

Министерство природных ресурсов Российской Федерации  
Федеральная служба по надзору в сфере природопользования  
Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»

# Научные труды

## ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА»

Выпуск 3

Йошкар-Ола  
Марийский государственный технический университет  
2008

УДК 630:502.17 (470.343)

ББК 43л6

Н 34

Ответственный редактор

Доктор биологических наук, профессор Н.В. Глотов

Рецензенты:

Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник А.И. Видякин  
(Институт биологии Коми Научного Центра УрО РАН)

Доктор биологических наук, член-корреспондент РАН Н.Г. Смирнов  
(Институт экологии растений и животных УрО РАН)

*Рекомендовано к изданию научно-техническим советом  
Государственного природного заповедника «Большая  
Кокшага»*

Н 34      **Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага».** Вып. 3. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 488 с.  
ISBN 978-5-8158-0604-7

Рассматриваются итоги исследований в области популяционной биологии и экологии, проводимых на территории заповедника.

Для широкого круга специалистов в области биологии, экологии и природопользования.

**УДК 630:502.17 (470.343)**

**ББК 43л6**

**ISBN 978-5-8158-0604-7**

© Коллектив авторов, 2008

© ГПЗ «Большая Кокшага», 2008

© Марийский государственный  
технический университет, 2008

**Scientific Papers**  
**OF THE STATE NATURE RESERVE**  
**«BOLSHAYA KOKSHAGA»**

Issue 3

Yoshkar-Ola  
Mari State Technical University  
2008

Chief editor:  
Doctor of Sci. in Biol., Prof. N.V. Glotov

Reviewed by:

A.I. Vidyakin, Doctor of Sci. in Biol. (Institute of Biology, Komi Sci. Centre RAS)

N.G. Smirnov, Doctor of Sci. in Biol., Corresponding Member of RAS  
(Institute of Plant & Animal Ecology RAS)

Scientific Papers of the State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga». Issue. 3. – Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2008. – 488 p.  
ISBN 978-5-8158-0604-7

**ISBN 978-5-8158-0604-7**

© Group of authors, 2008  
© State Nature Reserve «Bolshaya  
Kokshaga», 2008  
© Mari State Technical University,  
2008

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
<b>Толстухин А.И., Логинов А.В.</b> Оценка ассимилирующей способности реки Большая Кокшага в пределах заповедника	10
<b>Браславская Т.Ю.</b> Изучение демографической и пространственной структуры популяций древесных видов в пойме реки Большая Кокшага	38
<b>Бекмансуров М.В., Афанасьев К.Е., Богданов Г.А.</b> Растительный покров южной части заповедника	68
<b>Сушенцов О.Е., Мюхкюра Е.В.</b> Возрастная структура ценопопуляций морозники ( <i>Rubus chamaemorus</i> L.) сплавины озера Кошеер	100
<b>Глотов Н.В., Семериков В.Л., Прокопьева Л.В.</b> Изучение генетической структуры популяции брусники ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.) в заповеднике	110
<b>Дубровная С.А., Глотов Н.В.</b> Неоднородность демографической структуры ценопопуляции земляники лесной ( <i>Fragaria vesca</i> L.)	131
<b>Теплых А.А.</b> Пространственная и возрастно-виталитетная структура популяции лишайника <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf в условиях верхового болота	143
<b>Бедова П.В.</b> Структура макрозообентоса и оценка качества воды некоторых водоемов заповедника	159
<b>Бедова П.В.</b> Малакофауна водоемов заповедника и прилегающих территорий	183
<b>Камаев И.О.</b> Вертикальная структура населения пауков (Aranei) сосновых лесов	198
<b>Матвеев В.А.</b> Фауна отдельных семейств жуков (Insecta, Coleoptera) Республики Марий Эл	214
<b>Матвеев В.А., Рыбалов Л.Б., Воробьева И.Г., Бекмансурова Е.В.</b> Фауна и экология стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) заповедника	251
<b>Демаков Ю.П.</b> Сосновая вершинная смолевка: биология, экология и роль в лесных экосистемах Марийского Полесья	274
<b>Демаков Ю.П., Сафин М.Г.</b> Надземная масса подпологовой растительности в климаксовых сосняках на олиготрофных болотах Марийского Полесья	345
<b>Корнеев В.А.</b> Мелкие лесные млекопитающие восточной половины Марийской низменности	371

## НАТУРАЛИСТИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

<b>Исаев А.В.</b> Медведь на дубе?!	394
<b>Осипов Д.В.</b> Наблюдения за медведями пригорода Санкт-Петербурга	397
<b>Балдаев Х.Ф.</b> О поведении и питании зеленых лягушек	410
<b>Балдаев Х.Ф.</b> Значение урожая ягодообразных плодов деревьев и кустарников для зимовки птиц в городе Йошкар-Оле	413
<b>Демаков Ю.П.</b> О «разборках» между воронами и кошками	416
<b>Камаев И.О.</b> Хищник и жертва: паук и кузнечик	419
<b>Камаев И.О.</b> О двух редких видах пауков	422
<b>Корнеев В.А.</b> Несостоявшиеся встречи с рысью	424
<b>Корнеев В.А.</b> Две встречи с лосями	426
Библиография научно-исследовательских работ, выполненных в Государственном природном заповеднике «Большая Кокшага» и на сопредельных территориях. (Сост. Л.В. Прокопьева)	428
Об авторах	483

## CONTENTS

Preface	9
<b>Tolstukhin A.I., Loghinov A.V.</b> Estimation of assimilating capacity of the river Bolshaya Kokshaga within the limits of the Reserve	10
<b>Braslavskaya T.Yu.</b> Study on demography and spatial structure of tree species populations in the Kokshaga-river flood plain	38
<b>Bekmansurov M.V., Afanasyev K.E., Bogdanov G.A.</b> Vegetation cover in the south part of the reserve	68
<b>Sushentzov O.E., Myuhkyurya E.V.</b> Age structure of cloud-berry cenopopulations ( <i>Rubus chamaemorus</i> L.) on a trembling bog of the Kosheer lake	100
<b>Glotov N.V., Semerikov V.L., Prokopyeva L.V.</b> Research on genetic structure of a cowberry population ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.) in the reserve	110
<b>Dubrovnaya S.A., Glotov N.V.</b> Demographic structure heterogeneity in a strawberry cenopopulation ( <i>Fragaria vesca</i> L.)	131
<b>Teplikh A.A.</b> Spatial and age-vitality population structure in the lichen <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf at the conditions of a raised bog	143
<b>Bedova P.V.</b> Structure of macrozoobenthic communities and water quality estimates in some water pools of the reserve	159
<b>Bedova P.V.</b> Mollusk fauna of water pools of the reserve and adjoining territories	183
<b>Kamayev I.O.</b> Vertical structure of spiders' population (Aranei) in pine forests	198
<b>Matveev V.A.</b> Some coleopteran families in the fauna of Mari El Republic	214
<b>Matveev V.A., Rybalov L.B., Vorobieva I.G., Bekmansurova E.V.</b> Fauna and ecology of staphylinid beetles (Staphylinidae) of the reserve	251
<b>Demakov Yu.P.</b> Pine shoot moth <i>Pissodes piniphilus</i> Hrbst.: biology, ecology, role in forest ecosystems of the Mari Poles'ye	274
<b>Demakov Yu.P., Safin M.G.</b> Overground mass of the under-canopy vegetation in climax pine forests growing on oligotrophic mires of the Mari Poles'ye	345
<b>Korneev V.A.</b> Forest small mammals of the Mari lowland eastern part	371

## NATURALISTIC NOTES

<b>Isaev A.V.</b> A bear on an oak-tree?!	394
<b>Ossipov D.V.</b> Observations on bears in Saint-Petersburg suburbs	397
<b>Baldaev Kh.F.</b> About behavior and nutrition in green frogs	410
<b>Baldaev Kh.F.</b> Harvest of berry-shaped fruits on trees and shrubs and winter life of birds in Yoshkar-Ola city	413
<b>Demakov Yu.P.</b> About quarrels between crows and cats	416
<b>Kamayev I.O.</b> Predator and victim: a spider and a grasshopper	419
<b>Kamayev I.O.</b> About two rare species of spiders	422
<b>Korneev V.A.</b> Not befallen meets with a lynx	424
<b>Korneev V.A.</b> Two meets with elks	426
 Bibliography of scientific studies carried out in the Nature State Reserve «Bolshaya Kokshaga» and the adjoining territories. (Compiled by L.V. Prokopyeva)	 428
 About authors	 483



## ПРЕДИСЛОВИЕ

14 марта 2008 г. Государственному природному заповеднику «Большая Кокшага» исполняется 15 лет. Возраст 15 лет для заповедника, казалось бы, – ничто. Уж очень мало времени прошло. Однако здесь-то речь идет о старте, о начале дела, имеющего общенародное значение. Тем более, что это – третья попытка создания заповедника на марийской земле. И сегодня мы можем сказать, что при всех трудностях, недостатках, множестве нерешенных проблем эта попытка удалась. Об этом свидетельствует и третий выпуск Научных трудов заповедника.

