динамичная природная экосистема, наблюдение за которой должно проводиться в рамках экологического мониторинга с применением современных программных продуктов, средств контроля и биоиндикации.

# БАССЕЙНОВЫЙ ПОДХОД В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

## РАЗВИТИЕ БАССЕЙНОВОГО ПОДХОДА В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Бассейновый подход сравнительно недавно стал внедряться в экологические и почвенно-экологические исследования. Во Владимирском государственном университете он развивается в нескольких направлениях.

*Речной бассейн как самоорганизующаяся природная геосистема.*

Образование и функционирование речного водосборного бассейна обусловлено взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов. Территориально любой бассейн развивается в границах, обусловленных рядом факторов (свойствами геологического фундамента, в котором образуются русловые трещины, соседством других бассейнов, тектоническими условиями и т.п.). Речные водосборные бассейны – динамичные геосистемы, особенно в горных условиях, где интенсивны экзогенные процессы, приводящие к постоянному «обновлению» поверхностей склонов, однако, в пределах бассейнов выделяются зоны, устойчивые к денудации (фанды), либо еще не затронутые процессом руслообразования водоразделы, поэтому там формируется почвенный покров наиболее древнего возраста. Водосборные бассейны представляют собой достаточно устойчивые к внешним (например, сейсмическим) воздействиям структуры, но внутри которых происходят сложные динамические процессы.

Показано, что пространственная структура бассейнов имеет внешнее сходство с классическими фрактальными структурами (это объясняется механизмом их образования), что обуславливает целесообразность применения фрактальной геометрии для классификация речных бассейнов.

Дешифрирование космоснимков и изучение ландшафтного рисунка бассейнов может дать уникальную информацию о сейсмических процессах, имевших место в прошлом, раскрывать причины формирования тех или иных ландшафтов и особенностей структуры почвенного покрова.

*Использование методов моделирования и ГИС-технологий  
при изучении функционирования речных бассейнов.*

Актуальным вопросом в настоящее время является разработка информационных систем, которые содержат в себе не только статистические базы данных по различия ландшафтными или гидрологическим характеристикам, но и обладают необходимой функциональностью и сочетанием способов представления данных и знаний.

На основе предложенных методик и алгоритма кластеризации выделены группы бассейнов-аналогов, сходных по динамике развития, определены различия в гидрологических режимах рек-притоков Клязьмы. Так, установлено, что в отдельную группу обособляется ряд рек, бассейны которых сходны по природным характеристикам, интегральным расчетным параметрам и динамике функционирования, что свидетельствует об однотипности поверхностного и грунтового питания. В то же время показана необходимость больше внимание уделять изучению гидрологического режима рек в летнюю межень и зимний период, когда выявляются особенности подземного стока. На основе моделирования выявлены реки, в гидрологическом режиме которых за последние 20-30 лет произошли более или менее резкие изменения.

Информационные системы позволяют научно-обоснованно организовывать региональный экологический мониторинг в пределах малых речных бассейнов, сходных или различных по ландшафтными особенностям и гидрологическому режиму в целях регламентации техногенной нагрузки.

*Изучение структуры почвенного покрова, биопродуктивности  
и почвенно-продукционного потенциала речных бассейнов.*

Речные бассейны отражают реальные природные границы, однозначно определяются по картам, а также характеризуются упорядоченными, пространственно организованными материальными и энергетическими потоками: в их пределах целесообразно изучать как структурно-функциональную организованных природных экосистем, так и оценивать результаты антропогенного воздействия. Современные реформации в системе землепользования, формах собственности на земли, налогообложении диктуют необходимость разработки обоснованных

кадастровых оценок территорий и угодий в целях предотвращения потери биоразнообразия, деградации и опустынивания.

Нашими исследованиями показана перспективность использования бассейнового подхода при составлении региональных геоинформационных систем землепользования. Анализ многолетней динамики показателей фитопродуктивности различных сельскохозяйственных угодий как в ландшафтных, так и в административных границах выявил их некорректность при оценке устойчивости экосистем. Так, например, весьма незначительная по территории трансформация крупного ландшафта может оказаться решающей в нарушении структурно-функциональной организованности целого малого речного бассейна (особенно на водоразделах).

Продуктивность растительного покрова зависит от состояния почвенных ресурсов, поэтому важным фактором, обеспечивающим прирост фитомассы естественных и агроэкосистем, является продукционный потенциал почв, который, в свою очередь, включает в себя и естественное плодородие почв, и структуру землепользования, и агрохимические свойства почв, климат и т.п. В настоящее время еще не сложился единый комплекс показателей и строгой системы оценки продукционного потенциала почв: набор показателей для его характеристики зависит от целей исследования и особенностей территорий.

Для создания региональной единой информационной системы в границах малых бассейнов нами предлагается для такой оценки использовать следующие показатели: естественное плодородие (оценка производится по урожайности зерновых культур, выращенных на землях без улучшения), урожайность агроценоза (с учетом приемов интенсификации земледелия), почвенно-экологический индекс (включает ряд физико-химических и гидрологических показателей почв), фитопродуктивность угодий или экосистем.

Все показатели сводятся в информационно-аналитическую систему, открытую для постоянного обновления данных и выработки рекомендательных решений.

*Бассейновый подход при оценке экологического риска  
загрязнения природной среды.*

При исследовании загрязнения поверхностных вод обычно сложным вопросом является создание оптимальной системы мониторинга. Применение методов дистанционного зондирования, в частности, дешифрирование космоснимков, позволяет значительно оптимизировать этот процесс. Так, метод автоматизированного распознавания образов по космоснимкам позволил нам выявить поверхностные водоемы и участки реки Клязьмы различной степени загрязненности, наметить точки отбора проб воды, донных отложений и гидробионтов для аналитической оценки.

Установлено, что глубокие речные долины, пересекающие крупные промышленные центры, способствуют формированию локальных атмосферных потоков, в которых скапливаются техногенные загрязнители.

В настоящее время актуальной проблемой является загрязнение подземных вод, поскольку в связи с интенсивным загрязнением поверхностных водоемов, водообеспечение населения все более ориентируется на артезианские источники. Эти воды быстро реагируют на загрязнения, очищаются медленно, а потеря их качества влечет за собой ряд экологических и социальных последствий. Нами предложена методика составления комплексной карты оценки экологического риска загрязнения подземных вод на основе применения ГИС-технологий.

Факторы риска ранжируются по трем группам параметров, отражающих, во-первых, антропогенно-обусловленную опасность; во-вторых, условия, способствующие проникновению загрязнителей; в-третьих, условия, препятствующие этому процессу. К первой группе относятся показатели, характеризующие степень демографической напряженности территории; количество загрязняющих веществ во все среды с учетом складированных отходов; густоту транспортной сети; влияние сельскохозяйственной нагрузки. Во вторую группу объединяются сведения об интенсивности экзогенных процессов, густоте речной сети, изменениях гидродинамических условий в подземных горизонтах. В третью группу входят показатели залесенности территории и естественной геологической защищенности водоносных горизонтов.



Исследования показали, что для большей части территории Владимирской области характерна высокая и очень высокая степень экологического риска загрязнения подземных вод. Лишь 4 % населения проживает в местах с низкой и очень низкой степенью опасности по этому показателю.

Таким образом, использование бассейнового подхода в экологических исследованиях позволяет унифицировать подходы и методы, проводить сравнительные оценки для оптимизации систем мониторинга и природопользования.

# ПОЧВЫ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

## Почвенный покров бассейнов рек Киржач и Судогда Владимирской области

Целью настоящей работы явилось изучение малоисследованного почвенного покрова ряда бассейнов малых рек Владимирской области и выявление особенностей почвообразования на примере почвенного покрова бассейнов рек Киржач и Судогда. Полевые работы выполнялись летом 2007-2008 годов.

Речные бассейны представляют собой естественно-исторические территории, объединяемые общей водосборной сетью оврагов и речных долин. Они формируются в процессе развития водосборной речной сети, образующейся на поверхности суши. Важнейшее значение при этом имеют процессы выветривания горных пород, водной эрозии и руслообразования, переноса и переотложения твердого стока. Все процессы на территории речных бассейнов взаимосвязаны, что придает им значение территориальных геосистем и делает необходимым проводить морфологические и топологические исследования, интерпретировать развитие бассейна во взаимосвязи с различными природными условиями: климатом, геологическим строением, растительностью, почвенным покровом и т.п.

В задачи исследований входило:

- Проведение детального морфологического описания и отбор почвенных образцов основных типов почв бассейнов рек Киржач и Судогда.
- Определение физико-химических свойств почв (содержания гумуса, полуторных оксидов железа, гранулометрический состав, и др.).
- На основании анализа полученных данных выявление особенностей почвенного покрова бассейнов рек Владимирской области.
- Отбор образцов растительного покрова с пробных площадок для определения биологической продуктивности наземной фитомассы.

При разработке плана исследовательских работ, мы опирались на то, что водосборные бассейны отличаются собственным специфическим рельефом, формы которого имеют существенное значение для характеристики потенциальных запасов влаги, величины стока, перемещения

твёрдого материала, а это в конечном итоге влияет на формирование почвенно-растительного покрова. Фасетка склона водораздельного бассейна обычно ограничена линией водораздела (сверху и по бокам), а в основании – шовной линией поймы. Склоновые фасетки совпадают по смыслу с почвенными катенами. Под почвенной катеной понимается (по Джону Мильну) высотная группировка почв, объединенная в залегании условиями рельефа и геохимическим сопряжением, которая повторяется в тех же соотношениях друг с другом всякий раз, как только такие условия имеют место. Поэтому при выборе схем полевых работ нами было принято, что водосборные бассейны рек Киржач и Судогда представлены катенами с разным высотным взаиморасположением, определяемым глубиной расчленения рельефа.

Нами были рассмотрены водораздельные пространства с небольшими уклонами, с довольно глубоко залегающими грунтовыми водами, с зональными почвами, формирующимися на фоне промывного типа водного режима. На водоразделах формируется поверхностный и подземный отток вод на нижерасположенные позиции, склоны, на которые поступают поверхностные и подземные воды с более высоких элементов рельефа, а также имеется значительный отток этих вод на соседние понижения, первые надпойменные террасы с небольшими уклонами, со значительным притоком поверхностных и подземных вод, преимущественно с переувлажненными почвами, которые имеют в своем водном питании восходящие токи влаги, а также с неглубоким залеганием грунтовых вода и поймы.

На каждом из перечисленных элементов рельефа были заложены почвенные разрезы. Из каждого горизонта изученных почв были отобраны образцы, в которых впоследствии были определены:

- 1)  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{KCl}$  (потенциометрическим методом);
- 2) содержание гумуса в % (по методу Тюрина в модификации Никитина);
- 3) сумма обменных оснований, мг-экв./100 г.п. (по Каппену-Гильковицу);
- 4) гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г.п.;
- 5) степень насыщенности основаниями, %;

- 6)  $P_2O_5$  (по Кирсанову);
- 7)  $K_2O$  (по Кирсанову);
- 8) гранулометрический состав почв (методом пипетки Качинского с пробоподготовкой пирофосфатным методом);
- 9) определение  $CO_2$  карбонатов, в почвах, водный рН которых находится в щелочной области;
- 10) изучение надземной фитомассы (по укосам с укосных площадок 1x1м в районе взятия образцов почв):
  - определение состава надземной фитомассы;
  - определение биологической продуктивности надземной фитомассы;
  - определение зольности надземной фитомассы;

Проведенные исследования почв бассейнов рек Киржач и Судогда Владимирской области привели к следующим выводам:

Бассейны Киржача и Судогды имеют различное геологическое строение – почвенный покров бассейна р. Киржач формируется на аллювиальных и озерных отложениях второй надпойменной террасы, аллювиально-флювиогляциальных отложениях третьей надпойменной террасы, болотных отложениях и основной морене, а почвы Судогодского бассейна в основном сформировались на аллювиальных отложениях четвертой надпойменной террасы и отложениях периода отступления ледника и ледниковых отложениях основной морены.

1. К особенностям морфологического строения аллювиальных почв приустьевой и центральной частей поймы реки Киржач и Судогды (с относительными отметками высот от 120-140 м) относятся маломощный гумусовый горизонт (менее 25 см.), зернисто-порошистая и зернисто-комковатая структура (в гумусовых горизонтах), слабая оглеенность профиля снизу. Почвы в пойме реки Киржач в основном слабокислые ( $pH_{\text{водн.}} = 5,6-6,8$ ;  $pH_{\text{KCl}} = 4,8-6,0$ ). Наиболее высокогумусной почвой (17 %) оказалась аллювиальная луговая насыщенная (разрез 5.07.07, в центральной пойме), наименее гумусированной (4,4 %) – аллювиальная луговая кислая (разрез 2.07.07, в приустьевой пойме). Содержание подвижного фосфора – среднее, калием аллювиальные почвы реки Киржач обеспечены

высоко. Аллювиальные почвы обладают высоким потенциальным плодородием.

2. Отличительной чертой дерново-слабоподзолистой супесчаной почвы на аллювиальных отложениях водораздела р. Киржач с высотными отметками 140-160 м под сосновым лесом является несколько повышающееся содержание углерода в горизонте В (15-38) до 1,3 %, что по всей видимости может быть обусловлено остаточной поемностью. По данным Г.В. Добровольского («Схема классификации пойменных почв лесной зоны»), среди пойменных почв лесной зоны выделяются почвы высоких пойм, вышедшие из режима регулярной поемности, но несущие в своем профиле остаточные черты, что и прослеживается на наш взгляд в данном случае.

3. Характерной особенностью дерново-слабоподзолистых почв водораздела реки Киржач сформированных под смешанным лесом с высотными отметками 180-210 м над уровнем моря являются незначительные признаки дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу, что может являться следствием легкого гранулометрического состава почвообразующих пород и опесчаненностью самого профиля почв. Почвы со слабо дифференцированным или недифференцированным профилем трудны в диагностике и классификации, мы относим их к дерново-слабоподзолистым.

4. Отличительной чертой морфологического строения дерново-слабоподзолистых почв бассейна реки Судогды под луговой растительностью является наличие в почвенном профиле остаточных признаков гидроморфозма, что обусловлено остаточной поемностью.

5. Почвенный покров водораздельных участков с высотными отметками 150-180 м над уровнем моря под сосновым лесом представлен также дерново-слабоподзолистыми со слабо выраженной дифференциацией профиля. Почвы с похожим строением профиля опесчаненные с поверхности под сосновыми борами рядом авторов относятся к дерново-боровым (Хабаров, 1977).

6. Результаты биологической продуктивности, рассчитанные для дерново-луговой, лугово-болотной и дерново-подзолистой почв бассейна рек Киржач и Судогда с использованием метода укосных площадок,

свидетельствуют о достаточно высоких запасах наземной фитомассы исследованных участков.

7. Очевидна необходимость дальнейших исследований автоморфных почв водоразделов Владимирской области для более полной характеристики фоновых зональных почв.

### **БУФЕРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ БАССЕЙНА Р. ПЕЧЕНКА К ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ**

Контроль состояния почвенного покрова является одной из главных составляющих экологического мониторинга, что связано с особой ролью почвы в сохранении структуры биосферы. Целью данной работы явилось исследование буферных свойств почв речной долины р. Печенка в Судогодском районе Владимирской области. Изучалась кислотно-основная буферность почв, а также способность к связыванию поступающих в почву тяжелых металлов на примере катионов меди (+2).

Образцы почвы отбирались у истока р. Печенка вдоль поперечного профиля речной долины из верхних генетических горизонтов – гумусо-аккумулятивного и элювиального. Характеристика свойств исследованных почв, определяющих их буферные свойства, представлена в табл. 1. По механическому составу данные почвы относятся в основном к супесчаным и легкосуглинистым. Содержание органического углерода в гумусо-аккумулятивном горизонте невелико и находится в пределах 0,4-1,7 % по массе. Элювиальный горизонт характеризуется еще более низким содержанием органического вещества. Наибольшее содержание органического углерода характерно для почвы поймы реки. Характерно также существенное различие в содержании органического вещества в верхнем горизонте почв западного и восточного склонов долины. Эти отличия, очевидно, связаны с характером растительности на данных участках.

Почвы большинства участков почвы имеют слабо-кислую реакцию среды, при этом значения рН водной вытяжки, в целом, несколько выше значений, характерных для неокультуренных дерново-подзолистых почв.

## Характеристика исследованных почв

№ пробы	Положение участка	Горизонт	C <sub>орг.</sub> , %	pH <sub>водн.</sub>	pH <sub>KCl</sub>	H <sub>г</sub> , ммоль/100 г	EKO <sub>ст.</sub> мэкв/100 г	S <sub>о.о.</sub> ммоль/100 г
1	Вершина водораздела	A <sub>1</sub>	1,09	6,3	4,8	1,6	6,6	2,5
		A <sub>2</sub>	0,54	6,4	-	1,43	4,8	1,3
2	Средняя часть западного склона	A <sub>1</sub>	1,38	6,7	6	0,81	7,7	2,9
		A <sub>2</sub>	0,50	7,1	-	0,39	1,8	-
3	Нижняя часть западного склона	A <sub>1</sub>	1,71	4,9	4,4	2,74	-	2,9
		A <sub>2</sub>	0,49	5,3	-	0,67	2,0	-
4	Равнина поймы	A <sub>1</sub>	1,06	5,9	5,3	1,28	4,1	4,2
		A <sub>2</sub>	0,43	6,6	-	0,35	-	-
5	Нижняя часть восточного склона	A <sub>1</sub>	0,58	7,1	6,4	0,35	5,9	4,3
6	Верхняя часть восточного склона	A <sub>1</sub>	0,38	6,2	4,6	1,43	-	3,2
7.	Вершина водораздела	A <sub>1</sub>	0,63	6,0	5,3	1,15	-	1,8
		A <sub>2</sub>	0,49	-	-	0,83	3,6	

Исследование кислотно-основной буферности почв проводилось путем потенциометрического титрования образцов почв с использованием метода навесок. Образцы из горизонта A<sub>1</sub> в указанном интервале pH, в целом, обладают более выраженными буферными свойствами по сравнению с образцами из горизонта A<sub>2</sub>. При этом в наибольшей степени проявляется различие в буферности к основанию, которая для образцов горизонта A<sub>2</sub> существенно ниже. В области низких pH (4-3) почвы элювиального горизонта проявляют буферность к кислоте, более высокую, чем почвы горизонта A<sub>1</sub>.

Сравнение между собой кривых, полученных для различных образцов почв горизонта A<sub>1</sub>, показывает, что буферность по отношению к кислоте для этих образцов выражена сильнее и различается несколько меньше, чем буферность по отношению к основанию. Определяющее

влияние на показатели буферности к основанию оказывает рН начальной точки титрования и значение гидролитической кислотности. На рис. 1 приведены зависимости от рН интенсивности буферности  $\beta = \Delta C_i / \Delta \text{pH}$  образцов почв гумусо-аккумулятивного горизонта, построенные путем графического дифференцирования кривых буферности.