Выпуск 3 содержит результаты разнообразных исследований, начиная от гидрологической характеристики участка р. Большая Кокшага на территории заповедника до молекулярно-генетической характеристики популяции брусники. Особую ценность имеют, конечно, длительные во времени исследования, включающие и классическое описание фауны, и многолетние ряды наблюдений за популяциями разных видов, начатые на этой территории еще до создания заповедника. Заповедник – «природное ядро» Марий Эл, поэтому, естественно, исследования не замыкаются в пределах формальных границ заповедника, но захватывают и прилежащие территории, тем более что в ближайшей перспективе – создание биосферного резервата «Кугу Какшан».

Примечателен широкий возрастной спектр авторов выпуска – от студентов до опытных ученых.

Раздел «Натуралистические заметки», появившийся во втором выпуске, вызвал живой интерес многих биологов, и он продолжается в этой книге.

Завершает этот выпуск библиография научно-исследовательских работ, выполненных в заповеднике и на сопредельных территориях. Здесь показано все, что удалось собрать к настоящему времени. Список, несомненно, в последствии будет дополнен не опубликованными ранее работами, возможно, рукописями исследователей и естествоиспытателей. Уже сегодня библиографический список выглядит достаточно внушительно, что свидетельствует об огромном интересе к природе Марий Эл, эффективной работе и марийских ученых, и исследователей из других регионов.

Н.В. Глотов

УДК 502.17(282) (470.343)

## **ОЦЕНКА АССИМИЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕКИ БОЛЬШАЯ КОКШАГА В ПРЕДЕЛАХ ЗАПОВЕДНИКА**

**А.И. Толстухин, А.В. Логинов**

На основании данных гидрологических изысканий определена ассимилирующая способность реки Большая Кокшага – способность водотока к разбавлению сточных вод и к самоочищению по неконсервативным органическим загрязнениям. Расчет выполнен по 49 выделенным характерным створам на участке от северной границы заповедника до кордона Шимаево для трех основных гидрологических периодов: весеннего половодья, летне-осеннего дождевого паводка и летнего меженного.

Для указанных гидрологических периодов выполнен расчет модулей стока различной обеспеченности. Для расчета разбавления сточных вод использована методика В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера. Результаты представлены в виде таблиц, позволяющих анализировать коэффициент смешения и кратность разбавления в любом створе, расположенном ниже створа выброса. Рассчитана самоочищающая способность водотока на всех участках между расчетными створами для отдельных загрязняющих веществ.

### **Общие положения**

Формирование качества природных вод происходит под влиянием многих факторов. Одним из методов сохранения качества водных объектов в настоящее время является установление нормативов предельно допустимого сброса сточных вод, для чего используются модели расчета процессов смешения и разбавления сточных вод в водных объектах. Применительно к особо охраняемым природным территориям, где исключена хозяйственная деятельность, под сточными водами понимаются все возвратные воды с площади водосбора, включая поверхностный и дренажный сток. Задача расчета заключается в определении параметров сброса сточных или возвратных вод, при которых в контрольном створе будет сохранено требуемое качество воды по контролируемым загрязняющим веществам.

Исходными данными для реализации таких моделей являются:

- точное местоположение на водном объекте створов выпуска сточных вод, а также местоположения контрольного и фоновых створов наблюдения;
- установленные фоновые концентрации загрязняющих веществ в водном объекте выше рассматриваемого выпуска сточных вод;
- гидрометрические характеристики водного объекта при используемых расчетных условиях его водного режима;

– количественные характеристики самоочищающей способности воды водного объекта от загрязняющих веществ;

Сведения о местоположении выпуска сточных вод и створов контроля за качеством воды позволяют принять решение о выборе вида математической модели для проведения расчетов, а также необходимости привлечения данных об извилистости русла реки и ее самоочищающей способности.

Установление фоновых концентраций загрязняющих веществ в водном объекте является весьма важной и ответственной задачей, без решения которой невозможен расчет нормативов ПДС. Указанные концентрации рассчитываются для конкретного створа водного объекта (фоновый створ) и являются количественной характеристикой содержания веществ в этом створе при наиболее неблагоприятных ситуациях, обусловленных как естественными условиями формирования химического состава и свойств воды, так и влиянием всех источников поступления химических веществ, расположенных выше рассматриваемого створа.

Гидрометрические характеристики водного объекта при расчетных условиях его водного режима используются для определения требуемого разбавления сточных вод. Их значения берутся из данных непосредственных измерений расходов воды или путем интерполяции по данным таких измерений.

Информация о самоочищающей способности водного объекта и в частности о коэффициентах скорости этого процесса для отдельных загрязняющих веществ весьма желательна в том случае, если для установления ПДС рассматривается несколько выпусков сточных вод.

В природных водах всем воздействиям, ухудшающим качество воды, противостоит ассимилирующая способность водного объекта, его естественная способность принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения нормативного качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

Ассимилирующая способность, имеющая размерность массового расхода, зависит от разбавляющей и самоочищающей способности водного объекта, она непрерывно изменяется в пространстве и во времени, как и вынос в водный объект нормированных веществ.

При расчете ассимилирующей способности водотока при поступлении неорганических консервативных веществ главную роль играет разбавляющая способность, скорость самоочищения низка. При поступлении в водный объект органических веществ важен, в первую очередь,

расчет способности к самоочищению, так как органические примеси подвержены окислению.

Из вышесказанного следует, что гидрометрические изыскания для установления основных характеристик водного объекта (глубины, скорости течения, расходы расчетной обеспеченности) являются неотъемлемой составной частью мониторинга качества воды, оценки экологического состояния водотока.

### **Цели и задачи исследования**

Любая речная экосистема представляет собой сложную функциональную систему с множеством прямых и обратных связей между характеристиками водосбора и непосредственно речного русла. Расход реки формирует поверхностный и подземный сток со всей площади его бассейна. Несомненно, что качество воды, ее химический состав, физические свойства непосредственно зависят от состояния водосбора. В свою очередь, уровневый, температурный, кислородный режимы реки определяют характер почвообразования, формирования древесно-кустарниковой растительности в пойме реки.

С точки зрения экологических требований, нарушением экологического состояния водного объекта считается превышение нагрузки на него (например, сброс сточных вод) над ассимилирующей способностью. Целью работы является оценка ассимилирующей способности реки Большая Кокшага в пределах одноименного государственного природного заповедника на основании данных гидрологических изысканий. Выбор объекта исследования продиктован следующими обстоятельствами.

Во-первых, река Большая Кокшага относится к типичным малым и средним водотокам лесотаяжной зоны Российской Федерации, поэтому результаты, полученные в работе можно расценивать как ориентировочные и для других водотоков.

Во-вторых, ассимилирующая способность во многом зависит от морфологических и гидрологических параметров водотока. Река Большая Кокшага, протекая по особо охраняемой природной территории, не испытывает антропогенного прессинга, следовательно морфологические и гидрологические параметры можно расценивать как фоновые, что повышает достоверность исследований.

В-третьих, река Большая Кокшага является системообразующим элементом ландшафта всей экосистемы заповедника, следовательно, задача предотвращения ее загрязнения, изучения возможных последствий этого негативного явления является актуальной.