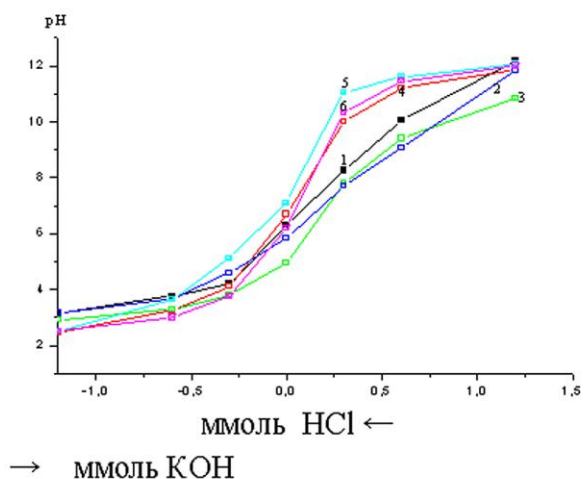


Рис. 1. Кривые буферности образцов горизонта A1

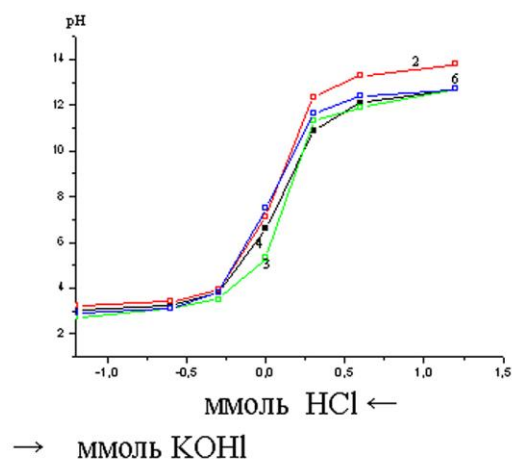


Рис. 2. Кривые буферности образцов горизонта A2

На основе полученных результатов можно сделать заключение, что исследованные почвы обладают, в целом, низкой кислотно-основной буферностью, несколько большей по отношению к кислоте, чем по отношению к основанию. Более выражена кислотно-основная буферность почвы участка, расположенного в пойме реки, подверженного обогащению органическим веществом и илистыми частицами в периоды весеннего половодья, по мере удаления от поймы к вершинам водораздела буферность, в целом, снижается, имея в соответствии с содержанием органического углерода несколько большие значения на западном склоне склона, где характер растительности способствует поступлению в почву большего количества органических остатков.

Способность почвы при загрязнении противостоять увеличению концентрации в почвенном растворе катионов тяжелых металлов изучалась на примере поглощения образцами почв катионов меди из водных растворов нитрата меди различных концентраций. Зависимости



количества поглощенной меди от концентрации её ионов в равновесном с почвой растворе представлены в виде кривых адсорбции на рис. 2.

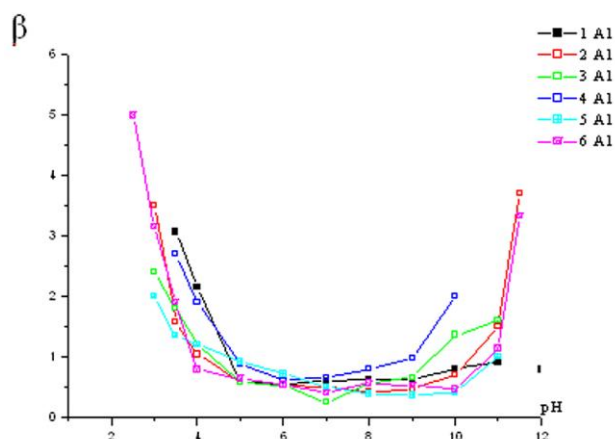


Рис. 3. Зависимость интенсивности буферности от pH

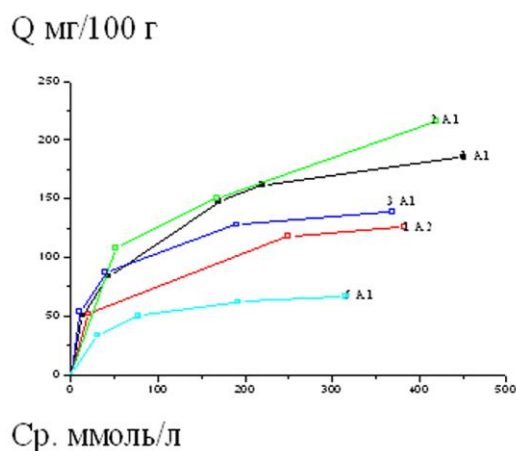


Рис. 4. Кривые общей адсорбции меди

Сравнение кривых для образцов, взятых из различных генетических горизонтов на участке 1, показывает, что различие в поглощении меди данными образцами проявляется при низких концентрациях меди в растворе, что объясняется значительно большим содержанием в горизонте A1 органического вещества, взаимодействующего с катионами металла по механизму специфической адсорбции.

Сравнение кривых адсорбции меди образцами почв верхних горизонтов различных участков также позволяет проследить определенные закономерности. Наибольшее поглощение металла почвой соответствует наименьшему уровню кислотности и наиболее высокому значению емкости катионного обмена при достаточно высоком содержании органического вещества. Это согласуется с тенденцией снижения ЕКО и уменьшения поглощения катионов металлов при уменьшении pH почвенного раствора из-за ослабления ионизации кислотных групп органических соединений и уменьшения протонизации глинистых минералов.

С целью количественной оценки адсорбции металла почвой были рассчитаны параметры уравнения Ленгмюра – максимальная адсорбция ( $Q_{max}$ ) и коэффициент адсорбции (K), характеризующие соответственно поглотительную способность почвы и прочность связи адсорбированных катионов с реакционными центрами ППК (табл. 2).

Полученные значения в целом согласуются с данными других авторов о параметрах адсорбции меди дерново-подзолистыми почвами. Наибольшее значение коэффициента адсорбции соответствует наиболее высокому содержанию в почве органического вещества, с которым медь связывается в процессе специфической адсорбции достаточно прочно.

*Таблица 2*

Параметры уравнения Лэнгмюра кривых адсорбции

Образец	Горизонт	$Q_{\max.}$ , ммоль(+)/ 100 г	K, л/ммоль
1	A1	70	0,64
1	A2	50	0,67
2	A1	83	0,59
3	A1	46	3.38
5	A1	24	1,84

Судя по полученным результатам, дерново-подзолистые почвы бассейна реки Печенка обладают невысокой способностью к поглощению ТМ вследствие достаточно низкого содержания органического вещества и легкого механического состава, что отражается в относительно низких значениях емкости катионного обмена. Кислая реакция среды, характерная для дерново-подзолистых почв, в свою очередь, снижает поглощение, увеличивая подвижность металла.

### **ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ В ИСТОКАХ МАЛЫХ РЕК**

Малые реки, их водосборы – целостные геосистемы, влияют на полноводность и состав более крупных рек. Изменение одного из компонентов геосистемы водосборных бассейнов малых рек ведет к изменению других компонентов. Особенно опасны изменения для истоков малых рек. Целью данной работы является установление экологических взаимосвязей компонентов ландшафтной среды истоков малых рек – их

почвенного покрова и типов растительности, в зависимости от положения в рельефе.

Объектом исследования является река Печенка, входящая в систему водосборного бассейна реки Судогда. Длина реки Печенки составляет 54 км, площадь водосборного бассейна равна 110 км<sup>2</sup>. В засушливое время года исток реки Печенка не имеет постоянного водотока, так же как и у смежных рек Побойки и Сердуги на протяжении 2-8 км водосборных воронок. Большая часть их бассейнов занята лесной растительностью, произрастающей на дерново-слабо- и средне-оподзоленных и дерново-луговых почвах.

В период с 2001-2005 гг. в истоке реки Печенка заложены 6 поперечных профилей (трансект), 41 разрез и отобрано 134 образцов почвы, заполнены бланки почвенных описаний. Каждый почвенный профиль привязан к геоботанической площади, для каждой площади определен тип растительной ассоциации, выявлены микрогруппировки и оформлены бланки геоботанического описания. Почвенные разрезы, геоботанические площади заложены не в случайном порядке, а по положению в рельефе, начиная с вершины водораздела, включая склон, пойму, противоположные склон и вершину. Аналогичные исследования проведены в истоках смежных Побойки и Сердуги.

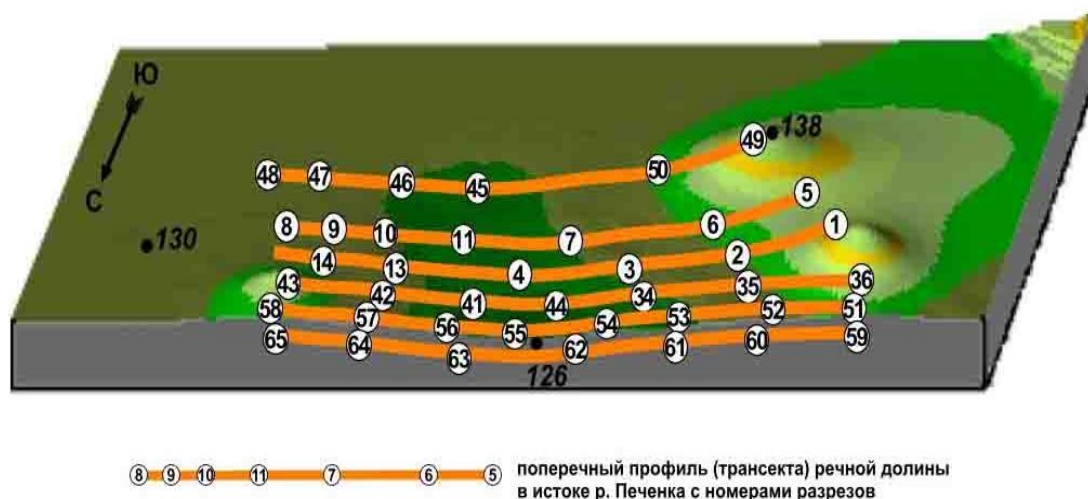


Рис. 5. Схема расположения разрезов в истоке р. Печенка

В лабораториях ВлГУ проведены анализы, по определению механического и агрегатного состава почвы, плотности твердой фазы,

гигроскопической влажности, содержания органических веществ. Данные, полученные в результате исследований и анализов, сведены в единую базу.

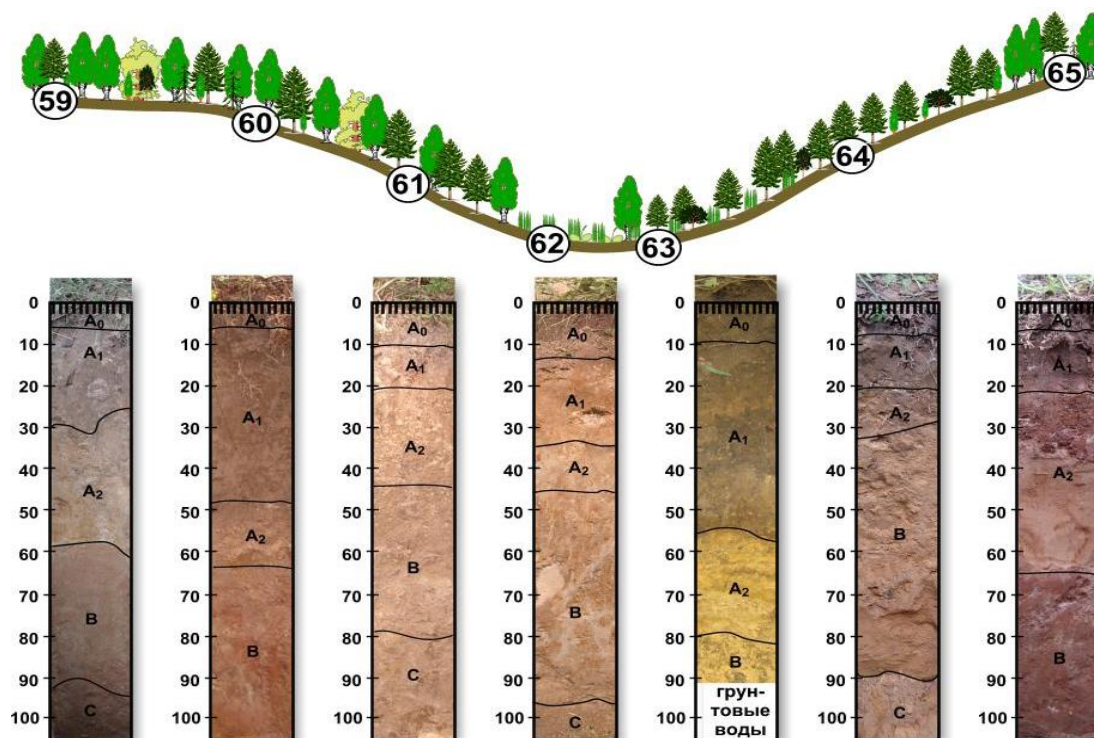
Известно, что большая роль в почвообразовании отводится растительности. В своей работе мы попытались проследить закономерности изменения свойств почв, в связи с влиянием различных растительных сообществ и с приуроченностью к положению в рельефе водосборной воронки истока реки Печенка (рис. 6).

Во всех катенах (профиль водосбора) отмечается следующее распределение типов растительности по положению в рельефе: хорошо дренируемым формам рельефа соответствует древесный тип растительности. Так на вершинах водоразделов произрастают смешанные леса и посадки сосны. Более увлажняемые элементы рельефа, которые получают дополнительный приток влаги и питательных веществ с повышений (надпойменные террасы и пойма реки) заняты преимущественно травянистой луговой растительностью различной степени гидроморфизма, по кромке русла произрастает ольха.

Растительность имеет многоярусную структуру. Нижний ярус представлен травяно-кустарничковыми ассоциациями, которые формируют микрогруппировки, оказывающие большое влияние на почвенные характеристики (например: осоки, папоротники, хвощи максимально иссушают почву, а под кислицей и костянкой наблюдается максимальная влажность (разрезы № 1, 53)).

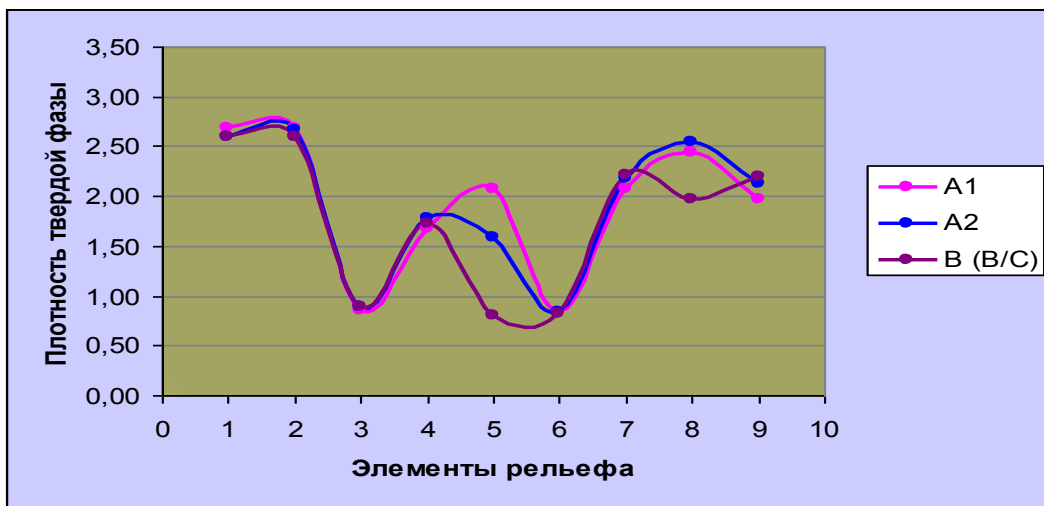
В ходе лабораторного анализа выявлено, что показатель плотности твердой фазы почвы имеет максимальные значения на вершинах водоразделов, чуть меньшее значение в поймах и надпойменных террасах (рис. 7). В горизонте  $A_1$  почвенного профиля показатель плотности твердой фазы находится в диапазоне 2,4-2,65, с увеличением глубины плотность незначительно увеличивается. Что связано со степенью увлажнения почвенного профиля по всей глубине залегания. На вершинах водоразделов – поверхностный сток и режим фильтрации, а в пойме и надпойменных террасах это зависит от расхода грунтовых вод или заболоченности.

Выявлены зависимости механического состава. С увеличением глубины залегания почвы в основном наблюдается переход механического состава от крупных песчаных фракций к более мелким, глинистым.

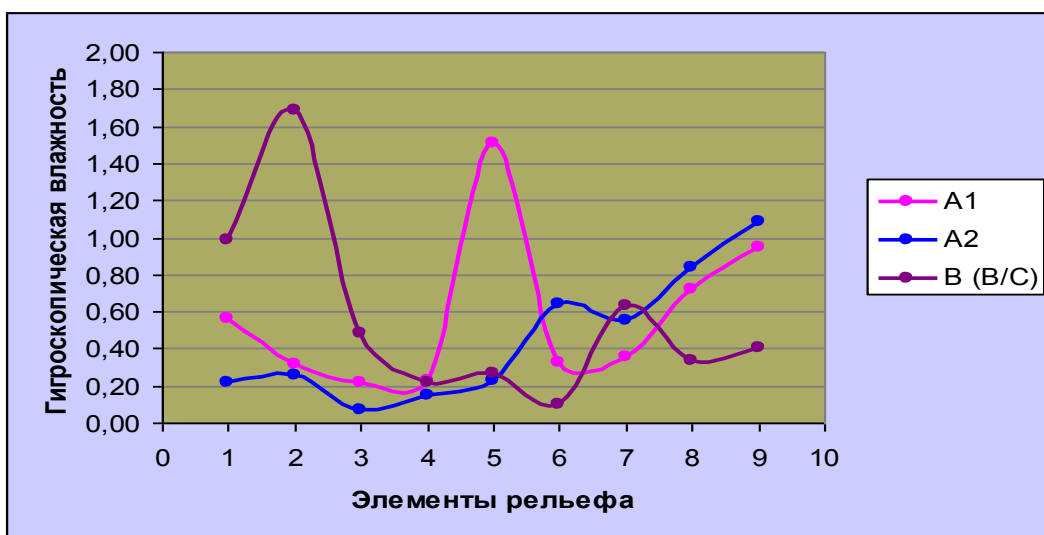


*Рис. 6. Почвенно-геоботанический профиль истока р. Печенка по направлению 3 – В*

Анализ полученных данных подтверждает устойчивую зависимость показателей гигроскопической влажности почвы от механического состава. Так, почвы супесчаные и песчаные имеют значения гигроскопической влажности в верхних горизонтах в пределах от 0,2 до 0,8%, почвы более тяжелого механического состава характеризуются более высокими значениями гигроскопической влажности – 1,2-4,2%. Строгих зависимостей показателей гигроскопической влажности от элементов рельефа выделить не удалось. Изменения гигроскопической влажности в зависимости от положения в рельефе наблюдаются в горизонте А<sub>1</sub>. Максимальное значение в пойме, на вершинах водоразделов, показатель находится в диапазоне от 0,6-1,0 % (рис. 8).



*Рис. 7. Усредненный показатель плотности твердой фазы по приуроченности к элементам рельефа почвенного профиля*



*Рис. 8. Усредненный показатель гигроскопической влажности по приуроченности к элементам рельефа почвенного профиля*

По данным полученным в результате исследований установили, что особенности растительного покрова, длительность формирования растительного сообщества и степень его антропогенной деформации существенно влияют на структуру и генезис почв, интенсивность их ветровой и водной эрозии, формирование овражно-балочной сети, химический состав почв, воды, приземного слоя атмосферы; на свойства самой почвы: содержание гумуса, плотность, влажность и др.

По полученным данным дешифрирования космоснимков на 2001 год территория бассейна реки Печенка на 64 % занята лесами, что значительно меньше данных полученных от землепользователей в 1993 году – 86 %. Аналогичная ситуация прослеживается в последнее десятилетие и в бассейнах других малых рек изучаемого региона, что вызывает обеспокоенность и может привести к серьёзным экологическим последствиям.

Так, в истоке р. Печенка на месте вырубок вековых сосновых лесов на возвышенных элементах рельефа в почвенном профиле проявляются признаки деградации: уменьшение мощности гумусового горизонта, усиление процессов вымывания органических и минеральных веществ. Можно предположить, что вырубка древесных пород на больших площадях повышений рельефа (вершин водоразделов и склонов) может привести к заболачиванию пойменных участков, соответственно к изменению растительного покрова и типу почв, заиливанию и затуханию истока, а также к более резким паводковым колебаниям в русле.

Решение проблемы сохранения геосистемами их специфики, исходной структурно-функциональной организованности представляет научный и практический интерес при соблюдении устойчивости оптимальных параметров природопользования и совершенствовании системы управления. Главной задачей изучения бассейна является обоснование выбора принимаемого решения в области природопользования таким образом, чтобы последствия его исполнения были минимально ущербны для природы и максимально выгодны для экономики и общества.

## **ПОЧВЕННО-ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

В последнее время состояние живой природы становится важнейшим эколого-экономическим индикатором макроэкономического развития регионов. Мировое сообщество ориентируется на адекватный учет не только экономических и социальных, но и экологических показателей развития. Возрастающая угроза деградации природы и полной ассимиляции экономических, социальных и экологических проблем выдвинули на первый план необходимость межгосударственного

взаимодействия, учитывающего «экосистемные услуги» некоторых стран, в том числе и России.

В этой связи актуальным становится поиск интегральных показателей оценки биосферных функций природных экосистем. С точки зрения эколого-экономических показателей характеризующих структуру и функционирование экосистем, актуальными становятся параметры почвенного плодородия и продуктивности растительного покрова. Данные показатели в течение длительного времени изучались многими авторами с позиции биосферных и средообразующих функций.

*Объекты и методы исследования.*

Объектами исследования явились крупные речные бассейны первого порядка Европейской части.

Большая часть речных бассейнов Европейской части России находится на Восточно-Европейской равнине, также они расположены на территории Кольского полуострова и Карелии, Урала, Прикаспийской низменности и Кавказа. Почвенный покров данной территории представлен 9 почвенно-экологическими зонами: тундровых почв Субарктики; глееподзолистых и подзолистых альфегумусовых почв северной тайги; подзолистых почв средней тайги; дерново-подзолистых почв южной тайги; серых лесных почв широколиственных лесов; оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи; обыкновенных и южных черноземов степи; темно-каштановых и каштановых почв сухой степи; светло-каштановых и бурых почв полупустыни.

В работе использовался метод наложения границ речных бассейнов на зональные пространства для оценки показателей почвенно-продукционного потенциала речных бассейнов Европейской части России.

Для оценки почвенно-продукционного потенциала территории выбраны такие зональные параметры, которые характеризуют состояние растительного покрова и основные факторы влияющие на его продуктивность:

- удельный запас фитомассы.
- удельная продуктивность растительного покрова.
- почвенное плодородие (содержание гумуса)
- климатический показатель, который учитывает сумму биологически активных температур и коэффициент увлажнения Иванова.



Предложенные характеристики оценивались в баллах (10 балльная шкала), анализировался отдельно, а для получения итогового значения почвенно-продукционного потенциала они складывались.

Для оценки почвенно-продукционного потенциала речных бассейнов Европейской части России использовались следующие материалы:

- 1) Картографический материал: электронная карта РФ (1:1000000); атлас физической географии, географический атлас мира; карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины 1:2500000 (Г.В. Добровольский, д.б.н. И.С. Урусевская, В.П. Винюкова, к.б.н. Л.Б. Востокова, к.б.н. Т.В. Терешина, д.б.н. С.А. Моба, Л.С. Щипихина, 1997), карты фитомассы и продуктивности (Базилевич Н.И.);
- 2) Статистические и литературные данные, характеризующие ландшафтную структуру, почвенное плодородие, почвенно-экологический индекс, урожайность;

Обработка картографического материала, анализ данных, подготовка баз данных были проведены на базе современной геоинформационной системы ArcGIS.

#### *Результаты и их обсуждение.*

Речные бассейны Европейской части России существенно отличаются между собой по удельному запасу *фитомассы* (табл. 3). Наибольший запас фитомассы сосредоточен в бассейнах Невы, а также Оки, которая является частью бассейна Волги. В южном направлении запас фитомассы в бассейнах снижается, что объясняется уменьшением лесистости, а *продуктивность* возрастает, т.к. возрастает доля лугов, которые обладают высокой продуктивностью, но не накапливают фитомассу. Из крупных бассейнов 1-го порядка самые высокие значение продуктивности растительного покрова отмечаются в бассейне Дона. Общая продуктивность бассейна Волги имеет среднее значение, но наиболее продуктивная её часть бассейн – Оки (по данному показателю равен Дону), а наименее продуктивная территория это бассейн Камы.

Ранжирование речных бассейнов по *содержанию гумуса* показало, что наиболее плодородные почвы находятся на водосборной территории Дона и Урала. В почвенного покрове здесь преобладают оподзоленные,

выщелоченные и типичные черноземы и серые лесные почвы лесостепи с содержанием гумуса в верхнем горизонте 4,9-5,5 %; обыкновенные и южные черноземы степи, имеющие хорошо выраженный гумусовый горизонт с прекрасной микро- и макроструктурой, относительно высоким (5-8 %) содержанием гумуса; темно-каштановые и каштановые почвы сухой степи: тяжело- и среднесуглинистые в верхнем горизонте содержат гумуса от 3,2-4,0 (пахотные) до 5 % (целинные), легкосуглинистые и супесчаные – от 2,5-3 до 4 % соответственно.

Таблица 3.

Почвенно-продукционный потенциал речных бассейнов  
Европейской части России (в баллах)

Речной бассейн	Ранжирование показателей почвенно-продукционного потенциала				Почвенно-продукционный потенциал
	Удельная фитомасса	Удельная продуктивность	Содержание гумуса	Климатический показатель	
Пёша	6	2	6	3	17
Нева	9	5	3	8	25
Северная Двина	7	4	1	6	18
Мезень	6	4	4	5	19
Печора	6	3	6	4	19
Днепр	9	9	8	9	35
Волга, в т.ч.:	8	8	7	8	31
Ока	9	9	7	9	34
Кама	7	6	7	7	27
Дон	3	9	9	8	29
Урал	3	9	9	7	28
Кубань	5	9	10	8	32
Терек	1	7	8	6	22
Сулак	3	8	6	3	20

*Климатические условия.* Наиболее благоприятное сочетание суммы биологически активных температур и коэффициента увлажнения

характерно для территории бассейнов рек Днепр и Ока. Большая часть этих бассейнов характеризуется коэффициентом увлажнения больше 1 и суммой биологически активных температур около 2200°.

В итоге, высокие значения *почвенно-продукционного потенциала* характерны для бассейнов Днепр, Ока, Волга, Дон, Кубань, но структура этого показателя различна (табл. 3). Потенциал водосбора Кубани оказывается высоким за счет высокого показателя продуктивности и максимального в данном регионе почвенного плодородия, но запас фитомассы здесь невысокий. В бассейне Днепра показатель почвенного плодородия ниже, чем на территории бассейна реки Кубани, но в общий показатель большой вклад вносят благоприятные климатические условия и высокий удельный запас фитомассы.

Минимальное значение почвенно-продукционного потенциала отмечено в бассейне Пёша, здесь все показатели находятся на низком уровне. В бассейнах со средним значением почвенно-продукционного потенциала как минимум один из параметров находится на очень низком уровне, что существенно снижает потенциал территории. Так например, в бассейне Терека минимальный показатель удельного запаса фитомассы, а в бассейне реки Сулак на низком уровне находятся показатели, характеризующие накопление фитомассы и климат.

Оценка почвенно-продукционного потенциала в границах двух речных бассейнов (Ока и Кама), сформированных притоками второго порядка Волги демонстрирует пространственную изменчивость его параметров. В бассейне реки Оки почвенно-продукционный потенциал приближен к максимальному на исследуемой территории, здесь хорошие климатические условия, высокие значения фитомассы и продуктивности растительного покрова, но показатель плодородия почв не очень высокий, вследствие усреднения разнообразных почвенных условий (встречаются как дерново-подзолистые почвы, так и серые лесные почвы и черноземы). На территории бассейна реки Кама все параметры почвенно-продукционного потенциала находятся на среднем уровне.

Следовательно, для сравнительных характеристик речных бассейнов не как гидрологических единиц, а как функционирующих многомерных экосистем необходимо принимать во внимание не только порядок

бассейна, но и его площадь. Для экспертных оценок на территории крупных речных бассейнов первого порядка, обладающих большой широтной протяженностью, следует выделять более мелкие бассейны второго порядка.

*Вывод.*

Для оценки состояния экосистем речных бассейнов предложено использовать показатель почвенно-продукционного потенциала включающий: запас фитомассы, продуктивность, почвенное плодородие и климатический показатель. Высокие значения почвенно-продукционного потенциала характерны для бассейнов Днепр, Ока, Волга, Дон, Кубань.

Для сравнительных характеристик речных бассейнов не как гидрологических единиц, а как функционирующих многомерных экосистем следует принимать во внимание не только порядок бассейна, но и его площадь. На территории крупных речных бассейнов первого порядка, обладающих большой широтной протяженностью, следует выделять более мелкие бассейны второго порядка.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА И СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ БАССЕЙНОВ РЕК КИРЖАЧА И СУДОГДЫ**

С каждым годом все большие территории на Земле вовлекаются в антропогенное использование. Поэтому необходимо отслеживать изменения в экосистемах, анализировать их и составлять прогнозы. Сделать это оперативнее, эффективнее и рациональнее всего можно с применением данных дистанционного зондирования и автоматизированной обработки данных в ГИС.

В настоящей работе проведена оценка некоторых показателей, которые характеризуют продукционный потенциал экосистем (вегетационный индекс NDVI, запас фитомассы, биологическая продуктивность) для двух речных бассейнов малых рек (Киржача и Судогды).

*Характеристика объектов исследования*

Киржач и Судогда являются притоками Клязьмы. В обоих речных бассейнах преобладают дерново-подзолистые почвы. Преобладающий тип

растительности – бореальные сосновые и сосново-еловые леса с подлеском из мелколиственных пород.

### *Материалы и методы*

Для оценки продукционного потенциала бассейнов рек Киржача и Судогды были использованы: космические снимки с ИСЗ «Метеор» и «Landsat» ETM+, электронные карты, программы Erdas Imagine, ArcView, Excel, а также статистические и литературные данные.

Для оценки экосистем было выбрано несколько показателей, которые можно получить, используя материалы дистанционного зондирования: структура земельных угодий, запасы фитомассы и продукции угодий и экосистемы в целом, вегетационный индекс NDVI.

### *Результаты и их обсуждение*

#### Оценка продукционного потенциала растительного покрова бассейнов рек Киржача и Судогды

Для оценки продукционного потенциала растительного покрова территории бассейна реки Киржача были использованы два снимка – от 4 мая и 30 июня 2001 года. Для бассейна реки Судогда также использовались два снимка – от 3 мая и 28 августа 2004 года. По снимкам были отдешифрованы границы бассейнов. Затем из снимков вырезались части изображения, соответствующие бассейнам рек Киржача и Судогды, которые классифицировались методом ISODATA, автономная классификация без обучения. В результате нам удалось выделить водные объекты, хвойные, смешанные и лиственные леса, травянисто-кустарниковую растительность, траву, почвы с низким проективным покрытием и открытые пространства. Для каждого класса были рассчитаны значения вегетационных индексов. В табл. 4 представлено изменение состояние растительности на исследуемой территории в течение лета.

В бассейне реки Киржача за этот период значительно увеличилось значение NDVI травянистой растительности (с 0,22 до 0,48), так как трава выросла и в июне для нее баланс тепла и влаги оптимален. В лесах изменения менее выражены (в хвойных NDVI выросло на 0,03, а в смешанных и лиственных больше – на 0,14).

Таблица 4.

## Значения NDVI для бассейнов рек Киржача и Судогды

Название	Киржач				Судогда			
	04.05.2001		30.06.2001		03.05.2004		28.08.2004	
	NDVI	% от площади бассейна	NDVI	% от площади бассейна	NDVI	% от площади бассейна	NDVI	% от площади бассейна
В среднем по речному бассейну	0,20	100	0,40	100	0,16	100	0,41	100
NDVI некоторых угодий								
Леса, в т.ч.	0,26	47,00	0,40	48,24	0,18	51,56	0,40	52,80
хвойные	0,16	5,86	0,19	2,29	0,15	7,97	0,38	5,39
смешанные и лиственные	0,27	41,14	0,41	45,96	0,19	43,59	0,41	47,41
Травянистая растительность с высокой степенью проективного покрытия, с/х угодья	0,22	23,66	0,48	36,38	0,19	7,52	0,44	18,78
Максимальное значение травянистой растительности	0,45	1,81	0,60	0,58	0,25	1,64	0,49	1,79

В бассейне реки Судогды в мае большие территории попали в зону разлива рек. Кроме того, трава и листва на деревьях только начала расти. Поэтому, NDVI низкое во всех экосистемах. В августе же для древесной растительности климатические условия оптимальны, поэтому в лесах значение NDVI высокое, особенно в смешанных и лиственных (0,41). Для травы же значение NDVI хоть и выше, чем в мае, но ниже, чем в Киржаче в июне. Это объясняется тем, что в августе трава уже начала увядать, желтеть, т.к. содержание хлорофилла снизилось.

## *Построение карт структуры землепользования территорий бассейнов рек Киржач и Судогда*

На следующем этапе по результатам дешифрирования снимков были созданы электронные карты структуры землепользования территорий бассейнов рек Киржач и Судогда. Для этого была проведена предварительная обработка изображений. В результате растровые изображения были переведены в векторные.

Далее работа с изображениями продолжалась в программе ArcView GIS, где и были созданы карты структуры землепользования для территорий бассейнов Киржача и Судогды. Для выделения некоторых объектов (населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий) проводилась дополнительная оцифровка изображений, т.к. эти объекты не дешифрируются автоматически. Их необходимо дешифрировать визуальным методом.

Таким образом, на картах выделены леса, луга, сельскохозяйственные угодья и населенные пункты.

На основе карты землепользования рассчитаны площади различных земельных угодий: естественных экосистем – лесов, лугов, и антропогенных экосистем – территорий населенных пунктов и с/х угодий (пашен), а также запасы фитомассы и показатели продуктивности бассейнов. Общий запас фитомассы естественных экосистем в бассейне складывается из фитомассы лесов и лугов. Оба эти показателя выше в бассейне Судогды, поэтому и общий запас фитомассы там выше. Общий годовой прирост фитомассы в бассейне Судогды также выше.

Общие показатели зависят не только от продуктивности угодий, но и от занимаемой ими площади. Следовательно, сравнивая различные экосистемы необходимо дополнительно учитывать и удельные показатели, не зависящие от размеров бассейна и площадей угодий.

Поэтому, нами были рассчитаны удельные показатели фитомассы и продукции, приходящиеся на единицу площади естественных экосистем и всего бассейна.

По продуктивности, приходящейся на единицу площади, существенной разницы между бассейнами нет. А удельная фитомасса как в естественных экосистемах, так и распределенная на всю площадь бассейна,

выше для Судогды, что служит показателем большей устойчивости этой экосистемы.

Затем мы сравнили значения площадей различных угодий, полученные в результате дешифрирования космоснимков с данными, полученными по карте структуры землепользования Владимирской области (табл. 5).

Таблица 5.

Сопоставление значений площадей угодий, полученных с использованием ГИС и наземными методами

Название угодья	Киржач				Судогда			
	Площадь по космоснимку		Площадь по наземным данным		Площадь по космоснимку		Площадь по наземным данным	
	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%
Леса	834,65	47,2	889,34	53,15	905,04	47,2	1432,1 3	70,76
Пашни	595,13	33,7	442,64	26,46	629,13	32,8	272,22	13,45
Луга, поймы рек	224,05	12,7	247,23	14,78	279,30	14,6	225,96	11,16
Общая площадь бассейна	1767,52		1673,15		1916,47		2023,91	

Луга на космоснимках занимают меньшую площадь по сравнению с картой землепользования. Лесами в двух бассейнах заняты примерно одинаковые площади (около половины территории). Причем на картах структуры землепользования лесов больше, чем на космоснимках (в Судогде на 23%, а в Киржаче на 6%). Объяснить это можно тем, что на картах не обозначены все вырубки лесов, которые мы дешифрируем на космоснимках. Кроме того, снимки являются более современными.

Таким образом, космоснимки показывают, что вырубка лесов в бассейне реки Судогды идет более активно, чем в Киржаче. Пахотных угодий в Судогде на 0,9 % больше, чем в Киржаче. Следовательно, на оба бассейна приходится примерно одинаковая и довольно большая сельскохозяйственная нагрузка.



### *Заключение*

В ходе проведенной исследовательской работы на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования была произведена оценка состояния растительности бассейнов рек Киржача и Судогды. На основе анализа результатов дешифрирования были составлены карты структуры землепользования, рассчитаны площади разных типов земельных угодий, запасы фитомассы и продуктивность экосистем. Для оценки состояния растительного покрова на территориях бассейнов были рассчитаны вегетационные индексы NDVI.

## **ПОЧВЕННО-ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Выполнена оценка почвенно-продукционного потенциала (ППП) речных бассейнов на территории Владимирской области с использованием ГИС-технологий. Актуальность этой темы обусловлена тем, что сейчас одной из наиболее острых экологических проблем является деградация почв. Эта проблема выражается в снижении плодородия почв, антропогенном загрязнении и уменьшении территорий, пригодных для ведения сельского хозяйства. В связи с важностью этой проблемы в почвоведении всё большее внимание уделяется изучению экологических функций почвы. Одной из главных экологических функций почв является способность обеспечивать продуктивность естественных и искусственных экосистем. Эта функция может быть охарактеризована через продукционный потенциал почв.

Почвенно-продукционный потенциал представляет собой важнейший фактор, обеспечивающий устойчивость экосистем, и от него в конечном итоге зависит разнообразие и количество биологических ресурсов территории. На продукционный потенциал оказывают влияние многие факторы: естественное плодородие, структура землепользования, агрохимические свойства почвы, климат и т. д., поэтому охарактеризовать его можно только через обобщение нескольких наиболее значимых факторов. В настоящее время ещё не сложилось единого набора показателей и строгой системы оценки почвенно-продукционного потенциала.