В-четвертых, на протяжении нескольких лет нами проводились общие гидрологические изыскания этого водотока, установлены морфологические параметры русла, определены необходимые гидрологические характеристики. В настоящее время имеется практически весь необходимый материал изысканий для расчета ассимилирующей способности.

Основными задачами, решаемыми в работе, являются:

- определение характерных расчетных створов, в которых и будет оцениваться ассимилирующая способность;
- установление недостающих гидрологических характеристик этих створов, главным образом, площадей водосбора, расходов воды в основные фазы гидрологического режима, для чего необходимо провести гидрологические расчеты по определению модулей стока при отсутствии данных наблюдений; в работе рассматривается три основных гидрологических периода: весеннего половодья, летне-осеннего дождевого паводка и летне-осенний межень.
- в зависимости от полученных расходов необходимо для каждого расчетного створа найти его площадь живого сечения и среднюю скорость течения;
- детальный расчет разбавления сточных вод на обследованном участке реки с установлением в каждом створе коэффициента смешения и кратности разбавления; при этом необходимо рассмотреть общую задачу, когда выброс загрязняющих веществ может происходить в любом створе;
- расчет самоочищающей способности водотока на каждом из участков, ограниченных расчетными створами для отдельных загрязняющих веществ.

Результатом исследования являются количественные характеристики, ассимилирующей способности реки Большая Кокшага. Принципиальным моментом является определение этих количественных характеристик в зависимости от обеспеченности расхода в разные фазы гидрологического режима.

Методика проведения исследования представлена на рис. 1.

При выполнении работы использованы:

- результаты гидрологических и морфометрических изысканий реки Большая Кокшага, выполненные в период 2000-2006 гг.;
- методика расчета максимальных и минимальных расходов рек при отсутствии данных наблюдений;
- методика расчета разбавления сточных вод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера;
- методика расчета самоочищающей способности водотока.



Рис. 1. Методика проведения исследования.

Для обработки данных используются методы математической статистики, служебные программы Excel и Curve expert.

### Исходные данные

В процессе общих полевых изысканий на участке реки Большая Кокшага от понтонного моста автодороги Нужьялы – Килемары до урочища Красная Горка (протяженность около 35 км) проведена морфологическая съемка русла, включающая промер глубин в расчетных створах по всей ширине реки и между расчетными створами по фарватеру, визуальное ситуационное описание прибрежной обстановки и оценка степени зарастания русла [2, 7, 8, 11].

В качестве исходных данных нами взяты результаты морфологической съемки на участке от понтонного моста автодороги Нужьялы – Килемары до кордона Шимаевский (общая протяженность около 25 км).

Расположение промерных створов на указанном участке показано на рис. 2. В качестве расчетных выбраны 30 створов, расположенных через 300...400 м.

Все изыскания проводились в меженный летне-осенний период 15 июля – 1 августа. Для сопоставления данных изысканий разных лет вы-

полнена их высотную привязку к грунтовому реперу на ПК 0+00. Колебания уровней воды измерялись ежедневно и учитывались при построении профилей створов.

Средний меженный уровень воды в период изысканий колеблется в ПК 0+00 от 78,5 м до 79,0 м. Наименьший уровень наблюдался в 2001 году (78,58 м), его и примем за эталонный меженный уровень.

Для установления расходов в расчетных створах в разные гидрологические периоды необходимы сведения о площадях водосбора. Их можно найти измерениями по топографическим картам либо интерполяцией от известных значений в отдельных створах.

Первый способ не является точным, поскольку установить площадь водосбора каждого створа чрезвычайно сложно. В работе нами использованы в качестве исходных данные о площадях водосбора реки Большая Кокшага для створов впадения основных притоков, опубликованные в [8] (табл. 1).

Таблица 1

Данные о площадях водосбора реки Большая Кокшага по данным [1]

Номер створа	Пикет	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Примечание
1	ПК 0+00	143,8	2940,1	Понтонный мост автодороги Нужьялы-Удюрма
33	ПК 55+76	138,2	2989,1	Ниже устья р. Витьюм
38	ПК 59+30	137,9	3034,2	Ниже устья р. Шеженер
116	ПК 212+35	122,6	3171,0	Ниже устья р. Арья
127	ПК 228+85	120,9	3198,2	Ниже устья р. Шамка
139	ПК 244+65	119,3	3200,7	Выше ж/д моста

Имеющимся данным сопоставлен пикетаж, принятый при проводимых нами исследованиях. Таким образом, площадь водосбора реки Большая Кокшага в пределах обследуемого участка увеличивается с 2940 до 3200 км<sup>2</sup>. На рис. 3 представлен график нарастания площадей водосбора по обследованному участку. Считаем, что площадь между устьями основных притоков нарастает линейно и на участках их впадения – скачкообразно.

Имея такой график нарастания площадей, можно рассчитать площади водосбора для каждого створа. Для этого рассчитываем расстояние от устья для каждого створа. Результаты расчета представлены в табл. 2. Полу жирным курсивом в ней выделены данные, принятые в качестве исходных.

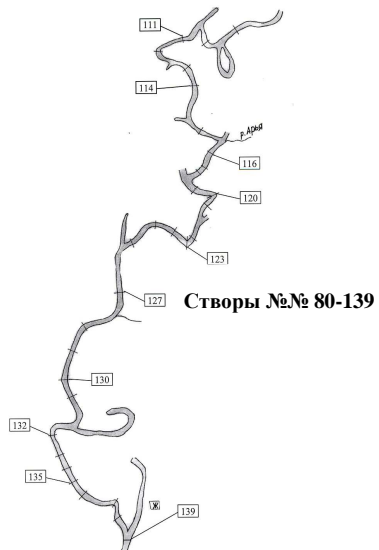
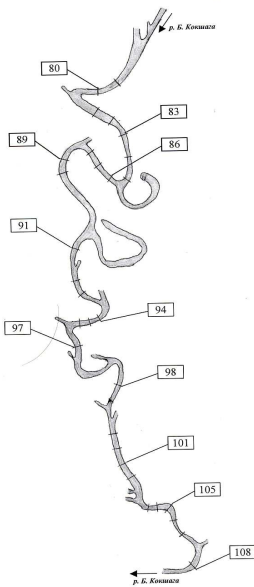
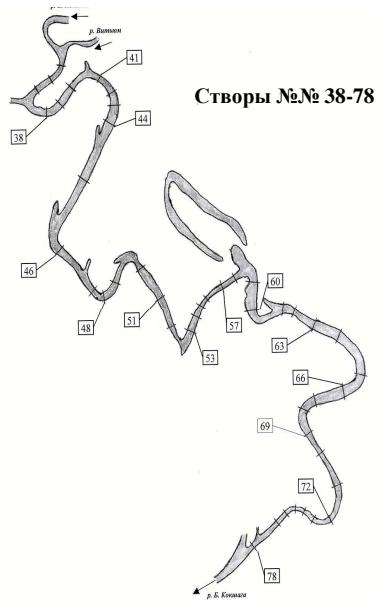
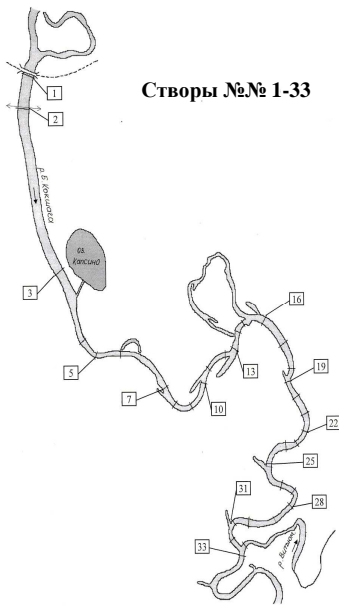


Рис. 2. Расположение расчетных створов.



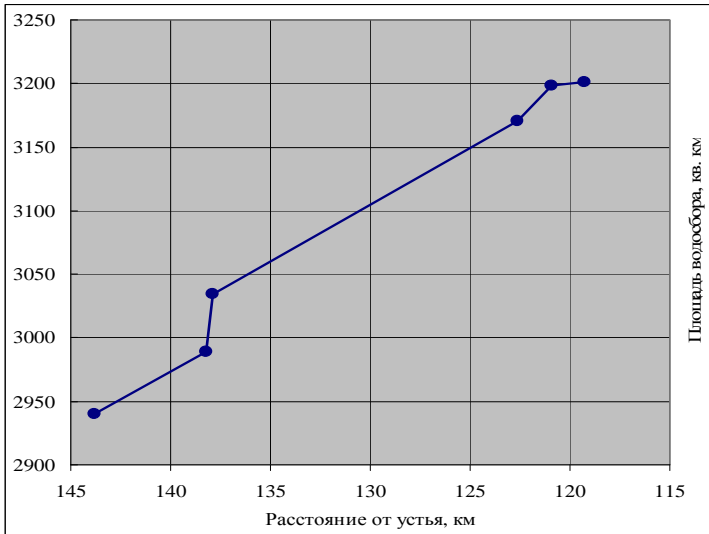


Рис. 3. Нарастание площади водосбора реки Большая Кокшага по данным [1].

Очевидно, что при изменении расхода воды в расчетном створе изменяется уровень воды, следовательно, изменяется и площадь живого сечения. Средняя скорость течения при этом также изменяется. Ее определение и является одной из важных задач при определении ассимилирующей способности водотока.

Для установления точной зависимости изменения площади живого сечения от расхода необходимы данные разновременных изысканий для каждого створа. Ввиду чрезмерного объема работ такой метод используется редко и только лишь для отдельных створов. Исследованные створы принимаются аналогами в предположении, что характер исследуемой зависимости одинаков для всех створов обследованного участка.

Такие исследования выполнялись нами при исследовании процессов меандрирования русла реки Большая Кокшага в урочище Красная горка ГПЗ Большая Кокшага. Излучина представляет собой ограниченно меандрирующий слабозакоряженный и не подверженный зарастанию участок реки Большая Кокшага длиной 180 м. Левый намываемый берег реки пологий, выпуклый, а размываемый правый вогнутый, обрывистый. Высота обрыва составляет 6...10 метров. Во время половодья уровень воды практически достигает кромки обрыва.

## Результаты расчета площадей водосбора расчетных створов

Номер створа	Пикет	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Примечание
1	2	3	4	5
<b>1</b>	<b>ПК 0+00</b>	<b>143,8</b>	<b>2940,10</b>	<b>Понтонный мост автодороги Нужьялы-Удюрма</b>
2	ПК 1+94	143,61	2941,76	
3	ПК 11+78	142,62	2950,43	
5	ПК 17+52	142,05	2955,41	
7	ПК 23+73	141,43	2960,84	
10	ПК 27+87	141,01	2964,51	
13	ПК 31+10	140,69	2967,31	
16	ПК 34+32	140,37	2970,11	
19	ПК 38+67	139,93	2973,96	
22	ПК 42+08	139,59	2976,94	
25	ПК 45+55	139,25	2979,91	
28	ПК 49+13	138,89	2983,06	
31	ПК 53+46	138,45	2986,91	
<b>33</b>	<b>ПК 55+76</b>	<b>138,2</b>	<b>2989,10</b>	
<b>38</b>	<b>ПК 59+30</b>	<b>137,9</b>	<b>3034,20</b>	
41	ПК 62+60	137,54	3037,42	
44	ПК 64+80	137,32	3039,39	
46	ПК 71+25	136,68	3045,11	
48	ПК 74+40	136,36	3047,97	
51	ПК 79+40	135,86	3052,44	
53	ПК 83+00	135,5	3055,66	
57	ПК 86+30	135,17	3058,61	
60	ПК 89+80	134,82	3061,74	
63	ПК 93+50	134,45	3065,05	
66	ПК 98+15	133,99	3069,16	
69	ПК 101+60	133,64	3072,29	
72	ПК 105+80	133,22	3076,04	
78	ПК 110+25	132,78	3079,98	<b>Ниже устья р. Витьюм</b> <b>Ниже устья р. Шеженер</b>
80	ПК 116+45	132,16	3085,52	
83	ПК 125+05	131,3	3093,21	
86	ПК 132+45	130,56	3099,83	
89	ПК 138+85	129,92	3105,55	
91	ПК 148+85	128,92	3114,49	
94	ПК 159+15	127,89	3123,70	
97	ПК 168+25	126,98	3131,84	
98	ПК 172+45	126,56	3135,59	
101	ПК 179+25	125,88	3141,67	
105	ПК 186+65	125,14	3148,29	
108	ПК 193+65	124,44	3154,55	
111	ПК 200+95	123,71	3161,08	
114	ПК 205+50	123,25	3165,19	
<b>116</b>	<b>ПК 212+35</b>	<b>122,6</b>	<b>3171,00</b>	
120	ПК 216+25	122,18	3177,72	
				<b>Ниже устья р. Арья</b>

1	2	3	4	5
123	ПК 219+55	121,85	3183,00	Ниже устья р. Шамка
<b>127</b>	<b>ПК 228+85</b>	<b>120,9</b>	<b>3198,20</b>	
130	ПК 233+05	120,5	3198,83	
132	ПК 237+40	120,06	3199,51	
135	ПК 239+95	119,81	3199,90	
<b>139</b>	<b>ПК 244+65</b>	<b>119,3</b>	<b>3200,70</b>	Выше ж/д моста

В месте излуины река совершает левый поворот на 130°. Ширина ее в межень колеблется от 25 до 29 метров. На левом берегу произрастают в основном кустарники и ива, на противоположном - сосновый лес. Следует отметить, что ветровая нагрузка на сосны, находящиеся в непосредственной близости от обрыва, усиливает разрушение вогнутого берега.

Изыскания проводились в основные фазы водного режима реки: в осенний предледоставный период, сразу после весеннего половодья, в летнюю и зимнюю межень. Во время весеннего половодья съемка не производилась, так как в этот период данный участок реки становится недоступным.

Определение расхода воды проводилось аналитическим способом, для чего в двух створах (входном №9 и выходном №1) измерялись осредненные скорости по промерным вертикалям, расположенным через 2 метра. Измерение скоростей проводилось трехточечным способом электронным измерителем скорости.

В качестве эталонного створа-аналога нами принят створ №1, так как морфологическое строение его русла в наибольшей степени соответствует створам обследованного участка (берега большой крутизны высотой 1,0...1,5 м, пониженная пойма). Результаты гидрометрических изысканий в створе №1 опытного участка в урочище Красная Горка представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты гидрометрических изысканий  
реки Большая Кокшага в урочище Красная горка**

Дата измерения	Створ №1			
	Площадь $S_i$ , м <sup>2</sup>	Расход, $Q_i$ , м <sup>3</sup> /с	Относительная площадь, $S_i/S_{\text{этл}}$	Относительный расход, $Q_i/Q_{\text{этл}}$
22.02.2002	25,5	6,55	2,09	1,93
22.05.2002	41,6	15,9	3,41	4,69
<b>24.07.2002</b>	<b>12,2</b>	<b>3,39</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
21.10.2002	32,3	14	2,65	4,13
01.01.2003	27,6	7,86	2,26	2,32
21.05.2003	41,6	16,1	3,41	4,75
26.07.2003	31,7	13,1	2,6	3,86

При дальнейших расчетах удобнее пользоваться не абсолютными, а относительными безразмерными величинами. Поскольку все гидрологические изыскания створов проводились в меженный период, эталонными площадью и расходом должны быть величины, также полученные в меженный период. Наименьший расход и площадь за период измерения получили летом 2002 года, поэтому при установлении зависимости  $S_i/S_{\text{этал.}} = f(Q_i/Q_{\text{этал.}})$  за  $S_{\text{этал.}}$  и  $Q_{\text{этал.}}$  принимаем величины, полученные 24.07.2002 г.