Для его характеристики мы использовали следующие показатели, описывающие состояние почвенных ресурсов территории и их продукционный потенциал: почвенно-экологический индекс, естественное плодородие почв, урожайность, запас фитомассы и продуктивность. Данные характеристики учитывают, как естественные свойства почв, так и воздействие на них антропогенного фактора. Оценка ППП проводилась в границах речных бассейнов с использованием бальной системы.

В речных бассейнах Владимирской области сложились разнообразные почвенные условия. В большинстве бассейнов преобладают дерново-подзолистые почвы. В бассейнах Колокши и Нерли наиболее распространены серые лесные почвы; в бассейне реки Пра большую часть территории занимают болотные почвы. Аллювиальные почвы встречаются во всех бассейнах, однако большую часть территории они занимают в бассейнах рек Лух и Уводь. Наиболее распаханными являются серые лесные и дерново-подзолистые почвы. На карте (рис. 9) указана распаханность бассейнов, обозначены типы почв на участках, занятых пашней.

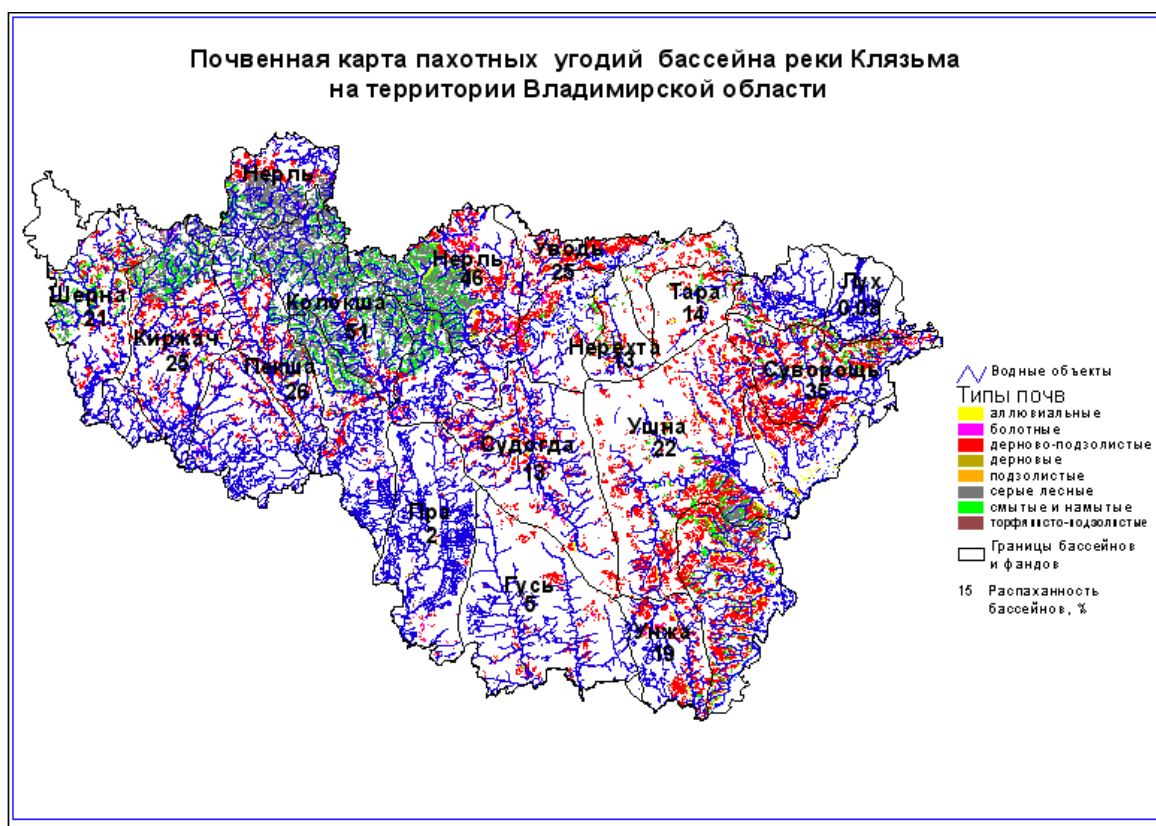


Рис. 9. Почвенная карта пахотных угодий бассейна реки Клязьма (на территории Владимирской области)

Показатели, входящие в состав почвенно-продукционного потенциала и их значения представлены в таблице. Первым показателем для оценки ППП речных бассейнов Владимирской области был выбран почвенно-экологический индекс (И.И. Карманов, 1991). Для его расчета использованы данные по наблюдениям на реперных участках агроэкологического мониторинга за период с 1993 по 2003 гг., предоставленные ФГУЦАС «Владимирский».

По средним значениям ПЭИ за весь анализируемый период все бассейны были разделены на 5 классов. Наибольший ПЭИ характерен для бассейна Колокши 69,3 и Нерли 67, расположенных на серых лесных почвах.

Таблица 6.

Почвенно-продукционный потенциал бассейнов рек Владимирской области (по средним данным за период с 1993 по 2003 гг.)

Наименование бассейна	Удельная фитомасса, тыс.т/км <sup>2</sup>	Балл	Удельная продуктивность, тыс.т/км <sup>2</sup>	Балл	Естественное плодородие, ц/га	Балл	Урожайность зерновых, ц/га	Балл	ПЭИ	Балл	Суммарный балл
Шерна	11,05	4	0,74	3	11,38	2	13,27	1	59,3	1	11
Пекша	10,03	3	0,78	4	13,48	3	15,9	2	61,9	2	14
Колокша	3,96	1	0,89	5	17,72	5	23,43	5	69,3	5	21
Нерль	5,87	1	0,81	4	17,97	5	23,62	5	66,9	4	19
Увель	9,04	3	0,77	4	13,4	3	16,14	2	58,9	1	13
Лух	15,5	5	0,77	4	9,67	1	11,42	1	66,0	4	15
Суворовь	7,67	2	0,81	4	11,11	2	13,8	2	58,7	1	11
Тара	14,51	5	0,66	2	11,53	2	13,92	2	59,1	1	12
Нерехта	12,13	4	0,74	3	14,32	3	17,66	3	59,4	1	14
Пра	12,27	4	0,59	1	13,3	3	16,47	3	59,1	1	12
Киржач	9,96	3	0,78	4	12,22	2	14,34	2	65,1	3	14
Ушна	11,76	4	0,73	3	11,35	2	13,58	1	58,9	1	11
Гусь	15,46	5	0,65	2	13,67	3	16,96	3	59,0	1	14
Унжа	10,45	3	0,76	4	11,35	2	13,54	1	59,0	1	11
Судогда	13,03	4	0,75	3	10,71	1	13,01	1	59,3	1	10

За период с 1993 по 2003 года во всех речных бассейнах наблюдалась тенденция снижения ПЭИ, в среднем он уменьшился с 63 до 59. Уменьшение происходило за счёт снижения содержания фосфора, калия и гумуса в почве и увеличения кислотности.

Вторым показателем оценки ППП является естественное плодородие почв, которое было получено вычитанием из урожайности прибавки, которую дают удобрения (его средние значения представлены в таблице). Естественное плодородие в бассейнах в разные года изменялось довольно значительно, особенно сильное увеличение наблюдалось в 2002-2003 гг., а снижение в 2001 и 2004 гг. Объясняется это существенными изменениями климатических условий в эти годы. Например, лето 2001 года было очень сухим и жарким, а в 2004 году наоборот холодным и дождливым, что и отразилось на показателе естественного плодородия почв.

Третьим показателем оценки ППП была выбрана урожайность зерновых культур на рассматриваемых территориях. В целом по области, за анализируемый период как и в большинстве бассейнов, урожайность зерновых увеличилась. Наибольшая урожайность характерна для бассейна реки Колокши, здесь она составила 24,5 ц/га, а наименьшая отмечается в бассейне реки Лух – 11 ц/га.

Следующие показатели, необходимые для характеристики ППП – это запас фитомассы и продуктивность речных бассейнов. Они были рассчитаны на основе карты структуры землепользования Владимирской области и статистических данных по продуктивности и запасам фитомассы различных угодий. Наибольшей удельной продуктивностью обладает бассейн Колокши, в структуре землепользования которого преобладают пашни и луга, а наименьшей бассейн Пры, большая часть территории которого занята малопродуктивными болотами и лесами. Самыми большими показателями фитомассы, приходящейся на единицу площади, обладают бассейны рек Гусь и Лух, наименьшим бассейн Колокши.

Комплексная оценка показателей почвенно-продукционного потенциала показала, что самые высокие его значения, характерны для бассейнов рек Колокши и Нерли, расположенных на территории серых лесных почв. В этих бассейнах не большой запас фитомассы, но высокие показатели продуктивности, почвенно-экологического индекса и урожайности.

Показатель почвенно-продукционного потенциала может увеличиваться и за счет накопления фитомассы. Например, в бассейне реки Гусь низкие значения продуктивности и почвенно-экологического индекса, но итоговый потенциал имеет среднее значения за счет самого большого в области запаса фитомассы на единицу площади. Таким образом, почвенно-продукционный потенциал позволяет охарактеризовать разнообразные факторы обеспечивающие продуктивность экосистем, а также выполнить комплексную оценку состояния экосистемы речных бассейнов.

### **СОСТАВЛЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ БАСЕЙНОВ Р. СУДОГДА И ЕЕ ПРИТОКОВ**

Создание экологической карты состояния лесных ресурсов Судогодского бассейна выполнялось методом ручной дигитализации, как наиболее гибким и недорогим, на основе материалов Главного управления природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР РФ по Владимирской области и ФГУ «Владсельлес» за ревизионные периоды 1973-2003гг. С помощью ArcView GIS создана база данных и карта, содержащие информацию о: номерах кварталов, общей площади каждого квартала в гектарах (га), площади лесных земель, га площади дорог и проселков (га), площади болот (га), общем запасе насаждений, ( $m^3$ ) площади приспевающих насаждений (га), запасе приспевающих и спелых насаждений, (га и  $m^3$ ), группах защитности насаждений и др.

Первым этапом создания карты являлось сканирование исходных картографических данных в границах административных районов и хозяйственных организаций, с дальнейшим их использованием в качестве подложки. Далее с помощью модуля ImageGeograf произведена «привязка» растровых изображений районов к координатам области. После чего осуществлялась непосредственно оцифровка карты средствами ArcView GIS, с нанесением на нее лесных кварталов.

Следующим этапом создания карты стало выделение границ исследуемых водосборных речных бассейнов. Что позволило подключить к ним базу данных, в формате dBase III, созданную по материалам четырех

последних лесохозяйственных устройств из лесотаксационных журналов в виде отдельного табличного слоя. С помощью полученной геоэкологической карты проведён анализ состояния лесных ресурсов водосборного бассейна реки Судогда и водосборов трёх её притоков: рек Побойка, Печенка и Сердуга.

## БЛОК-СХЕМА ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ



Преимущества ГИС, выделенные в процессе работы:

- Возможность формировать качественно новые решения, используя пространственный анализ данных;
- Для отображения на карте можно использовать данные в привычных форматах и стандартные технологии, не требующие дополнительного обучения;
- Возможность оценивать гораздо большие объемы данных одним взглядом на карту, быстро формировать сценарии развития событий и использовать информацию;
- Возможность наглядно отображать результаты исследований в виде диаграмм, таблиц, графиков и т.п., с последующим выводом на монитор, в файл или на печатное устройство.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЛАДИМИРСКОГО РЕГИОНА

Основная часть гидрографической сети Владимирской области представлена 746 малыми реками и ручьями, из них почти 80 % водных ресурсов принадлежит рекам бассейна Клязьмы и 20 % – рекам бассейна Оки.

Главной рекой Владимирской области является Клязьма, начинается она к северу от Москвы и впадает в реку Оку. Общая длина ее составляет 647 км, в пределах области – 392 км. Водосборная площадь в пределах области составляет 35 080 км<sup>2</sup>. Основное направление течения Клязьмы – с запада на восток. Основными притоками реки Клязьмы являются реки Судогда, Нерль, Киржач, Пекша и др. В бассейне Клязьмы имеются охраняемые природные объекты и водятся ценные и реликтовые животные: выхухоль, ондатра, бобр; произрастают реликтовые растения (сальвиния, водяной орех).

По юго-восточной границе области с юго-запада на северо-восток протекает река Ока. Общая протяженность реки составляет 1520 км, из них всего 157 км приходится на Владимирскую область. Водосборная площадь бассейна в пределах области составляет 8290 км<sup>2</sup>. Основными притоками реки Оки являются реки Гусь и Ушна, а также малые реки Унжа, Колпь и Илевна. Все притоки левобережные.

Всего по территории области протекает 211 рек. По своему режиму реки области относятся к равнинным, для которых характерны высокое весеннее половодье и низкое стояние уровня воды в остальное время года.

Согласно показателям качества воды поверхностных водных объектов по индексу загрязнения вод получены следующие данные. В реках Владимирской области нет очень чистой воды. Чистой воды в реках – 3,3 % от числа створов, охваченных мониторингом, умеренно-загрязненной – 20,8 %, загрязненной – 33,3 %, грязной – 27,5 %, очень грязной – 10 %, чрезвычайно грязной – 5 %.



Проанализировав динамику качества воды рек Владимирской области по индексу загрязненности воды (ИЗВ) за период 2001-2007 гг., можно сделать следующие выводы: на территории нашей области большинство рек относится к 3 и 4 классам качества, т.е. умеренно-грязная и загрязненная вода. К очень грязным рекам относятся р. Молокча, р. Рпень, р. Мотра, р. Гусь и р. Бужа.

Ежегодно проводятся исследования водных источников на содержание токсикантов. Приоритетными загрязняющими веществами для бассейнов рек Клязьма и Ока являются азот нитритный, азот аммонийный, легкоокисляемые органические вещества по величине БПК<sub>5</sub>, железо общее.

За период 2000-2007 гг. отмечается увеличение процента проб воды, не отвечающих санитарным нормам, отобранных в водоисточниках по микробиологическим показателям, что связано с ухудшением санитарного состояния водоёмов, используемых для питьевого водоснабжения, в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой.

Динамика качества поверхностных вод Владимирской области по удельному комбинаторному индексу загрязняющих веществ (УКИЗВ) за 2006-2007 гг. приведена на рис. 10.

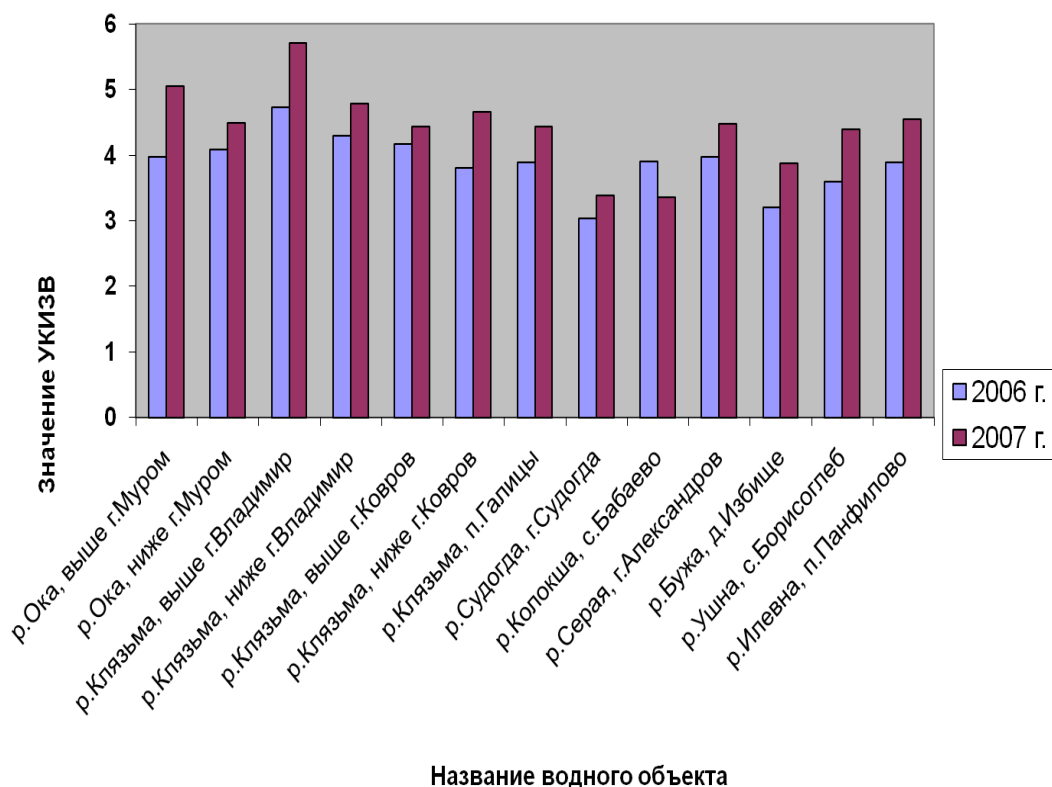
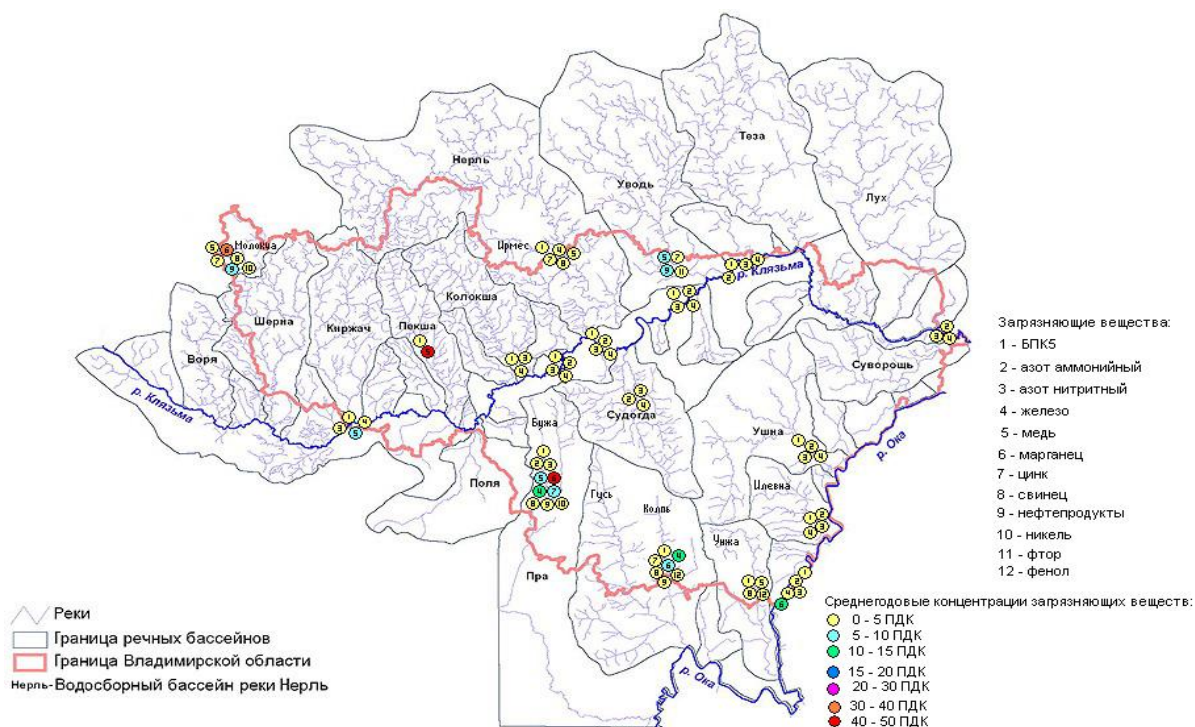


Рис. 10. Качество поверхностных вод региона

Основными источниками загрязнения поверхностных вод на территории г. Владимира и Владимирской области являются предприятия промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Главными водопользователями являются предприятия коммунального хозяйства, энергетической, химической, машиностроительной и пищевой промышленности. По количеству забираемой и сбрасываемой воды промышленные предприятия стоят на втором месте после предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Наибольший объем загрязненных сточных вод сбрасывают предприятия г. Владимира: МПП ВКХ, Владимирская ТЭЦ (ВладЭнерго). Большой вклад в загрязнение вносят такие большие города как Ковров, Муром, Александров.