Регрессионный анализ исследуемой зависимости выполнен с использованием программы Curve Expert 1.3 (рис. 4). Здесь по оси абсцисс отложены значения относительных расходов  $Q_i/Q_{\text{этал.}}$ , по оси ординат – относительных площадей  $S_i/S_{\text{этал.}}$ . Наилучшим образом аппроксимирует полученные точки экспоненциальная функция типа  $y = a(1 - \exp(-bx))$ , где

$$a = 4,1085577;$$

$$b = 0,31725484.$$

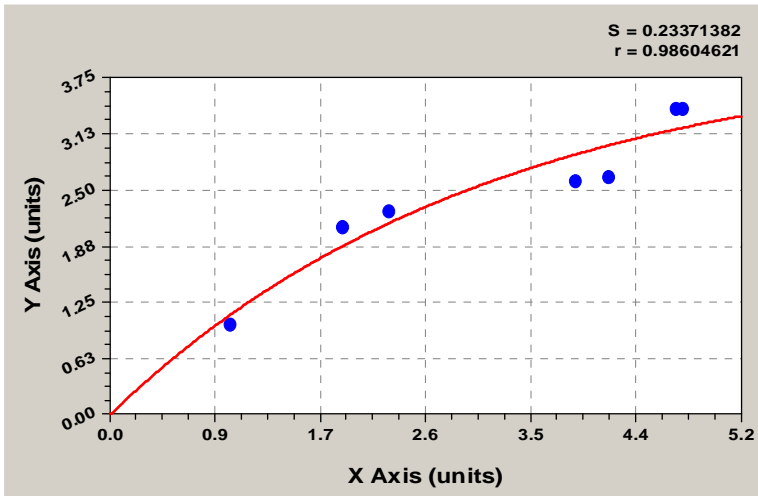


Рис. 4. Результат регрессионного анализа зависимости относительной площади от относительного расхода створа №1.

Коэффициент корреляции равен 0,986, среднеквадратическое отклонение 0,234. Таким образом, получили зависимость для расчета относительной площади от относительного расхода:

$$\frac{S_i}{S_{\text{этал}}} = 4,1 \left( 1 - e^{-0,317 \frac{Q_i}{Q_{\text{этал}}}} \right). \quad (1)$$

В дальнейшем за эталонные для каждого створа будем принимать параметры, полученные в меженный период, т.е. имеющиеся данные морфологических изысканий створов можно принимать в качестве эталонных.

### Гидрологические расчеты

Целью гидрологических расчетов является установление модулей поверхностного и дренажного стока в разные фазы гидрологического режима реки для определения расходов водотока в расчетных створах. Такими характерными гидрологическими периодами являются:

- период весеннего половодья;
- период летне-осенних дождевых паводков;
- меженный летне-осенний период.

Поскольку в пределах территории ГПЗ «Большая Кокшага» в настоящее время не проводится систематических наблюдений за гидрологическим режимом реки, для проведения гидрологических расчетов используем методику, применяемую при отсутствии данных наблюдений [5, 9].

#### Модуль поверхностного стока весеннего половодья

Для водосборов с площадями до 20000 км<sup>2</sup> максимальный модуль стока весеннего половодья определяют по зависимости [5]:

$$q_p^{вес} = \frac{k_0 h_p \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3}{(F + b)^n}, \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2), \quad (2)$$

где  $k_0$  – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья. Река Большая Кокшага расположена в лесной зоне европейской территории России, водосбор имеет 3 категорию рельефа (большая часть бассейна расположена в пределах плоской низменности, имеет широкую заболоченную пойму). Согласно [5]  $k_0=0,006$ ;  $h_p$  – расчетный слой суммарного весеннего стока, мм;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и приточных озер;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды соответственно в залесенных и заболоченных бассейнах;  $\delta_3$  – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды под влиянием агротехнических мероприятий. Для лесной зоны при распаханности водосбора менее 50%  $\delta_3=1$  [9];  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>. Принимаем для среднего створа обследуемого участка реки, по данным рис. 2  $F=3100$  км<sup>2</sup>;  $b$  – эмпирический параметр, учиты-

вающий снижение интенсивности редукции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км<sup>2</sup>. Для рек лесной зоны  $b=1$  км<sup>2</sup> [9];  $n$  – показатель степени редукции. Для рек лесной зоны  $n=0,17$  [9].

Слой суммарного весеннего стока  $h_p$  находим, используя данные [9]: среднемноголетний сток слой стока половодья  $h_0$ , коэффициенты вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$ :

$$h_p = h_0 k_p, \quad (3)$$

где  $k_p$  – ордината кривой трехпараметрического гамма-распределения (табл. 3 прил.2 [8]) при соотношении  $C_s=2C_v$  и  $C_v=0,35$ . Этот параметр зависит от расчетной обеспеченности, принимаемой от 0,001 до 99,9%. Согласно поставленной цели, нам необходимо установить зависимость модульного коэффициента от расчетной обеспеченности, для чего использована программа Curve Expert 1.3. Получили зависимость следующего вида (рис. 5):

$$k_p = 2,0377 \times 0,9888^{P-0,071} \quad (4)$$

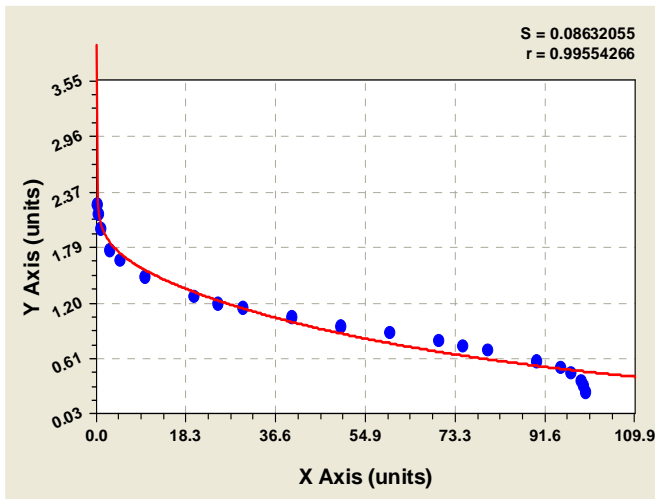


Рис. 5. Зависимость для определения ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения слоя стока расчетной обеспеченности  $k_p$  при  $C_v=0,35$  и  $C_s=2C_v$ .

Зависимость справедлива во всем диапазоне изменения расчетной обеспеченности. Учитывая, что  $h_0$  для бассейна реки Большая Кокшага составляет 100 мм [9], из (3)  $h_p = h_0 k_p = 100 k_p$ .

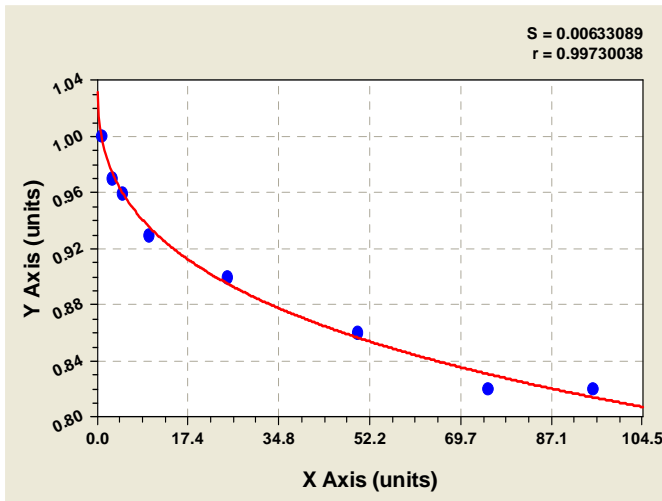
Коэффициент  $\mu$ , учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, принимается по табл. 4 для лесной зоны.

Коэффициент  $\mu$  в формуле (2) [9]

Природная зона	Р%								
	0,1	1	3	5	10	25	50	75	95
Тундры и лесная	1,02	1,0	0,97	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,82
Лесостепная	1,04	1,0	0,96	0,93	0,89	0,80	0,72	0,64	0,58
Степная	1,04	1,0	0,97	0,96	0,93	0,88	0,79	0,64	0,42
Засушливые степи и полупустыни	1,02	1,0	0,98	0,97	0,96	0,92	0,80	0,70	0,50

Поскольку этот параметр зависит от расчетной обеспеченности, аппроксимируем табличные данные зависимостью (рис. 6):

$$\mu = \frac{1}{0,962 + 0,042P^{0,4044}} \cdot \quad (5)$$

Рис. 6. Зависимость для определения коэффициента  $\mu$ .

Зависимость (5) справедлива в диапазоне изменения обеспеченности от 0 до 95%.

Коэффициент  $\delta$  определяем по зависимости [5]:

$$\delta = \frac{1}{1 + c f_{os}^c}, \quad (6),$$

где  $c$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от среднегодового весеннего стока. При среднегодовом стоке 100

мм и более принимаем  $c=0,2$  [9];  $f_{03}$  – средневзвешенная озерность, %, определяемая по зависимости [5]:

$$f'_{03} = \frac{f_{03} - 2}{2,8}, \quad (7)$$

где  $f_{03}$  – относительная озерность, %. Принимаем  $f_{03}=4\%$ .

$$\text{Из (7)} \quad f'_{03} = \frac{f_{03} - 2}{2,8} = \frac{4 - 2}{2,8} = 0,71.$$

$$\text{Из (6)} \quad \delta = \frac{1}{1 + c f'_{03}} = \frac{1}{1 + 0,2 \cdot 0,71} = 0,88.$$

Коэффициент  $\delta_1$  определяем по зависимости [5]:

$$\delta_1 = \frac{a}{(1 + f_{\text{л}})^n}, \quad (8)$$

где  $a$  – параметр, принимаемый при относительной лесистости более 30% равным 1 [9];  $n$  – коэффициент редукции принимается в лесной зоне равным 0,22 [9];  $f_{\text{л}}$  – залесенность водосбора, %. Принимаем  $f_{\text{л}}=50\%$ .

$$\text{Из (8)} \quad \delta_1 = \frac{a}{(1 + f_{\text{л}})^n} = \frac{1}{(1 + 50)^{0,22}} = 0,42.$$

Коэффициент  $\delta_2$  определяем по зависимости [5]:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1 f_6 + 1), \quad (9)$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от типа болот. Согласно [9] для болот разных типов на водосборе  $\beta=0,7$ ;  $f_6$  – заболоченность водосбора, принимаем  $f_6=20\%$ .

$$\text{Из (9)} \quad \delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1 f_6 + 1) = 1 - 0,7 \lg(0,1 \cdot 20 + 1) = 0,67.$$

В итоге из (2) с учетом (4) и (5)

$$q_p^{\text{вс}} = \frac{k_0 h_p \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3}{(F + b)^n} = \frac{0,006 \cdot 2,0377 \cdot 0,9888^{P-0,071} \cdot 0,8 \cdot 0,42 \cdot 0,67 \cdot 1}{(3100 + 1)^{0,17} \cdot (0,962 + 0,042 P^{0,4044})} = \frac{0,003 \cdot 0,9888^{P-0,071}}{3,77 + 0,165 P^{0,4044}} \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{км}^2}$$

#### Модуль поверхностного стока летне-осеннего (дождевого) паводка

При отсутствии рек-аналогов максимальный модуль стока летне-осеннего (дождевого) паводка определяют по редукционной формуле [5]:

$$q_p^{\text{л-о}} = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p, \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2), \quad (10)$$

где  $q_{200}$  – модуль максимального мгновенного расхода воды обеспеченностью 1% при  $\delta=\delta_2=\delta_3=1$ , приведенный к площади водосбора 200 км<sup>2</sup>. Согласно [9] для бассейна реки Большая Кокшага  $q_{200}=0,2 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ ;  $\lambda_p$  – переходный коэффициент от максимальных мгновенных расходов воды обеспеченности 1% к максимальным расходам другой обеспечен-



ности  $\lambda_{p\%}$ , принимается по карте 13 [9] и табл. 8 прил. 2 [9]. Для получения математической зависимости проводим аппроксимацию табличных данных, как описано выше:

$$\lambda_{p\%} = 0,982 - 0,1788 \ln(P\%) . \quad (11)$$

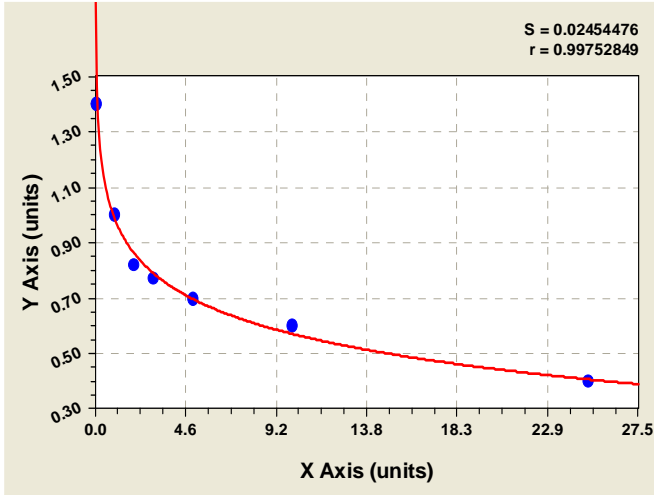


Рис. 7. Зависимость для определения коэффициента  $\lambda_{p\%}$  при переходе к расчетной обеспеченности максимальных расходов дождевых паводков.

Зависимость (11) справедлива при изменении обеспеченности до 25%. В итоге из (10) с учетом (11)

$$q_p^{+o} = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p = 0,2 \cdot \left( \frac{200}{3100} \right)^{0,17} \cdot 0,88 \cdot 0,67 \cdot 1 \cdot (0,982 - 0,1788 \ln(P\%)) = 0,073 - 0,013 \ln(P\%) \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{км}^2}$$

#### Средне-меженный (бытовой) модуль стока

Для средне-меженного (бытового) периода модуль стока определяют по формуле [5]:

$$q_6 = q_{80\%} \lambda_p^{\cdot}, \quad (12)$$

где  $q_{80\%}$  - минимальный 30-суточный модуль стока 80%-ой обеспеченности,  $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ . По данным [9]  $q_{80\%} = 1,3 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2) = 0,0013 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ ;

$\lambda_p^{\cdot}$  - переходный коэффициент от минимального 30-суточного модуля стока 80%-ой обеспеченности к модулям другой обеспеченности.

Для перехода к расчетной обеспеченности по карте 21 [9] и табл. 32 [9] находим параметр  $\lambda_{P\%}$ , заменив табличные данные аппроксимирующей математической зависимостью:

$$\lambda_{P\%} = \frac{161,7 - 1,633(P\%)}{1 + 1,978(P\%) - 0,02(P\%)^2} \quad (13)$$

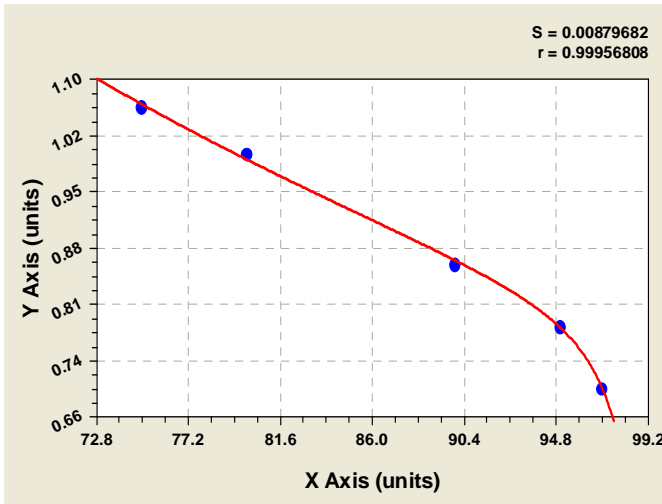


Рис. 8. Зависимость для определения коэффициента  $\lambda_{P\%}$  при переходе к расчетной обеспеченности минимальных расходов.

Зависимость (13) справедлива при обеспеченности от 75 до 97,5%. В итоге из (13) с учетом (13)

$$q_6 = q_{80\%} \lambda_P = 0,0013 \frac{161,7 - 1,633(P\%)}{1 + 1,978(P\%) - 0,02(P\%)^2} \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$$

В результате проведенных гидрологических расчетов установили зависимости модулей поверхностного стока водосбора реки Большая Кокшага от обеспеченности в основные гидрологические периоды.

### Определение основных гидрологических характеристик расчетных створов

К основным гидрологическим характеристикам расчетных створов относят площади живого сечения, расходы расчетной обеспеченности и средние скорости. Используя результаты, изложенные выше, выполним их расчет.

В общем случае расчетный расход  $Q$  в любом створе определяется как [1]:

$$Q=qF, \quad (14)$$

где  $q$  – модуль стока соответствующего гидрологического периода;

$F$  – площадь водосбора расчетного створа.