Среднегодовые концентрации наиболее распространенных загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах Владимирской области за 2007 год приведены на рис. 11.



*Рис. 11. Концентрация наиболее распространенных загрязняющих веществ в поверхностных водотоках*

В связи с интенсификацией развития, сельское хозяйство становится одним из основных источников загрязнения поверхностных вод Владимир-

ской области. Главные отрасли сельского хозяйства – рыбоводство, свиноводство, овощеводство имеют четко выраженный пригородный характер. Неправильное хранение и использование удобрений является причиной загрязнения водоемов.

Вызывает опасение санитарное состояние территории предприятий, расположенных близко к воде. Скопление мусора, металлолома, нефтепродуктов часто становится активным загрязнителем водотоков во время весеннего половодья и дождевых паводков.

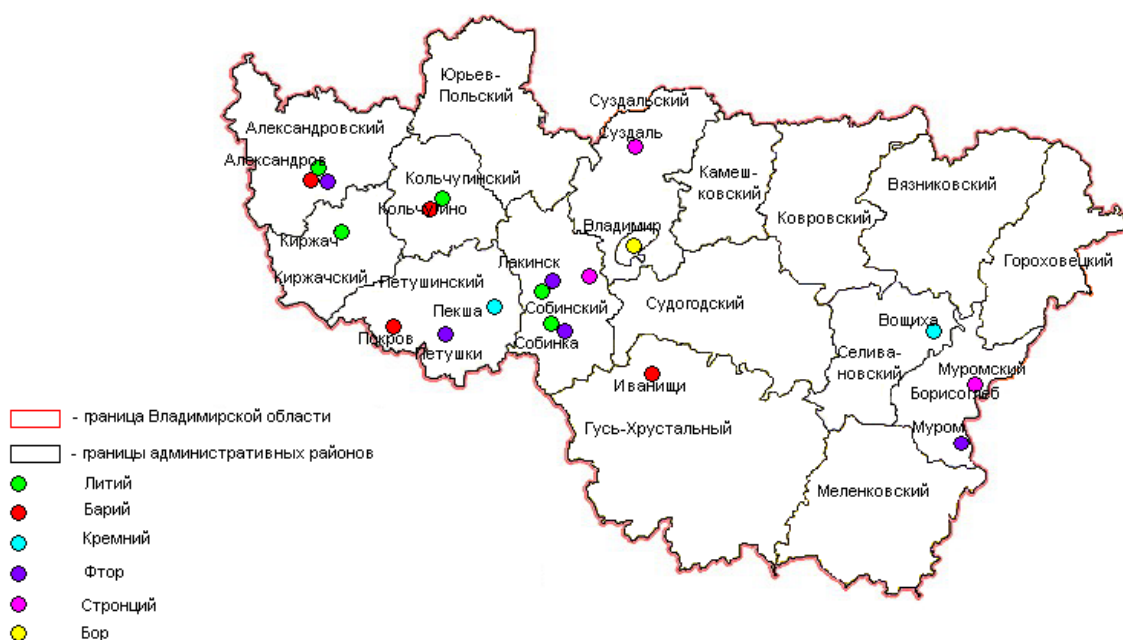
Свыше 50 % очистных сооружений в регионе находится в неудовлетворительном техническом состоянии. Многие сооружения выведены из эксплуатации и списаны, другие либо не работают, либо эксплуатируются в режиме механической очистки. Неэффективная работа подавляющего большинства очистных сооружений, фактически превратила малые реки области в приемники сточных вод. На качество воды в реках влияют чрезмерная концентрация производства и населения в крупных городах и поселках, а также соседние регионы – Московская, Ивановская, Рязанская, Нижегородская, Ярославская области.

Качество поверхностных вод в системе ГСМОС контролируют в соответствии с правилами, устанавливающими единые требования к построению сети мониторинга водных объектов, проведению наблюдений и обработки получаемых данных.

Подземные воды играют существенную роль в хозяйственно-питьевом и техническом водоснабжении Владимирской области. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении области 81 %. Общие прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод (ПЭРПВ) с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup> на территории Владимирской области по результатам работ, выполненным в 1999 году ТОО «Инфоком-Гео» под методическим руководством НППФ ГИДЭК с целью оценки обеспеченности ими потребностей народного хозяйства в хозяйственно-питьевом водоснабжении, составляют 2300 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На всей территории Владимирской области существует прямая (вертикальная) гидрохимическая зональность. С увеличением глубины залегания возрастает минерализация подземных вод. Наибольшее значение для крупного хозяйственно-питьевого водоснабжения имеют подземные воды

водоносного верхнекаменно-угольного карбонатного комплекса (в основном Клязьминско-ассельского и в меньшей степени Касимовского водоносных горизонтов). На них основано водоснабжение самых крупных городов и поселков области. Эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения возможна почти на всей территории области. Наименее обеспечены подземными водами города Вязники и Владимир. Для города Вязники разведаны запасы подземных вод в 20 км от города. Для города Владимира разведаны запасы подземных вод на Судогодском месторождении подземных вод в 30 км от города Владимира. В настоящее время из суммы утвержденных запасов используется 39 % (60 тыс. м<sup>3</sup>/сутки) подземной воды.

В результате проведенных исследований выявлено, что решающее влияние на качество подземных вод Владимирской области оказывают элементы I (чрезвычайно опасные) и II (высокоопасные) классов опасности: литий, барий, фтор, кремний, стронций и бор, для которых наиболее вероятно природное происхождение (рис. 12). Повышенные концентрации аммиака, нитратов, никеля, хрома имеют явно техногенный характер (табл. 7).



Превышение содержания указанных загрязняющих веществ составляет до 5 ПДК

*Рис. 12. Содержание в подземных водах Владимирской области элементов I-II классов опасности, имеющих природное происхождение*

За последние 2006-2007 годы вода подземных источников водоснабжения не отвечала гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям в 5,3 % случаях в 2007 г. и в 4,4 % случаях в 2006 г. из-за износа технологического оборудования и несоблюдения мероприятий в зонах санитарной охраны.

Таблица 7.

Содержание в подземных водах загрязняющих веществ,  
имеющих техногенный характер

Скважина	Техногенные загрязнители	Содержание техногенных загрязнителей в подземных водах	ПДК, мг/л
г. Суздаль	нитраты	1,11 ПДК	45
п. Красная Горбатка (Селивановский р-н)	нитраты	1,02 ПДК	45
д. Вощина (Селивановский р-н)	нитраты	1,04 ПДК	45
п. Селиваново (Селивановский р-н)	нитраты	1,44 ПДК	45
д. Булатниково (Муромский р-н)	нитраты	1,11 ПДК	45
д. Сергеево (Вязниковский р-н)	нитраты	1,82 ПДК	45
д. Никулино (Гусь-Хрустальный р-н)	азот аммиака	7,47 ПДК	2
г. Ковров	хром шестивалентный	26 ПДК	0,05
г. Муром	никель	1,8 ПДК	0,1
г. Юрьев-Польский	нефтепродукты	3,8 ПДК	0,1
г. Петушки	нефтепродукты	1,7 ПДК	0,1
г. Гусь-Хрустальный	соединения аммиака	1,1 ПДК	2
г. Гороховец	соединения аммиака	1,2 ПДК	2
г. Кольчугино	соединения аммиака	3,1 ПДК	2

При наблюдении за состоянием подземных вод характерными для территории области являются следующие факторы техногенного воздействия на геологическую среду:

- наличие большого количества потенциальных источников загрязнения, таких как промышленные и сельскохозяйственные предприятия, полигоны твердых бытовых и промышленных отходов, свалки, склады удобрений и ядохимикатов, ГСМ и других создающих опасность загрязнения геологической среды;
- на территории области получил развитие целый ряд экзогенных геологических (ЭГП) и инженерно-геологических процессов: карст, оползнеобразование, овражная и речная эрозия, заболачивание, подтопление. Эти процессы оказывают негативное воздействие на хозяйственную деятельность и экологическую обстановку, а порой создают угрозу жизни людей и сохранности строений.

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ НЕРЛЬ**

Основным источником водоснабжения в России являются открытые водотоки: реки, на них приходится 78 % от общего водопотребления.

За последние полстолетия произошла заметная деградация природных вод России, обусловленная большим водозабором на отдельных реках и созданием гигантских водохранилищ.

Следующей и самой главной причиной деградации природных вод является их загрязнение в результате хозяйственной деятельности человека. Загрязнения поступают в природные воды, по крайней мере, тремя путями: сброс сточных и ливневых вод с территории городов, смыв удобрений и ядохимикатов с сельскохозяйственных территорий, сухие и мокрые выпадения из атмосферы на поверхность водосборных бассейнов.

Нами исследовано качество воды реки Нерль, являющимся основным источником воды питьевого назначения г. Владимира, пгт. Сокол и других объектов.

Динамика изменения качества воды в р. Нерль в период с 1994 по 2004 г. свидетельствует о том, что среднегодовые величины показателей качества воды в р. Нерль соответствуют нормам, установленным для речной воды, но превышают, значения, предъявляемые СанПиН 2.1.4 1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», т.е. речная вода не может использоваться в питьевых целях без предварительной очистки и обработки.

По органолептическим показателям превышение норматива в среднем составляет:

- Цветность в 2,05 раза;
- Мутность в 1,42 раза;
- Прозрачность в 1,3 раза;
- Вкус в 1,27 раза;
- Запах в 1,3 раза;
- По обобщенному показателю – окисляемость превышение ПДК в 1,76 раза;

По химическим показателям превышение норматива составляет:

- Железо общее в 3,35 раза;
- Марганец в 1,38 раза;
- СПАВ в 4,55 раза;
- Нефтепродукты в 2,4 раза.

Пики сильных загрязнений приходятся на 1995, 1998 и 2003 годы (рис. 13).

Анализ динамики изменения качества свидетельствуют о значительном ухудшении состава и свойств воды в р. Нерль за последние 3 года (рис. 14).

Таким образом, цветность за последние 3 года увеличилась на 42%, мутность – на 30%, прозрачность ухудшилась в среднем на 24%, запах – на 18%, окисляемость возросла на 38%, концентрация железа – на 23%, марганца – на 22%, нефтепродуктов – на 34%.

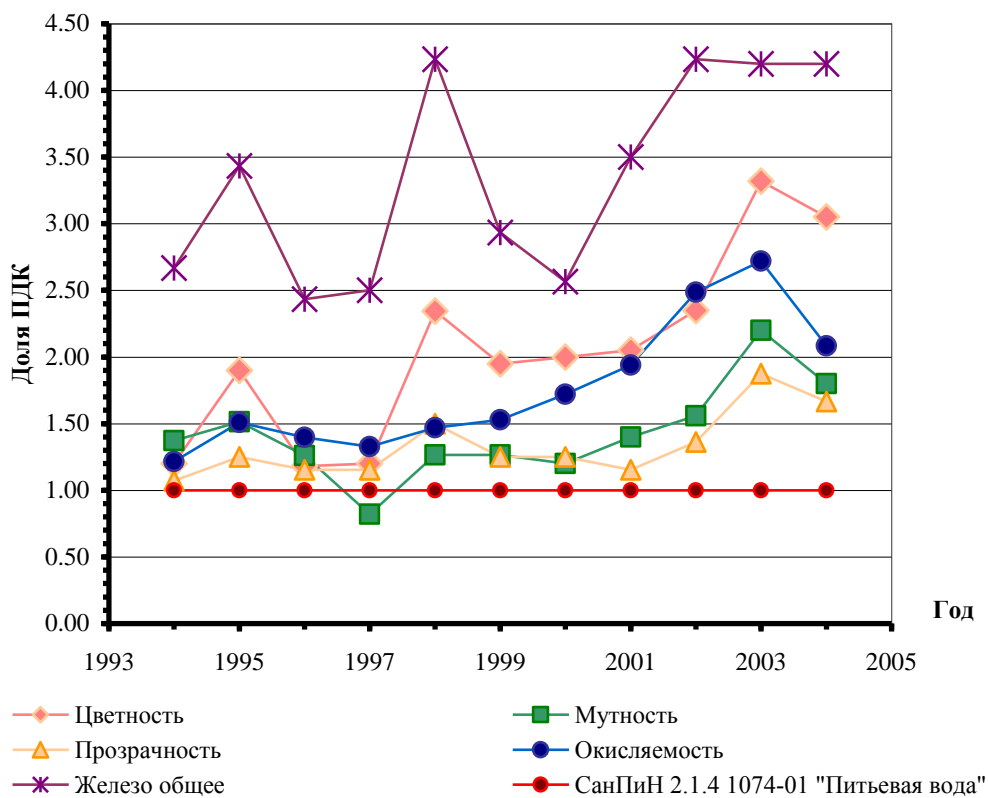


Рис. 13. Динамика изменения качества воды в реке Нерль в период с 1994 по 2004 г.

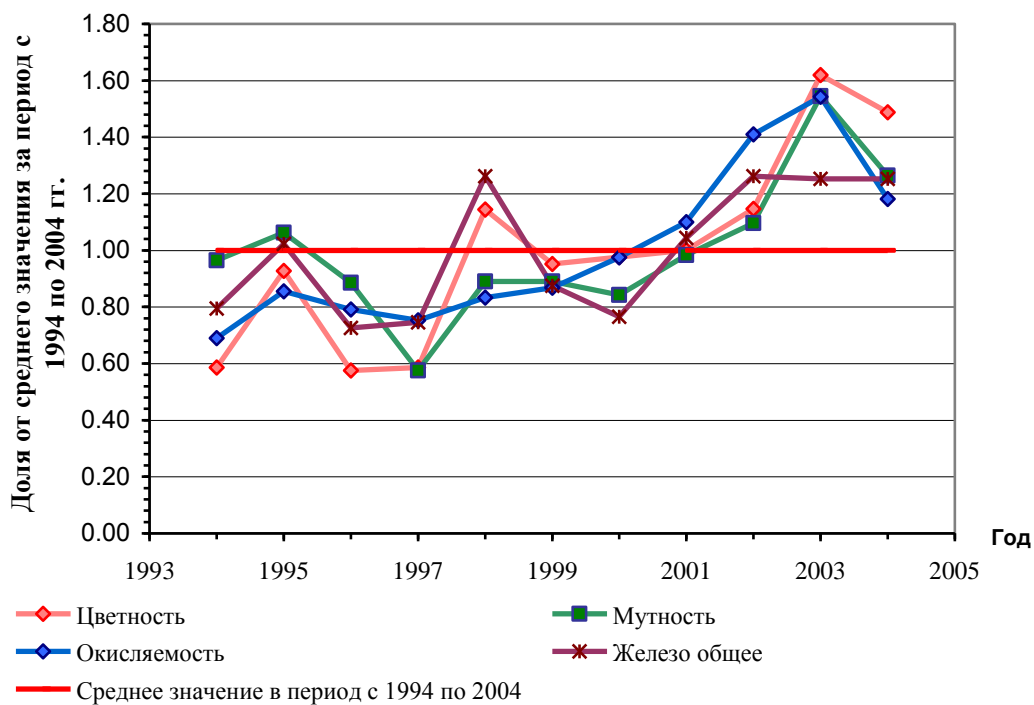
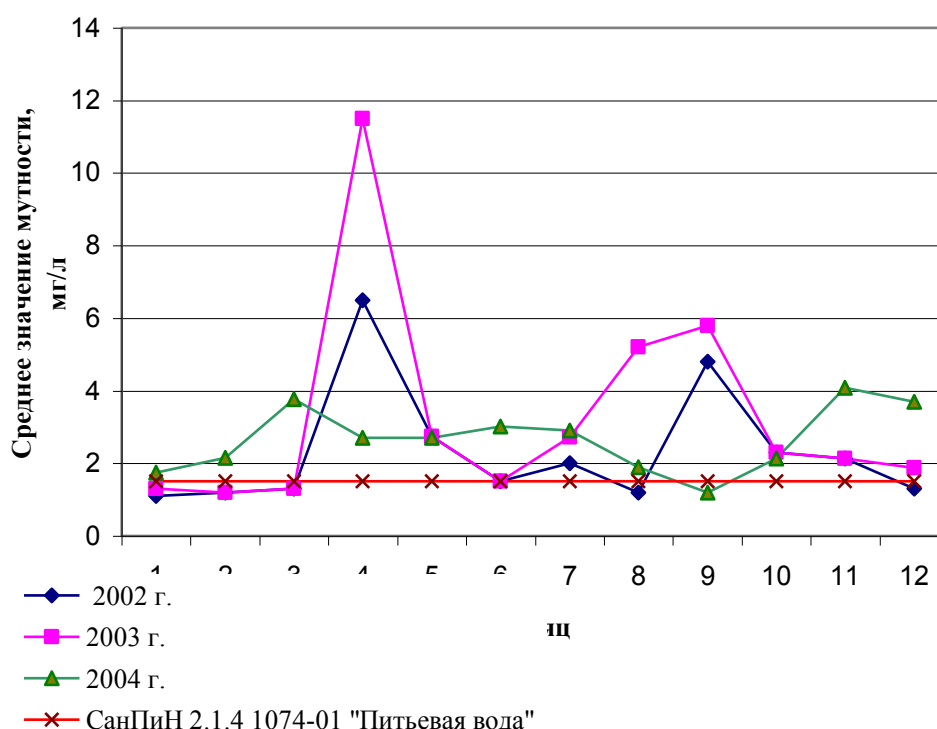


Рис. 14. Динамика изменения качества воды в р. Нерль в период с 1994 по 2004 г.



Качество воды в р. Нерль имеет сезонную динамику: оно резко ухудшается в период весенних паводков и поздней осенью, после сильных дождей, в результате интенсивного смыва с полей гумуса, остатков удобрений и пестицидов, а также грубодисперсных примесей. Кроме того, в это время увеличивается и питание реки за счет болот, что приводит к увеличению цветности воды (рис. 15, 16, 17).