Имея модули стока для периодов весеннего половодья, летне-осеннего дождевого паводка, летне-осеннего меженного, находим расчетные расходы створов в эти периоды. Расходы, полученные в межennyй период для каждого створа, принимаем как эталонные.

Определение площади живого сечения каждого створа в основные гидрологические периоды проводим в зависимости от полученного в соответствующий период расхода по (1).

Расчет средней скорости по живому сечению в каждый из периодов проводим по зависимости [11]:

$$V_i=Q_i/S_i. \quad (15)$$

Все расчеты выполнены в электронных таблицах Excel. В качестве исходных данных в таблицу вносятся расчетные обеспеченности для основных гидрологических периодов. Таблица автоматически рассчитывает гидрологические характеристики расчетных створов в эти периоды. Фрагмент электронной таблицы представлен табл. 5.

Таким образом, нами получены гидрологические и гидрометрические характеристики водотока, необходимые для расчетов по установлению ассимилирующей способности водотока.

### **Определение ассимилирующей способности реки Большая Кокшага в пределах заповедника**

Контроль и управление качеством воды в водных объектах предусматривает решение следующих задач:

- прогнозирование качества воды на заданную перспективу;
- определение требуемой степени очистки сточных вод, необходимой для обеспечения требуемого качества воды в одном объекте в расчетном створе;
- установление возможной и достаточной степени разбавления сточных вод до неопасных концентраций в пункте водопользования.

Эти задачи решаются как для проточных, так и для непроточных водоемов.

Таблица 5

**Результаты расчета площадей живого сечения и средних  
скоростей течения в расчетных створах в основные гидрологические периоды**

Номер створа	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Расчетный расход, м <sup>3</sup> /с			Площадь живого сечения, м <sup>2</sup>			Средняя скорость, м/с		
		Весеннего половодья	Летне- осенний дождевой	Летне- осенний меженный	Весеннего половодья	Летне- осенний дождевой	Летне- осенний меженный	Весеннего половодья	Летне- осенний дождевой	Летне- осенний меженный
<b>1</b>	<b>2940,10</b>	188,29	91,60	4,07	887,76	887,05	216,00	0,21	0,10	0,02
2	2941,76	188,40	91,65	4,07	712,67	712,11	173,40	0,26	0,13	0,02
3	2950,43	188,96	91,92	4,08	452,51	452,15	110,10	0,42	0,20	0,04
5	2955,41	189,28	92,07	4,09	107,27	107,19	26,10	1,76	0,86	0,16
7	2960,84	189,62	92,24	4,10	161,52	161,39	39,30	1,17	0,57	0,10
10	2964,51	189,86	92,36	4,10	130,29	130,18	31,70	1,46	0,71	0,13
13	2967,31	190,04	92,45	4,11	170,98	170,84	41,60	1,11	0,54	0,10
16	2970,11	190,22	92,53	4,11	316,88	316,63	77,10	0,60	0,29	0,05
19	2973,96	190,46	92,65	4,12	217,83	217,66	53,00	0,87	0,43	0,08
22	2976,94	190,65	92,75	4,12	206,32	206,16	50,20	0,92	0,45	0,08
25	2979,91	190,84	92,84	4,12	221,94	221,76	54,00	0,86	0,42	0,08
28	2983,06	191,05	92,94	4,13	142,21	142,09	34,60	1,34	0,65	0,12
31	2986,91	191,29	93,06	4,13	205,09	204,93	49,90	0,93	0,45	0,08
<b>33</b>	<b>2989,10</b>	191,43	93,12	4,14	177,96	177,82	43,30	1,08	0,52	0,10
<b>38</b>	<b>3034,20</b>	194,32	94,53	4,20	161,93	161,81	39,40	1,20	0,58	0,11
41	3037,42	194,53	94,63	4,20	287,29	287,06	69,90	0,68	0,33	0,06
44	3039,39	194,65	94,69	4,21	230,16	229,98	56,00	0,85	0,41	0,08
46	3045,11	195,02	94,87	4,21	450,46	450,10	109,60	0,43	0,21	0,04
<b>139</b>	<b>3200,70</b>	204,98	99,72	4,43	288,11	287,88	70,10	0,71	0,35	0,06

**Примечание:** Расчетная обеспеченность расхода реки, %: весеннего половодья P=10;  
летне-осеннего дождевого паводка P=25; летне-осеннего меженного P=75.

При поступлении сточных вод с концентрацией примесей  $c_{ст}$  в водный объект происходит их смешение и разбавление по уравнению, которое называется основным балансовым:

$$qc_{ст} + \gamma Q c_p = (q + \gamma Q) c, \quad (16)$$

где  $Q$  и  $q$  - соответственно расход реки и сточных вод;  $\gamma$  - коэффициент смешения;  $c_p$  - фоновая концентрация примесей в воде водотока (выше створа сброса сточных вод);  $c$  - концентрация примесей в расчетном створе.

Основное балансовое уравнение позволяет решать ряд прикладных задач.

Первый расчетный случай - прогнозирование экологического состояния водотока при известных расходе и составе сточных вод  $q$ ,  $c_{ст}$ , местных условий возможного разбавления  $\gamma$ ,  $Q$  и исходного состояния водотока  $c_p$ . В этом случае концентрацию примесей в реке целесообразно обозначить как  $c_{ож}$ , то есть ожидаемая концентрация ингредиента в расчетном створе:

$$c_{ож} = \frac{qc_{ст} + \gamma Q c_p}{q + \gamma Q}. \quad (17)$$

Второй расчетный случай - определение требуемой степени очистки сточных вод, предельной концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. В этом случае концентрацию примесей в реке с следует заменить предельно допустимой ПДК:

$$c_{ст} = \frac{\gamma Q (ПДК - c_p)}{q} + ПДК. \quad (18)$$

Полученная величина  $c_{ст}$  закладывается затем в основу проектирования мероприятий по уменьшению загрязнения поверхностных вод, чтобы достигнуть соответствия условий отведения сточных вод экологическим требованиям.

Третий расчетный случай - установление необходимой степени разбавления сточных вод, при этом регламентируется не концентрация примесей в сточных водах, а количество сбрасываемых стоков  $q$ . Подобно предыдущему расчетному случаю, необходимо концентрацию примесей в реке с заменить ПДК:

$$q = \frac{\gamma Q (ПДК - c_p)}{c_{ст} - ПДК}. \quad (19)$$

Рассмотренные расчетные случаи, определяющие условия спуска сточных вод и прогнозирования состояния водного объекта, охватывает наиболее распространенные задачи, решаемые в процессе проектирова-

ния, экологической экспертизы и экологического мониторинга. В любом случае для их решения необходим расчет разбавления сточных вод.

В настоящее время расчеты разбавления сточных вод, загрязняющих веществ производятся двумя основными методами: методом В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера и методом А.В. Караушева. Метод В.А. Фролова - И.Д. Родзиллера позволяет в расчете учесть извилистость русла реки, но не дает картины загрязнения по ширине реки. Напротив, метод А.В. Караушева позволяет получить детальную картину загрязнения, но применим только для прямолинейных русл.

Река Большая Кокшага относится к малым и средним водотокам. Как правило, концентрация загрязняющих веществ по ширине в таких водотоках практически одинакова. Кроме того, загрязняющие вещества в такой водоток, не испытывающий антропогенного прессинга, поступают рассредоточено. Все это позволяет сделать вывод, что для целей прогнозирования разбавления сточных вод в реке Большая Кокшага целесообразно использовать метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера, согласно которому коэффициент смешения  $\gamma$  зависит от фоновой концентрации веществ в воде водоема и определяется по зависимости:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha l^{1/3}}}{1 + \frac{Qe^{-\alpha l^{1/3}}}{q}} \quad (20)$$

На сегодняшний день при расчете разбавления методом В.А. Фролова - И.Д. Родзиллера определяется коэффициент смешения в расчетном створе  $\gamma$  по (20), после чего расчет кратности разбавления ведется с использованием основного балансового уравнения.

Нами установлены следующие характеристики рассматриваемых створов: коэффициент извилистости реки от ПК 0+00 до расчетного створа; коэффициент турбулентной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ; коэффициент, учитывающий особенности гидравлического смешения  $\alpha$ ; коэффициент смешения  $\gamma$ .