Сезонная динамика изменения качества воды в р. Нерль рассмотрена на примере 2002, 2003, 2004 гг. Наглядное представление о сезонной динамике качества воды в р. Нерль дают графики изменения приоритетных показателей по месяцам за последние 3 года.



*Рис. 15. Сезонные колебания средних значений мутности в 2002, 2003, 2004.*

Анализ сезонной динамики качества воды в р. Нерль проводился с использованием методики расчета индекса сезонности по известным показателям за каждый месяц для 3х-летнего периода с 2002 по 2004 г. Данный подход позволяет получить более точные результаты, чем при анализе динамики какого-либо одного года. Кроме того, графики индексов сезонности наглядно демонстрируют изменение значений рассматрива-

этого показателя в каждом месяце относительно среднегодовой величины в процентах.

Рассчитанные индексы сезонности для приоритетных показателей качества воды в р. Нерль представлены в виде графиков на рис. 18.

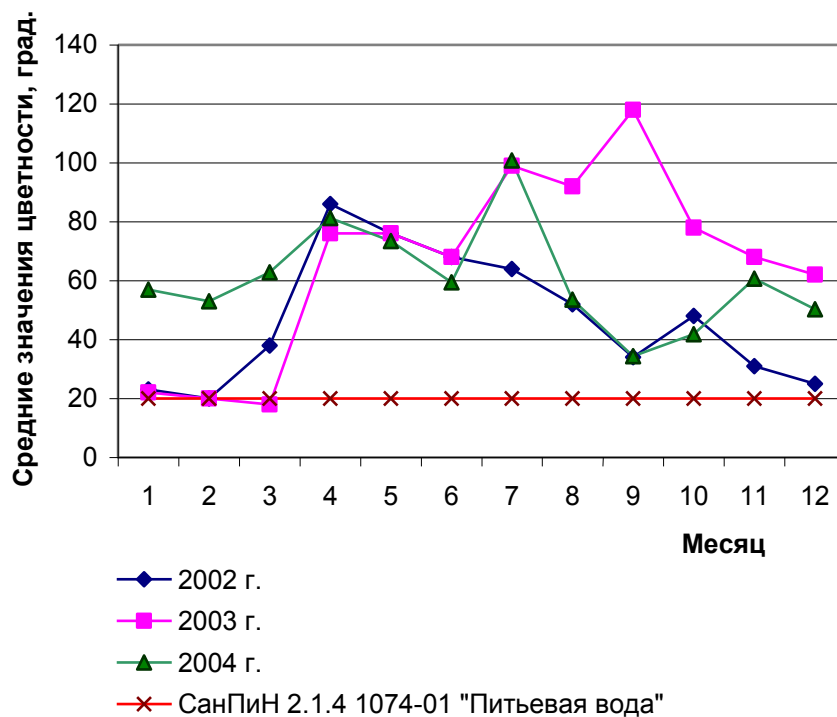


Рис. 16. Динамика сезонных колебаний средних значений цветности в 2002, 2003, 2004 гг.

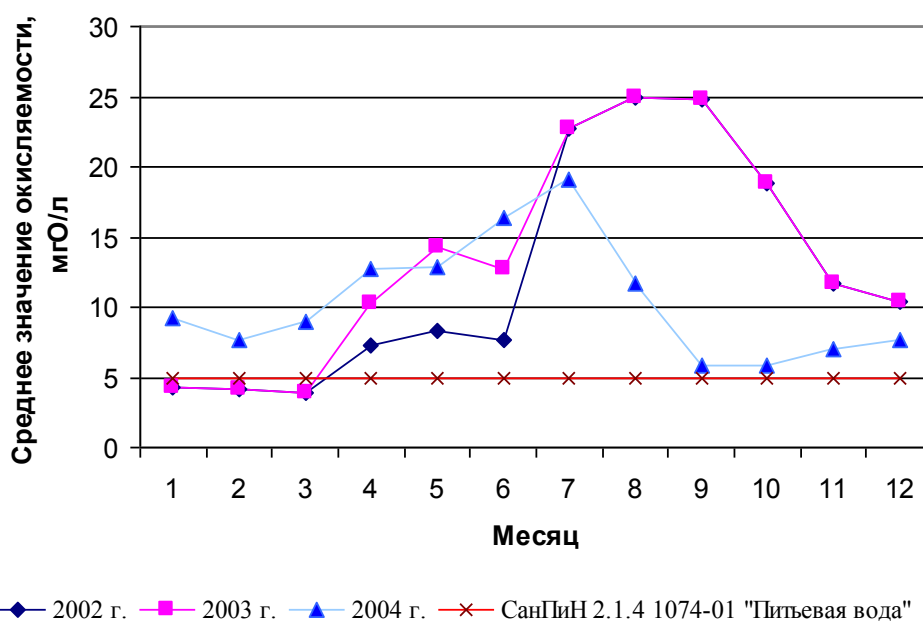


Рис. 17. Динамика сезонных изменений окисляемости в 2002, 2003, 2004 гг.

Анализ полученных графиков (рис. 18) позволяет сделать следующие выводы: график сезонных изменений значений мутности имеет 2 явных пика: в апреле и сентябре, причем в апреле концентрация взвесей достигает максимума, что связано со смывом крупнодисперсных примесей паводковыми водами с площади водосборного бассейна.

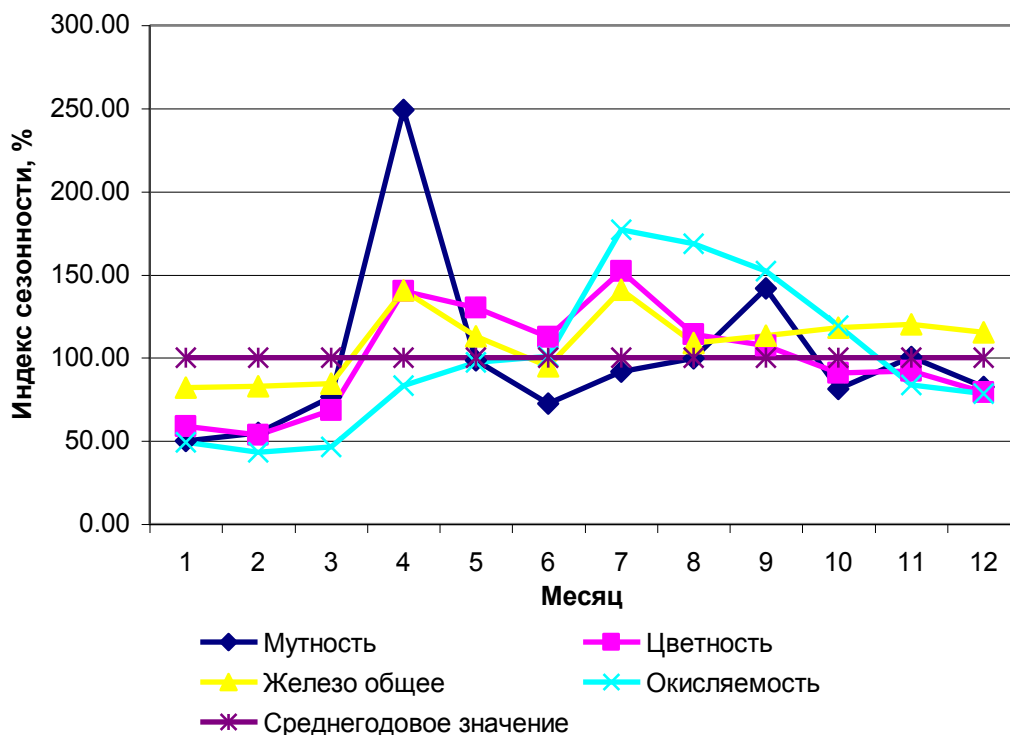


Рис. 18. Динамика индексов сезонности в период с 2002 по 2004 гг.

Графики индексов сезонности цветности и железа также имеют два четко выраженных пика: апрель, июль. Значения цветности и концентрации железа четко коррелируются, что свидетельствует о природном происхождении повышенной цветности воды, зависящей, прежде всего, от избыточного содержания железа в воде. Цветность воды обусловлена также присутствием в воде гуминовых и фульвокислот. Это подтверждается идентичностью динамик изменений цветности и окисляемости, которая в свою очередь вызвана наличием органических веществ. Окисляемость и цветность имеют общий максимум в июле, что отчасти обусловлено благоприятными условиями в этот период для цветения воды. Изменения индексов сезонности цветности и окисляемости имеют одинаковую тенденцию к снижению с июля по октябрь, далее значение цветности

стабилизируются на уровне октября в связи с относительно постоянной высокой величиной индекса сезонности содержания железа. В декабре наблюдается спад значений всех индексов сезонности: графики мутности, цветности и окисляемости даже пересекаются в одной точке. Минимальное значение исследуемых показателей качества воды приходится на период с января по март, из-за отсутствия приноса загрязняющих компонентов поверхностным стоком. Данный факт ещё раз подтверждает приоритет природных загрязнителей в изменении качества воды в р. Нерль.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о необходимости глубокой очистки воды р. Нерль для питьевого водопользования.

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК**

Согласно данным Аналитического управления Аппарата Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, в России насчитывается 2,5 млн. малых рек и ручьев, 127 тыс. из них длиной от 10 до 200 км. Они формируют почти половину суммарного объема речного стока, в их бассейнах проживает до 44% всего городского населения и почти 90% сельского.

В настоящее время малые реки испытывают наибольшую антропогенную нагрузку, так как являются основными приёмниками загрязнителей, поступающих со сточными водами промышленных и сельскохозяйственных предприятий, коммунального хозяйства. Причинами, способствующими загрязнению воды малых рек, являются также массовая застройка водоохраных зон и, прежде всего, прибрежных полос; размещение в водоохраных зонах пастбищ скота, складов ядохимикатов, навозохранилищ, неблагоустроенность зон отдыха оздоровительных объектов, пляжей и т.п. По данным указанного Аналитического управления, более 80% загрязненных сточных вод сбрасывается в реки без очистки.

Учитывая актуальность вопроса с положением загрязнения малых рек в Российской Федерации, в марте 2004 г. Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации на парламентских слушаниях

заслушал вопрос «Экология малых рек России» и принял соответствующее решение.

В целях улучшения санитарного состояния водных объектов и питьевого водоснабжения населения территориальные управления Роспотребнадзора как на федеральном, так и на региональном уровнях должны работать над совершенствованием законодательства, а также нормативной базы, устанавливающей гигиенические критерии безопасности условий водопользования. Такие работы во Владимирской области пока не начаты, хотя необходимость их проведения неоспорима.

Во Владимирской области насчитывается 58 бассейнов рек, 746 рек и ручьев, в том числе 211 – протяженностью более 10 км, основные из которых: р. Клязьма, пересекающая область с запада на восток, площадью водосбора – 41,6 тыс. км<sup>2</sup>, в пределах области – 23,07 тыс. км<sup>2</sup>; р. Ока, протекающая по её восточной границе, площадь водосбора – 245 тыс. км<sup>2</sup>, в пределах области – 5,93 тыс. км<sup>2</sup>.

Малые реки оказывают существенное влияние на гидрологический режим этих рек. Из притоков р. Оки наибольшее количество загрязняющих веществ принимают воды рек: Клязьма, Гусь, Унжа и Илева.

Из рек бассейна Клязьмы значительная антропогенная нагрузка приходится на её притоки: Рпень, Судогда, Березка, Ворша, Колокша, Бужа, Нерехта, Суворощь, Ундолка.

Антропогенная нагрузка на водные объекты, несмотря на спад производства, остается значительной, об этом свидетельствует высокий уровень загрязнения рек области. По величине индекса загрязнения вод (ИЗА) большая часть водных объектов (около 40%) относится к 4 классу (загрязненная) и до 25% – 5 классу (грязная). Причем наблюдается тенденция роста количества водоемов 5 класса качества. Количество чистых водных объектов составляет 3,3%.

По данным государственного доклада «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2004 г.» Владимирская область относится к тем субъектам Российской Федерации, где показатели загрязнения водоемов значительно превышают средние показатели по России как для водоемов питьевого водоснабжения (I категория), так и для водоемов культурно-бытового использования (II категория) (табл. 8).

Таблица 8.

Доля проб воды водоемов I и II категории, превышающих гигиенические нормативы по санитарно-химическим показателям

Наименование территории	Доля проб воды, превышающих гигиенические нормативы, %			
	Водоемы I категории		Водоемы II категории	
	2003	2004	2003	2004
Российская Федерация	28,77	27,44	25,50	27,41
Владимирская область	57,52	56,60	40,37	44,26
Московская область	46,60	35,04	43,36	40,54

Как видно из табл. 8, уровень загрязнения воды рек во Владимирской области также был в 2004 г. значительно выше, чем в соседней Московской области.

В настоящее время система ПДК остается ведущей при осуществлении контроля над антропогенной нагрузкой на водные объекты. Нормативы ПДК лежат в основе регулирования сбросов в водные объекты промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. «Правилами охраны поверхностных вод» запрещено сбрасывать в поверхностные водоемы сточные воды с веществами, для которых не установлены ПДК.

Контроль только за соблюдением ПДК без учета токсикологической нагрузки на водоем и его самоочищающего потенциала способствует не профилактике загрязнения, а сокрытию качественного состава сбросов. Исходя из этого, необходимо вводить в систему экологического мониторинга методы, позволяющие оценить влияние всего комплекса загрязняющих веществ на биоценоз контролируемого водоема с учетом характера водопользования.

В силу ограниченных финансовых ресурсов в области наблюдается тенденция к сокращению контролируемых створов и количества отбираемых проб. Так, например, гидрохимический контроль за состоянием поверхностных вод на территории Владимирской области в 1997 году

проводился на 45 водных объектах в 120 створах с периодичностью отбора от 2 до 12 раз в год. Контроль качества воды проводился по 25 химическим показателям, а в 2004 – 2005 гг. произошло снижение количества отбираемых проб.

Известно, что число загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные воды, с каждым годом возрастает и в настоящее время достигает нескольких тысяч наименований, а нормативы ПДК для водных объектов различных видов водопользования разработаны лишь для примерно 1500 ингредиентов.

Главной целью гигиенического нормирования качества воды является предотвращение вредного воздействия её на организм человека, т.е. на здоровье населения. Основной задачей санитарной охраны водоемов признается защита населенных пунктов от возможных неблагоприятных последствий загрязнения водоема при хозяйственно-питьевом и культурно-бытовом водопользовании.

Такой подход основан на признании первичности социально-экономического значения водоемов. В этом заложено основное противоречие между водоохраной деятельностью и нормированием качества воды. Наличие его обуславливает создание «экономической базы» загрязнения водоемов. Так, водные объекты считаются загрязненными, если свойства воды в них изменились в результате антропогенного воздействия и стали непригодными для одного из видов водопользования.

Таким образом, действующая система ПДК обеспечивает лишь контроль за загрязнением воды, а не её охрану. Она не отражает токсикологическую нагрузку на экосистему, не учитывает комбинированного и комплексного действия загрязнителей на гидробионтов, процессы аккумуляции веществ в биологических объектах и донных отложениях. Федеральные ПДК игнорируют специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах и биогеохимических провинциях, а значит, и их токсикорезистентность.

Общепризнано, что качество воды формируется гидробионтами в соответствии с гидрохимическим и гидрологическим режимами. Гидробионты более чувствительны к воздействию большинства загрязнителей воды, чем человек, поэтому если вода является пригодной для

нормального существования гидробионтов, в чем и заключается задача водоохранной деятельности, то качество ее будет удовлетворять требованиям большинства водопользователей.

Для интегральной оценки качества водных экосистем в настоящее время широко используются методы биотестирования с *Daphnia magna* St. (Методическое руководство по биотестированию воды, разработанное ВНИИВО, РД-118-02-90, 1990).

В работах Волкова И. В., Заличевой И. Н. и других показано, что норма реакции гидробионтов отражает региональные особенности ее формирования, что исключает наличие универсального тест-объекта для всех биохимических провинций и природно-климатических зон. То есть резистентность организма определяется не только какими-то его биологическими особенностями, но и теми условиями, в которых он существует, поэтому для каждого региона должны быть выбраны местные тест-объекты.

Исходя из этого, критерием качества водного объекта может служить состояние экосистемы водоема, ее функционирование, состав биоценоза. Следовательно, нормирование качества воды должно осуществляться на основе показателей, характеризующих целостность экосистемы. Таким показателем являются величины самоочищающей и нитрифицирующей способности водоема, а также видовой состав гидробиоценоза или отдельной группы гидробионтов (например, моллюсков).

Так как санитарное состояние водоема удается сохранить на удовлетворительном уровне только при нормальном протекании в них процессов самоочищения, то сохранение самоочищающей способности является свидетельством нормального функционирования гидробиоценоза и критерием устойчивости экосистемы водоема к антропогенному воздействию.

Экосистема каждого водного объекта характеризуется определенными минимальными и максимальными значениями самоочищающей способности. Под влиянием антропогенных факторов происходит перестройка гидробиоценоза водоема, и эти величины соответственно изменяются. Поэтому данные об изменении самоочищающей способности должны служить в качестве нормативов качества воды, нарушение



которых неизбежно приведет к разрушению целостности экосистемы, ее перестройке, а значит, к новой ступени деградации.

В настоящее время не существует общепризнанных методов определения величины самоочищающей способности водоема. Однако, этот сложный процесс может быть разложен на ряд простых, легко поддающихся количественному описанию и отражающих его суть. Обезвреживание антропогенных веществ происходит в результате физико-химических процессов в толще воды и донных отложениях и деятельности гидробионтов. Очищение воды, осуществляемое гидробионтами, может быть сведено к их минерализующей деятельности, накоплению ими продуктов переработки и транзиту их на дно. Таким образом, самоочищение воды связано с биохимическим потреблением кислорода гидробионтами.

Одновременно важнейшими компонентами биологического самоочищения водоемов, кроме микроорганизмов, являются фитопланктон, высшая водная растительность, зоопланктон, высшие ракообразные, олигохеты, личинки насекомых, моллюски.

Для количественной оценки самоочищающей способности водных объектов наиболее целесообразно использование изменения биохимического потребления кислорода и нитрифицирующей способности воды. Загрязнение воды токсическими для микроорганизмов веществами приводит к торможению биохимического потребления кислорода и изменению нитрифицирующей способности воды.

Для оценки самоочищающей способности водных объектов нами использован метод, основанный на определении величины изменения полного биохимического потребления кислорода (БПК<sub>П</sub>) после внесения в исследуемую пробу воды определенного количества загрязняющего вещества (БПК<sub>ЗВ</sub>). При этом в пробу исследуемой воды вносили такое количество загрязняющего вещества, чтобы его концентрация в исследуемой пробе была равна 0,04 ммоль/л. Параллельно определяли величину полного биохимического потребления кислорода в той же пробе воды, но без внесения в нее загрязняющего вещества (БПК<sub>К</sub>). По полученным данным рассчитывали коэффициент самоочищающей способности ( $K_{сам}$ ) водного объекта по соотношению:

$$K_{\text{сам}} = (\text{БПК}_{\text{ЗВ}} - \text{БПК}_{\text{К}}) / \text{БПК}_{\text{Т}}, \text{ где}$$

$\text{БПК}_{\text{Т}}$  – теоретическое значение полного биохимического потребления кислорода, необходимого для полного окисления загрязняющего вещества при его концентрации в пробе 0,04 ммоль/л.

Как следует из этого соотношения, если загрязняющее вещество не подвергается биохимическому окислению вследствие утраты самоочищающей способности водным объектом, то  $\text{БПК}_{\text{ЗВ}} = \text{БПК}_{\text{К}}$  и  $K_{\text{сам}} = 0$ . Если же загрязняющее вещество почти полностью окисляется за 20 дней, то  $K_{\text{сам}} \rightarrow 1$ .

Концентрацию растворенного кислорода в пробах определяли общепринятым методом Винклера.

Нитрифицирующая способность природных вод – один из показателей способности к самоочищению, позволяющий судить об активности микроорганизмов и устойчивости естественных процессов круговорота азота. Причем под действием антропогенного загрязнения может происходить как торможение процессов нитрификации, так и их стимуляция. Во втором случае в гидробиоценозе может произойти изменение видового состава микробиоценоза водоема, появление новых сообществ нитрифицирующих микроорганизмов, адаптированных к техногенному загрязнению.

Для оценки нитрифицирующей способности нами выбран метод, основанный на определении концентрации нитрат-ионов в пробах после внесения в них различных количеств ионов аммония. Содержание нитрат-ионов измеряли через 20 суток. Параллельно проводили контрольный опыт без внесения ионов аммония. Концентрацию нитрат-ионов определяли ионометрически с использованием нитратселективного электрода.

Пробы воды для анализа нами отбирались из р. Рпень – одной из малых рек Владимирской области (рис. 19). Ее длина составляет 45,8 км, площадь водосбора – 264 км<sup>2</sup>. В силу своего географического расположения – в районе интенсивного сельскохозяйственного производства и промышленного центра, она испытывает значительную антропогенную нагрузку. Данная река является основным приёмником сточных вод промышленных предприятий г. Владимира. Отбор проб проводился в трех створах:

1. выше устья р. Содышка (1 км севернее с. Сновицы);
2. в черте г. Владимира, в месте пересечения р. Рпень и ул. Б. Нижегородская, в районе завода «Автоприбор»;
3. в устье р. Рпень, при впадении ее в р. Клязьма.



Рис. 19. Карта бассейна р. Рпень

Состояние воды в первом створе определяется воздействием на реку сельскохозяйственного производства Суздальского района, во втором и третьем – промышленных предприятий г. Владимира. Отбор проб воды проводился в марте – апреле 2007 г.

В отобранных пробах определяли самоочищающую способность воды, перманганатную окисляемость и нитрифицирующую способность при внесении различных доз сульфата аммония (табл. 9).

Перманганатная окисляемость отражает уровень загрязнения воды легкоокисляемыми органическими и неорганическими веществами. Как видно из таблицы, наиболее загрязнена этими веществами вода створа № 2. Вода этого створа характеризуется также наибольшим уровнем общего

загрязнения. Об этом свидетельствует величина коэффициента самоочищения. Перманганатная окисляемость является индикатором возможности образования в питьевой воде хлорметановых соединений при ее хлорировании, поэтому этот показатель мы рекомендуем ввести для ежедекадного контроля водоемов питьевого назначения и ежеквартального контроля водоемов культурно-бытового использования.

Таблица 9.

Результаты анализа воды р. Рпень

Определяемые параметры	Створ 1	Створ 2	Створ 3
Коэффициент самоочищения	0,44	0,13	0,53
Перманганатная окисляемость, мг кислорода/л	9,3	10,1	9,6
Нитрифицирующая способность, % при С (NH <sub>4</sub> ), мг/л			
10	85,5	100	100
20	97,3	94,7	100
30	5,4	80,1	17,1

Процессы нитрификации во всех створах ингибируются лишь при введении больших доз ионов аммония (30 мг/л), что свидетельствует о толерантности нитрифицирующих микроорганизмов к загрязняющим веществам данного водного объекта и возможности появления в нем новых адаптированных сообществ нитрифицирующих бактерий.

Таким образом, нитрифицирующая способность воды не может быть использована в качестве чувствительного интегрального показателя общего загрязнения водоема.

Исходя из вышенаписанного, в качестве наиболее информативных показателей качества воды малых рек можно рекомендовать такие показатели, как самоочищающая способность, перманганатная окисляемость и видовой состав пресноводных моллюсков, так как пресноводные моллюски являются простыми и достаточно чувствительными индикаторами загрязнения водных объектов.

## САМООЧИЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ БАСЕЙНА РЕКИ КОЛОКША

Оценка антропогенной нагрузки на водосборные бассейны малых рек при одновременном исследовании самоочищающих свойств этих экосистем в настоящее время представляет большой научно-практический интерес. Данные свойства необходимо учитывать при проведении экологического аудирования, при планировании антропогенного развития территории с целью экологически оптимального регулирования техногенных потоков в окружающей среде. Исследование влияния загрязняющих веществ на самоочищающую способность было проведено для экосистемы типичного бассейна малой реки Колокша.

Экологическая нагрузка на водосборный бассейн определяется, прежде всего, особенностями промышленно-сельскохозяйственной инфраструктуры региона. Так, для бассейна реки Колокша отмечается доминирование предприятий сельскохозяйственного профиля и ЖКХ. Следовательно, сточные воды этих объектов содержат ингредиенты, имеющие биологическую природу происхождения. Это, прежде всего, БПК<sub>5</sub>, соединения азота аммонийного, нитритного и нитратного (назовём их условно – соединения 1 группы). Кроме этого, ряд природопользователей имеет в составе своих сточных вод соединения тяжёлых металлов – меди, шестивалентного хрома, а так же, в меньшей степени, хрома трёхвалентного, никеля, цинка, свинца и кадмия (соединения 2 группы).

Самоочищающая способность или самоочищение среды – естественное разрушение или нейтрализация (обезвреживание) загрязнителей окружающей среды в результате физических, химических и биологических процессов, при этом ведущая роль в процессах самоочищения водоёмов принадлежит гидробионтам: бактериям, водорослям, простейшим, обладающим некоторой толерантностью (устойчивостью) по отношению к воздействию ряда экологических факторов.

Поступающие в водную среду органические загрязнители подвергается деструкции и дальнейшей ассимиляции теми организмами, которые используют его в качестве своего пищевого рациона. Продуктами разложения легкоокисляемого органического вещества являются различ-

ные соединения азота. Энергия этих окислительно-восстановительных реакций и используется гидробионтами.

Соотношение концентраций БПК<sub>5</sub>, аммония, нитритов и нитратов свидетельствует о полноте и глубине окисления легкоокисляемого органического вещества. В частности, если в воде имеются высокие концентрации первых трёх ингредиентов, значения которых существенно превышают ПДК, это может свидетельствовать о низкой скорости протекания окислительно-восстановительных процессов деструкции легкоокисляемого органического вещества. На скорость протекания процессов самоочищения водоёма влияет целый ряд природных факторов, одним из которых является численность гидробионтов.

На численность же гидробионтов, в свою очередь, так же оказывает влияние целый ряд экологических факторов, одним из которых является концентрация токсичных для данных организмов загрязняющих веществ. Такими веществами являются соединения тяжёлых металлов и в первую очередь, меди и шестивалентного хрома, а так же хрома трёхвалентного, никеля, цинка, свинца и кадмия. При определённых концентрациях последних нарушаются процессы жизнедеятельности микроорганизмов, что вызывает их частичную или полную гибель, и, как следствие, снижение самоочищающей способности воды. Такая ситуация характерна для бассейна реки Колокша.

Данные гидрохимического мониторинга показывают, что в устье реки, начиная с 1996 года, ухудшается качество воды вследствие увеличения органических загрязнителей.

Если в период с 1993 по 1995 год среднестатистическая концентрация БПК<sub>5</sub> в устье реки Колокша фиксировалось в пределах 1,1-1,3 единиц ПДК, то с 1996 по 1999 годы эти значения возросли и варьировались в пределах 2,4-2,8 единиц ПДК.

Аналогичная закономерность наблюдается по соединениям азота. Так, по азоту аммонийному с 1993 по 1995 год включительно концентрация в устье реки Колокша находилась в пределах 0,5-0,9 единиц ПДК, то с 1996 по 1999 годы эти значения возросли и возросли до 3,5-4,5 единиц ПДК. По азоту нитритному с 1993 по 1995 год включительно среднестатистическая концентрация в устье реки Колокша находилась в

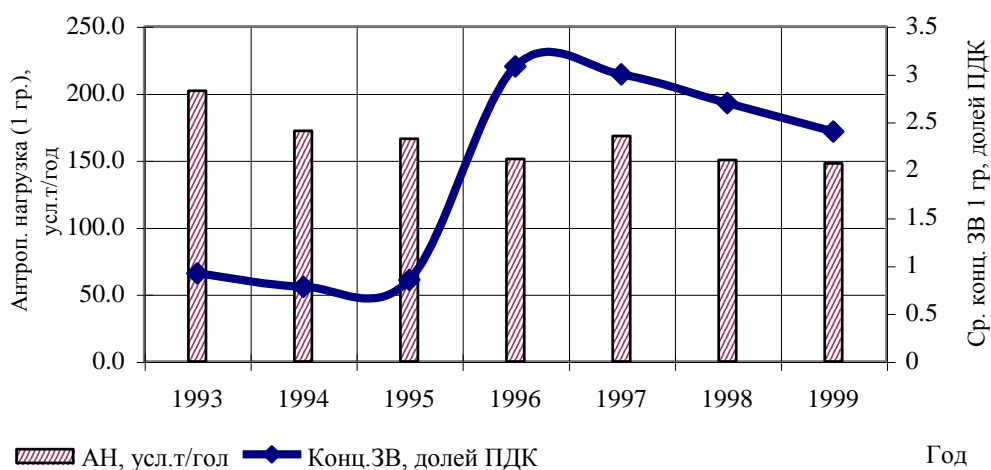
пределах 1,3-1,6 единиц ПДК, то с 1996 по 1999 годы эти значения возросли и варьировались в пределах 3,3-3,9 единиц ПДК. По азоту нитратному с 1993 по 1995 год включительно средне-статистическая концентрация в устье реки Колокша находилась в пределах 0,1-0,2 единиц ПДК, то с 1996 по 1999 годы эти значения возросли и варьировались в пределах 0,9-1,1 единиц ПДК. Эти данные, таким образом, свидетельствуют о снижении самоочищающей способности бассейна реки Колокша после с 1996 года.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что после 1996 года в результате сброса соединений тяжёлых металлов было нарушено экологическое равновесие экосистемы водосборного бассейна. Данные по сбросам сточных вод в бассейн и данные гидрохимического мониторинга показывают, что то воздействие на бассейн реки Колокша, которое имело место с 1993 по 1995 год включительно, характеризовали экологическую обстановку как относительно благоприятную. Несмотря на среднее превышение ПДК по тяжёлым металлам до 4,5 единиц, содержание в водотоке соединений 1 группы не превышало ПДК. Это свидетельствует о том, что валовая техногенная нагрузка как от сосредоточенных (зарегулированных) источников сброса, так и от рассредоточенных не являлась для экосистемы реки Колокша критической и загрязнители полностью ассимилировались гидробионтами.

Сопоставляя данные по динамике сбросов соединений 1 группы с данными гидрохимического мониторинга этих же ингредиентов, отмечается, что за период с 1993 по 1996 и с 1996 по 1999 годы в динамике сбросов перечисленных загрязняющих веществ (ЗВ) существенных колебаний не наблюдалось. Если за первый промежуток времени среднее значение сброса соединений органического происхождения составил 172,8 усл.т/год, то за второй промежуток времени этот же показатель составил 154,3 усл.т/год, что свидетельствует об уменьшении сброса соединений органического происхождения за исследуемый период с 1996 по 1999 годы на 11 %.

Данные же гидрохимического мониторинга свидетельствуют об отсутствии корреляционной связи с данными по сбросам (рис. 20). При снижении антропогенной нагрузки (АН) в бассейн реки Колокша, как и в

любой другой водный объект, закономерно ожидать если не улучшения качества воды и снижения индекса загрязнения воды (ИЗВ), то, по крайней мере, отсутствия тенденции к ухудшению качества к повышению ИЗВ. В исследуемом же процессе констатируется снижение качества воды в устье водотока реки Колокша начиная с 1996 года, т.е. с момента сброса больших масс соединений тяжёлых металлов. Причем снижение качества воды и повышение ИЗВ отмечается с 1996 года не только по соединениям 2 группы (что связано с увеличением их сброса в водоток), но и по соединениям 1 группы, в то время как увеличение сброса соединений 1 группы в водосборный бассейн реки Колокша с 1996 года, согласно статотчётам не отмечалось.



*Рис. 20. Антропогенная нагрузка на водосборный бассейн и концентрация загрязняющих веществ в устье реки Колокша в период с 1993 по 1999 гг.*

Повышение ИЗВ и ухудшение её качества за счёт увеличения соединений 1 группы, вероятно, может быть связано со снижением скорости процессов деструкции, ассимиляции, аккумуляции легкоокисляемого органического вещества. Это, по всей видимости, произошло за счёт снижения численности гидробионтов, использующих в качестве пищевого рациона, как отмечалось ранее, энергию окисления легкоокисляемого органического вещества. Снижение численности гидробионтов, в свою очередь, произошло в результате достижения некоторыми видами микроорганизмов предела толерантности (выносливости) по отношению к такому экологическому фактору, как концентрация

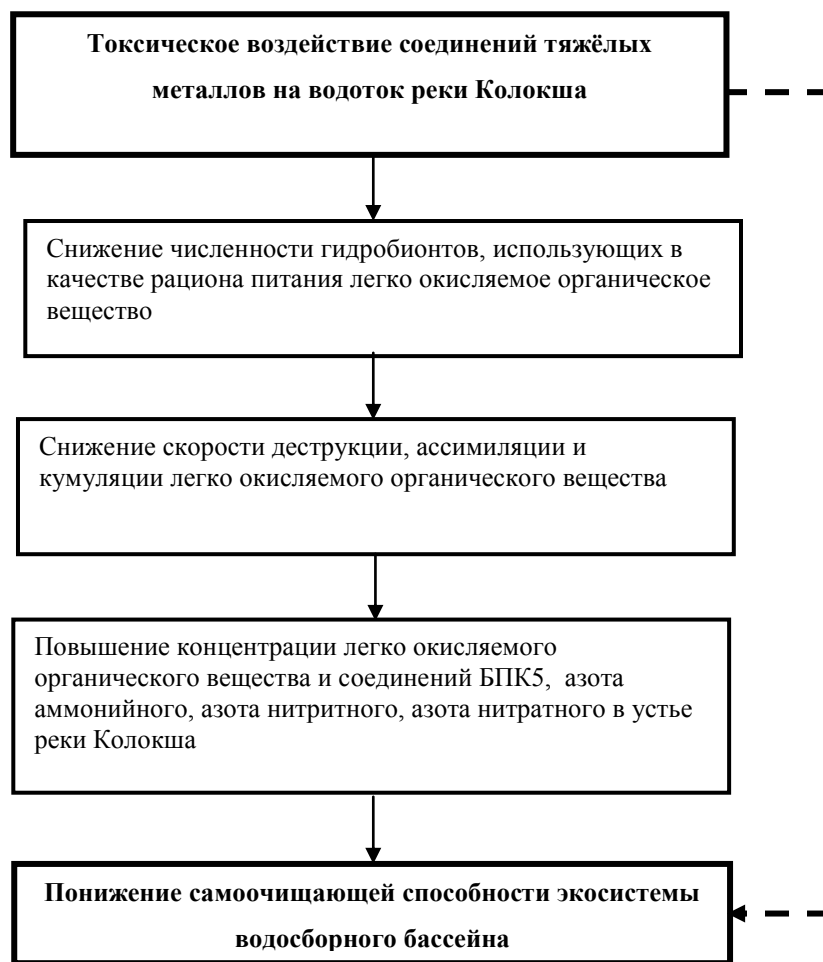


соединений ТМ, в результате чего, их существование оказалось невозможным и это привело к снижению их численности.

Последнее, видимо, произошло в результате воздействия высоких концентраций тяжёлых металлов, средние значения которых в 1996 году составляли: по меди – 18,3 ПДК, по цинку – 5,3 ПДК, по никелю – 1,8 ПДК, по трёхвалентному хрому – 1,5 ПДК. Соединения меди, являясь самыми токсичными среди других соединений ТМ (ПДК для рыбохозяйственных водоёмов составляет 0,001 мг/л), по-видимому, явились основными токсикантами водотока. Цинк и никель (ПДК=0,01 мг/л), трёхвалентный хром (ПДК=0,07 мг/л) являются биогенными микроэлементами и в таком количестве не могли оказать более или менее существенного влияния на самоочищающую способность водотока, каковыми оказались соединения меди.

Присутствие меди постоянно фиксировалось в водотоке и до 1996 года в концентрациях до 10 ПДК. Однако ухудшения самоочищающей способности это не вызывало. Видимо, подобные концентрации соединений меди, длительно воздействуя на водоток, вызвали повышение предела их толерантности и адаптации к условиям существования даже в такой сильно загрязнённой водной среде. Более высокие концентрации 1996 года находились за пределами адаптационных возможностей гидробионтов и вызвало экологический стресс экосистемы водосборного бассейна. Причём, в состоянии этого экологического стресса система находилась не только в 1996 году, но и в последующие несколько лет. На рис. 21 показана схема воздействия ТМ на самоочищающую способность водотока реки.

Снижение численности гидробионтов в результате воздействия токсических потоков, содержащих соединения ТМ было подтверждено экспериментально. Институтом экологии Волжского бассейна была исследована бентофауна реки Колокша. Отмечено снижение численности ряда гидробионтов (моллюсков, олигохет, хирономид) на 1 м<sup>2</sup> дна на участках реки, находящихся ниже источников сброса стоков ТМ по сравнению с участками реки, находящихся выше этих источников.



*Рис. 21. Схема воздействия от техногенной нагрузки стоков соединений тяжёлых металлов и её последствия в качестве снижения самоочищающей способности экосистемы*

Таким образом, проведённые нами исследования свидетельствуют о непосредственном отрицательном влиянии техногенных потоков, содержащих соединения тяжёлых металлов на водотоки, а так же об особой опасности резких скачков в изменении техногенной нагрузки, и как следствие, приведение экосистемы в состояние экологического стресса по причине снижения толерантности гидробионтов.

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ Р. КАМЕНКА К ВОЗДЕЙСТВИЮ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Малые реки, будучи своеобразным компонентом географической среды, выполняют функции регулятора водного режима определенных ландшафтов, поскольку в значительной степени поддерживают равновесие и осуществляют перераспределение влаги. Малые реки также определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных рек.

Формирование химического состава речной воды начинается с момента выпадения жидких атмосферных осадков или интенсивного поступления талых вод на поверхность водосбора. Далее в процессе стекания воды по поверхности склонов или почвенно-грунтовой толще речного бассейна и соприкосновения с различными почвами и грунтами в течение определенного времени, она в разной мере обогащается растворимыми солями и органическими веществами. Климат, рельеф, гидрологический режим, гидрологические условия и др. являются косвенными факторами, определяющими условия, в которых проходит это формирование. Однако в последние десятилетия XX века и в начале XXI века главным в формировании химического состава поверхностных вод стал антропогенный фактор: сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, стоки с территорий населенных пунктов и автодорог, свалок твердых бытовых отходов и т.п.

Наибольшую антропогенную и техногенную нагрузку испытывают малые реки России за счет сброса неочищенных сточных вод – промышленных, коммунально-бытовых, коллекторно-дренажных. В тоже время малые реки характеризуются наибольшей уязвимостью и малой устойчивостью к химическому загрязнению.

Цель нашей работы – оценка степени деградации реки Каменка по таким интегральным показателям как кислотно-нейтрализующая способность, кислородный режим, видовой состав зообентоса и по устойчивости экосистемы к антропогенным воздействиям.

Река Каменка является правым притоком реки Нерль, протекает по территории Суздальского района Владимирской области. Свое начало река берет севернее села Новокаменское, а впадает в реку Нерль возле села Новоселки. Длина водостока – 41 км. В Каменку впадают река Тумка и

река Бакалейка, а так же многочисленные ручьи, особенно в верхнем течении. Река загрязняется стоками с сельхозугодий СПК «Стародворский», СПК «Гавриловское», СПК «Тарбаево» и ВНИИСХа и коммунально-бытовыми стоками г. Суздаля. Такие загрязняющие вещества, как правило, вызывают эвтрофикацию водоемов, заиливание дна, смену видового состава гидробионтов и деградацию водотока. К усугублению этих процессов способствовало нарушение гидрологического режима реки после строительства в начале 80-х годов прошлого столетия двух плотин в черте г. Суздаля и двух плотин от истока до города, которые были сооружены с большими нарушениями, а также распашка пойменных лугов в конце 60-х годов XX столетия. В настоящее время происходит интенсивное заболачивание берегов реки, подъем уровня грунтовых вод, угрожающие сохранности памятников архитектуры г. Суздаля.

По Дмитриеву В.В. устойчивость экосистемы к воздействию – это способность экосистемы сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений. Утрата экосистемой способности сохранять квазипостоянными свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений – уязвимость экосистемы. То есть под уязвимостью водной экосистемы понимается утрата устойчивости к определенному типу воздействия. Уязвимая водная экосистема, при антропогенном или техногенном воздействии на нее, может деградировать и потерять присущие ей уникальные природные свойства. Слабо уязвимая экосистема может достаточно долго противостоять внешнему воздействию, проявляющемуся в изменении параметров режимов водного объекта и тем самым быть устойчивой к внешним воздействиям и нагрузкам. При этом высокая устойчивость экосистемы не всегда связана с ее экологическим благополучием. Установлено, что повышенной уязвимостью к эвтрофированию обладают небольшие по величине и (или) низкопродуктивные экосистемы водоемов; повышенной уязвимостью к эвтрофированию обладают небольшие по величине и (или) сравнительно чистые экосистемы. И наоборот, повышенной устойчивостью к эвтрофированию обладают крупные и (или) высокопродуктивные экосистемы водоемов, находящиеся в оптимальных условиях формирования водности; повышенной устойчивостью к загрязнению обладают

крупные и (или) высокозагрязненные экосистемы, находящиеся в оптимальных условиях формирования качества воды.

Таким образом, устойчивыми к загрязнению могут оказаться грязные экосистемы, а устойчивыми к эвтрофированию – эвтрофные и гиперэвтрофные экосистемы. Однако такие экосистемы не всегда являются экологически благополучными. Предполагают, что абиотические и биотические составляющие экосистемы по механизму устойчивости различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции веществ. Устойчивость биоценоза обусловлена адаптацией живых организмов к воздействию внешних факторов.

В табл. 10 приведены гидрохимические параметры, по которым проводится оценка устойчивости водных объектов к изменению качества воды.

Результаты определения некоторых гидрохимических показателей качества воды р. Каменка представлены в табл. 11.

Отбор проб воды проводили с июля по сентябрь 2008 года. Река от истока до устья была разделена на 14 створов, которые располагались в следующих пунктах:

1. Исток (близ села Новокаменское).
2. Село Губачево.
3. Село Вышеславское.
4. 300 м ниже устья реки Бакалейка.
5. 100 м выше устья реки Тумки.
6. 100 м ниже устья реки Тумки.
7. 150 м выше моста дороги на село Янево.
8. 700 м на северо-восток от церкви села Кибол.
9. 300 м выше верхней плотины г. Суздаля, близ ГТК.
10. Пешеходный мост под стенами Спасо-Евфимиева монастыря.
11. 100 м ниже нижней плотины.
12. У моста дороги Суздаль – Владимир.
13. Близ очистных сооружений г. Суздаля.
14. Устье (между с. Кидекша и Новоселка).

Таблица 10.

Пример исходной классификации для оценки устойчивости  
водных объектов к изменению качества воды

Параметры	Классы устойчивости				
	I max	II выше средней	III средняя	IV ниже средней	V min
Растворенный O <sub>2</sub> , % насыщения	0-30	30-60	60-80	80-95	95-100
БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /л	5,0-4,0	3,9-3,0	2,9-2,0	1,9-1,1	1,0-0,5
ХПК, мг O <sub>2</sub> /л	5,5-4	4-3	3-2	2-1	1-0
Аммонийный азот, мг/л	2,0-1,1	1,-0,4	0,3-0,2	0,1-0,05	0,05-0
Степень закисления, рН	4,0-4,5	4,5-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,5

Таблица 11.

Показатели качества воды р. Каменка

№ створа	Раств. O <sub>2</sub> , % насы- щения	Раств. O <sub>2</sub> , мг/л	Кислот- ность, рН	Общая жесткость, мгэкв/л	Кислотно- нейтрализующая способность, мгэкв/л
1	76,50	9,04	7,2	3,85	8,3
2	75,83	8,96	7,05	4,9	11,45
3	76,86	7,43	7,1	4,05	8,5
4	82,41	8,15	7,2	4,325	9,025
5	87,07	9	7,2	4,925	11,15
6	80,39	8,31	7,3	4,825	10,45
7	73,82	8,31	6,8	4,85	10,875
8	73,27	7,41	6,7	4,85	4,275
9	62,20	5,65	7,1	4,925	4,275
10	73,87	6,71	6,9	4,875	4,2
11	86,41	7,75	7,3	5,025	10,075
12	68,91	6,18	7,4	4,925	10,475
13	73,77	6,71	7,45	5,05	4,425
14	58,60	5,33	7,05	5,05	4,45

Отбор проб воды проводили в соответствии с ГОСТ 17.1.5.5.04 – 81. и 17.1.05. – 85.

Полученные результаты использованы нами для оценки устойчивости реки к изменению качества воды (по табл. 11) и степени ее загрязненности (по табл. 12).

Таблица 12.

Классификация загрязненности водных объектов  
по химическим параметрам  
(по Былинкиной, Драчёву, Ильцковой; по Дмитриеву В.В.)

Класс качества	Очень чистые	Чистые	Умеренно загрязненные	Загрязненные	Грязные	Очень грязные	
Параметры	I	II	III	IV	V	VI	
Растворенный O <sub>2</sub> , % насыщения	95	80	70	60	30	0	
Абсолютное содержание O <sub>2</sub> , мг/л	лето	9	8	7-6	5-4	3-2	0
	зима	14-13	12-11	10-9	5-4	4-1	0
БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	0,5-1,0	1,1-1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-10	>10	
ХПК, мгO <sub>2</sub> /л	1	2	3	4	5-15	>15	
Аммонийный азот, мг/л	<0,05	0,1	0,2-0,3	0,4-1,0	1,1-3,0	>3,0	

Для оценки класса качества воды, устойчивости и уязвимости биотического компонента экосистемы реки, а также трофности водоема нами проводилась биоиндикация по методике Николаева С.Г. по макрозообентосу.

Определения уровня загрязнения вод по методу Николаева С.Г. производится с помощью шкалы (табл. 13), которая содержит шесть классов качества вод – от очень чистых (1-й класс) до очень грязных (6-й класс). Для каждого класса качества в ходе многолетних наблюдений были найдены свои индикаторные таксоны, которые в водах других классов встречаются лишь изредка.

Таблица 13.

## Шкала качества вод по Николаеву С.Г.

Список индикаторных таксонов	Условная значимость каждого таксона в классе, единиц	Класс качества вод
Личинки веснянок. Личинки ручейника рода риакофила	50,0	1-й, очень чистые
Губки. Плоские личинки поденок. Личинки ручейника рода нейреклеписис. Личинки вилхвосток.	25	2-й, чистые
Роющие личинки поденок. Личинки ручейников при отсутствии риакофил и нейреклеписисов. Личинки стрекоз красотки и плосконожки. Личинки мошек. Водяной клоп. Крупные двустворчатые моллюски. Моллюски-затворки.	14,2	3-й, удовлетворительно чистые
Личинки стрекоз при отсутствии красотки и плосконожки. Личинки вислокрылок. Водяной ослик. Плоские пиявки. Мелкие двустворчатые моллюски.	20	4-й, загрязненные
Мотыль (в массе). Крыски (личинки мух-пчеловидок). Трубочник (в массе). Червеобразные пиявки при отсутствии плоских.	25	5-й, грязные
Макробеспозвоночных нет.	-	6-й, очень грязные

В табл. 13 кроме списка таксонов, соответствующих определенному классу качества воды, приведена условная значимость каждого из них. Эта величина использована для последующей количественной оценки уровня загрязнения. В работе представлены данные биомониторинга, проведенного в 2003 и 2008 годах. Идентификацию гидробионтов проводили по определителю бентосных беспозвоночных малых водотоков.



Результаты оценки качества воды методом биоиндикации представлены в табл. 14.

Таблица 14.

Результаты биологической оценки качества воды р. Каменка

№ створа	Класс качества		Сапробность		Трофность	
	2003	2008	2003 г.	2008 г.	2003 г.	2008 г.
1	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
2	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
3	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
4	3-4	3-4	$\alpha - \beta$ - мезо-сапробные	$\alpha - \beta$ - мезо-сапробные	$\alpha$ -мезо-эвтрофные	$\alpha$ -мезо-эвтрофные
5	2-3	4	Олиго- $\beta$ - мезосапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha - \beta$ - мезо-трофные	Эвтрофные
6	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
7	3-4	3	$\alpha - \beta$ - мезо-сапробные	$\beta$ - мезо-сапробные	$\alpha$ -мезо-эвтрофные	$\alpha - \text{мезо-}$ трофные
8	4	3-4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha - \beta$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	$\alpha$ -мезо-эвтрофные
9	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
10	3-4	4	$\alpha - \beta$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ -мезо-эвтрофные	Эвтрофные
11	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
12	4	4	$\alpha$ - мезо-сапробные	$\alpha$ - мезо-сапробные	Эвтрофные	Эвтрофные
13	5	5	$\beta$ - поли-сапробные	$\beta$ - поли-сапробные	Поли-трофные	Поли-трофные
14	5	5	$\beta$ - поли-сапробные	$\beta$ - поли-сапробные	Поли-трофные	Поли-трофные

Как следует из табл. 11, река Каменка, практически на всем протяжении по гидрохимическим показателям умеренно загрязнена (III класс качества), лишь в устье между селом Кидекша и селом Новоселка имеет IV класс качества (загрязненные).

Устойчивость реки к изменению качества воды на всем протяжении средняя. Вода в реке близка к нейтральной. Кислотность изменяется в пределах 6,8-7,3. Однако, устойчивость реки к зачислению низкая. Об этом свидетельствуют низкие значения величин кислотно-нейтрализующей способности воды. Наименьшей устойчивостью к зачислению характеризуются устье реки.

Из табл. 14 следует:

- водоток во всех исследованных створах эвтрофирован;
- состояние биоценоза водотока с 2003 по 2008 года практически не изменилась, что свидетельствует об адаптации доминирующих гидробионтов к качественному составу загрязняющих веществ и неизменности уровня антропогенной нагрузки на водоток;
- низкая устойчивость к закислению водотока в устьевых створах (13-14) является следствием высокого уровня эвтрофности (политрофные);
- изменение класса качества воды в створе №5 (от 2-3 к 4-му) можно объяснить увеличением антропогенной нагрузки в последние годы от СПК «Тарбаево».

#### **ОЦЕНКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ РЕК**

Процессы вторичного загрязнения водных объектов в связи с загрязнением донных осадков поллютантами широко обсуждаются в научной литературе. Однако количественные оценки данного процесса встречаются довольно редко, что связано с методическими трудностями получения и интерпретации результатов.

Под вторичным загрязнением понимается процесс преимущественного выхода загрязняющих веществ из донных осадков в воду вследствие любого изменения гидро-, литодинамических, гидро- и геохимических

условий, приводящих к нарушению равновесного состояния в система «вода – донные отложения». Вторичное загрязнение воды можно оценивать как один из видов негативного воздействия на водную среду, приводящий к загрязнению воды даже в отсутствие внешних источников загрязнения.

Среди основных подходов к изучению процессов вторичного загрязнения водных объектов при выносе поллютантов из донных отложений следует выделить:

- математическое моделирование процессов обмена вещества в системе «вода – донные отложения»
- экспериментальное изучение вторичного загрязнения путем введения поллютанта в осадок в лабораторных условиях и анализа его дальнейшего поведения
- оценка степени вторичного загрязнения на основе косвенных показателей – индексов, рассчитываемых с учетом геохимического фона и концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях, определенных лабораторными исследованиями

*Цель* данной работы – охарактеризовать донные осадки изучаемых водных объектов как потенциальных источников вторичного загрязнения воды тяжелыми металлами (ТМ).

*Объектами* исследования являлись р. Рпень и р. Колокша – малые реки Владимирской области – притоки р. Клязьма. В силу своего географического расположения – в районе интенсивного сельскохозяйственного производства и промышленных центров, эти реки испытывают значительную антропогенную нагрузку.

Река Рпень является основным приёмником сточных вод промышленных предприятий г. Владимира. Ее длина составляет 45,8 км, площадь водосбора – 264 км<sup>2</sup>. Отбор проб проводился в период зимней межени в трех створах (исток реки, устье реки (ниже г. Владимир) и створ в среднем течении).

Общая длина р. Колокша составляет 146 км, площадь водосбора – 1430 км<sup>2</sup>. Схема отбора проб аналогична. Пробы отбирались из створа в среднем течении – выше п. Ставрово – основного загрязнителя реки, створа ниже п. Ставрово и створа в устье реки.

Анализ проб донных отложений на содержание тяжелых металлов проводился в воздушно-сухом состоянии рентгенофлуоресцентным методом на приборе «Спектроскан - МАКС».

Таблица 15.

Результаты определения тяжелых металлов (мг/кг)  
в донных отложениях исследуемых рек

ТМ	C <sub>ф</sub> *	Река Рпень			Река Колокша		
		исток	среднее течение	устье	выше п. Ставрово	ниже п. Ставрово	устье
Cu	28,0	64,2	62,9	475,6	34,0	46,5	26,5
Zn	58,0	82,2	67,7	786,6	52,6	53,0	21,2
Pb	14,0	7,6	12,8	78,4	55,3	30,7	47,8
Ni	26,0	43,8	49,1	103,7	10,7	46,7	30,9
Mn	600,0	3682,5	1121,2	2030,6	191,0	710,8	220,2
Co	8,0	20,1	18,9	6,1	0,8	3,4	0,7
Cr	60,0	102,7	114,7	550,7	61,6	91,5	49,5
<i>Г<sub>ЛТ</sub></i>		<i>81,4</i>	<i>61,8</i>	<i>267,3</i>	<i>39,6</i>	<i>48,5</i>	<i>36,0</i>

\* геохимический фон принят по данным Александровской экспедиции (1992 г.)

В качестве показателя для оценки донных отложений в качестве потенциальных источников загрязнения мы использовали показатель потенциальной литоэкологичности ( $G_{ЛТ}$ ):

$$G_{ЛТ} = \sum(K_C \cdot K_{ЛТ}),$$

где  $K_C$  – коэффициент концентрации, рассчитываемый как отношение содержания ТМ в донных отложениях ( $C_i$ ) к его геохимическому фону ( $C_{ф}$ );  $K_{ЛТ}$  – коэффициент геотоксичности, выраженный в баллах, согласно классу опасности ТМ для водных объектов.

Для ранжирования степени потенциальной опасности донных отложений как вторичного источника загрязнения на основании показателя  $G_{ЛТ}$  нами был использован медианно-перцентильный метод, который позволил установить количественные выражения  $G_{ЛТ}$ , соответствующие высокому, низкому и среднему уровню потенциальной опасности. При  $G_{ЛТ} < 45,7$  степень потенциальной опасности загрязнения речной воды ТМ из донных отложений является низкой, при  $G_{ЛТ} > 99,1$  степень потенциальной

опасности высокая; интервал значений  $G_{ЛГ}$  от 45,7 до 99,1 соответствует средней степени потенциальной опасности.

В истоке и среднем течении р. Рпень наблюдается средняя степень потенциальной опасности донных отложений как вторичного источника загрязнения, устье реки подвержено сильному антропогенному воздействию со стороны промышленных предприятий г. Владимира, здесь в значительных количествах аккумулируются ТМ и потенциальная опасность загрязнения ими речной воды вследствие десорбции высокая ( $G_{ЛГ} = 267,3$ ).

В створах р. Колокша не наблюдается высокой степени потенциальной опасности вторичного загрязнения, а увеличение показателя литоэкологичности ниже п. Ставрово связано с возрастанием техногенной нагрузки при протекании реки через поселок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трифонова Т.А. Речной водосборный бассейн как самоорганизующаяся природная геосистема / Т.А. Трифонова // Известия РАН. Серия географическая. – №1. – 2008. – С. 28-36.
2. Трифонова Т.А. Сравнительный анализ структуры землепользования различных природно-территориальных комплексов / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко // Почвоведение. – № 12. – 2002. – С. 1479-1487.
3. Аэрокосмические методы в почвоведении. – М., 1989. – 127 с.
4. Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, А.Н. Краснощёков. – М., 2005. – 352 с.
5. Мищенко Н.В. Оценка состояния растительности и почв на основе данных дистанционного зондирования / Н.В. Мищенко, Т.А. Трифонова, М.М. Карева // Вестник МГУ. Почвоведение. – №3. – 2008.
6. Трифонова Т.А. Оценка предельно-допустимой техногенной нагрузки на водотоки малого речного бассейна / Т.А. Трифонова, А.С. Сенатов // Геоэкология. – №4. – 2008. – С. 322-330.
7. Селиванова Н.В. Оценка качества воды реки Нерль / Н.В. Селиванова, Т.А. Трифонова, И.Н. Бекасова // Владимирский земледелец. – №2. – 2007. – С 24-26.



Научное издание

БАССЕЙНОВЫЙ ПОДХОД В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Редактор Т.А. Трифонова

Компьютерная верстка А.Н. Краснощёков

Подписано в печать 29.10.2009

Формат 60x84 / 16. Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 5. Тираж 100 экз. Заказ 4177.

ООО «ВладимирПолиграф».

600007, г. Владимир, ул. 16 лет Октября, 36а