Все расчеты выполнены в электронных таблицах Excel в предположении, что выброс загрязняющих веществ происходит в первом расчетном створе. Это наиболее вероятный вариант, так как именно в этом створе расположен понтонный мост автодороги Нужьялы – Килемары. Фрагмент электронной таблицы показан на рис. 9.

В качестве исходных данных для расчета необходимы также сведения о расходе сточных вод  $q$  и месте расположения выпуска сточных вод (прибрежный или русловой). Как итог расчета в таблицах определена кратность разбавления в каждом расчетном створе для всех трех рассматриваемых основных гидрологических периодов. Однако на рис. 9

представлен лишь один из частных случаев возможного загрязнения, когда сброс загрязняющих веществ происходит в первом створе. Более объективная картина распространения загрязняющих веществ может быть получена при рассмотрении множества вариантов расположения створа загрязнения.

Расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$

Коэффициент на местоположение выпуска сточных вод

$q = 1,00$

$\xi = 1,50$

Номер створа	Коэффициент турбулентной диффузии в створе, $\text{м}^2/\text{с}$			Коэффициент извилистости в створе	Коэффициент смешения $\gamma$		
	Весеннего половодья	Летне-осенний дождевой	Летне-осенний меженьный		Весеннего половодья	Летне-осенний дождевой	Летне-осенний меженьный
1	0,0016	0,0009	0,0002	1,00	0,00	0,00	0,00
2	0,0019	0,0011	0,0002	1,03	0,01	0,03	0,26
3	0,0031	0,0018	0,0004	1,03	0,07	0,12	0,51
5	0,0129	0,0075	0,0016	1,04	0,37	0,55	0,85
7	0,0086	0,0050	0,0011	1,12	0,41	0,58	0,87
10	0,0107	0,0062	0,0013	1,18	0,63	0,77	0,94
13	0,0082	0,0047	0,0010	1,16	0,54	0,70	0,92
16	0,0044	0,0025	0,0005	1,18	0,36	0,51	0,86
19	0,0064	0,0037	0,0008	1,19	0,56	0,71	0,93
89	0,0129	0,0074	0,0016	1,39	1,00	1,00	1,00
91	0,0162	0,0093	0,0020	1,43	1,00	1,00	1,00
94	0,0188	0,0108	0,0023	1,47	1,00	1,00	1,00
97	0,0218	0,0126	0,0027	1,53	1,00	1,00	1,00
116	0,0099	0,0057	0,0012	1,58	1,00	1,00	1,00
120	0,0042	0,0024	0,0005	1,58	1,00	1,00	1,00
123	0,0027	0,0015	0,0003	1,57	0,98	0,99	1,00
127	0,0113	0,0065	0,0014	1,58	1,00	1,00	1,00
130	0,0100	0,0057	0,0012	1,57	1,00	1,00	1,00
132	0,0073	0,0042	0,0009	1,57	1,00	1,00	1,00
135	0,0106	0,0061	0,0013	1,56	1,00	1,00	1,00
139	0,0052	0,0030	0,0006	1,55	1,00	1,00	1,00

Рис. 9. Фрагмент электронной таблицы по определению условий разбавления.

Нами предложено производить расчет разбавления с использованием специальных таблиц, представляющих собой матрицы. Они позволяют найти кратность разбавления в любом створе, расположенном ниже створа выброса. Причем створом выброса может быть любой из рассматриваемых расчетных створов. Фрагмент электронной таблицы по расчету кратности разбавления сточных вод в период весеннего половодья показан на рис. 10.





*Первый случай.* Качество воды на участке нормировано в нижнем по течению контрольном створе ( $i+1$ ). Такие требования выдвигают при хозяйственно-питьевом и культурно-бытовом водопользовании, осуществляемом в одном километре ниже данного створа вне черты города или другого населенного пункта.

Для неконсервативных нормированных веществ наибольшая масса биохимически деградируемых соединений при фиксированном значении их концентрации в выходном створе ( $i+1$ ) будет биохимически окислена при наибольшем времени прохождения этого процесса, то есть в случае поступления в водоток всей массы этих веществ во входном створе  $i$ .

Тогда полную способность к самоочищению по какому-либо показателю качества воды на  $j$ -ом участке для равномерного движения определяют по формуле [3]:

$$A = \bar{Q} \tilde{C}_i \times 10^{kt}, \quad (21)$$

где  $\bar{Q}$  – средний расход воды на участке;  $\tilde{C}_i$  – норма качества воды по показателю;  $k$  – коэффициент неконсервативности нормированного по  $n$ -му показателю вещества;  $t$  – время добегания от створа  $i$  до створа ( $i+1$ ).

Коэффициент неконсервативности  $k$  характеризует скорость потребления кислорода органическим веществом в процессе биохимического окисления и зависит от температуры воды, гидрологических характеристик водотока, состава сбрасываемого вещества, исходных концентраций микроорганизмов и т.д.

При натурных измерениях динамики БПК<sub>полн</sub> в реках  $k$  изменяется от 0,01 до 1,3 сут<sup>-1</sup>. Для различных веществ он может быть вычислен по формуле:

$$k = k_1 k_d, \quad (22)$$

где  $k_1$ ,  $k_d$  – статическая и динамическая составляющие коэффициента неконсервативности.

$k_1$  для отдельных веществ определяют по табл. 6 [3]:

Динамическая составляющая  $k_d$  определяется по зависимости [3]:

$$k_d = 10 \cdot 9 \times 10^{-(3+35V)V}, \quad (23)$$

где  $V$  – скорость движения воды, м/с.

*Второй случай.* Нормы качества должны соблюдаться на протяжении всего участка между двумя контрольными створами  $i$  и ( $i+1$ ). Такие требования выдвигают при рыбохозяйственном водопользовании в пределах данного участка, а также при сбросе сточных вод в черте города или другого населенного пункта через рассеивающие водовыпуски.

Таблица 6

**Коэффициенты неконсервативности некоторых органических веществ  
в статических условиях при температуре 20°C**

Вещество	$k_1, \text{сут}^{-1}$	Вещество	$k_1, \text{сут}^{-1}$
<i>Биологически мягкие вещества</i>		<i>Биологически жесткие вещества</i>	
Формальдегид	0,61	n-Ксиленол	0,02
Алкилсульфат (АС)	0,43	Карвакрол	0,02
Паста АС-1	0,42	Альфапол-8	0,02
Паста АС-2	0,33	Метилмеркаптан	0,02
Глюкоза	0,31	Нефтепродукты	0,025
e-Сорбоза	0,31	Тимол	0,02
Мальтоза	0,27	Гидрохинон	0,017
Метиловый спирт	0,25	Диметилдисульфид	0,017
Гептиловый спирт	0,24	Препарат ОП-7	0,003
Фурфурол	0,23	Циклогексанол	0,00045
Этиловый спирт	0,22	<i>Промежуточные вещества</i>	
Уксусный альдегид	0,21	Синтанол ВТ-15В	0,13
Амиловый спирт	0,20	Синтанол ДТ-7	0,12
Бутиловый спирт	0,19	Синтанол ВН-7	0,1
Паста ДНС-2	0,18	м-Крезол	0,09
Оксанол Л-2	0,18	м-Этилфенол	0,08
Пропиловый спирт	0,18	Паста ДНС-1	0,07
Фенол	0,17	Пирокатехин	0,06

Выражение для полной способности самоочищения в рассматриваемом случае для неконсервативного вещества имеет вид:

$$A = \bar{Q} \tilde{C}_i (1 + 2,3^{kv}). \quad (24)$$

По своему физическому смыслу  $A$  в (39) представляет массовый расход вещества, характеризующего  $n$ -ым показателем качества воды, который предельно можно допускать на  $j$ -ом участке между створами  $i$  и  $(i+1)$ . Распределение массового расхода, принимаемого водным потоком по длине участка, должно быть равномерным и непрерывным.

Поскольку мы рассматриваем участок реки Большая Кокшага в пределах государственного природного заповедника, для установления способности к самоочищению необходимо иметь в виду второй расчетный случай. В качестве нормы качества воды  $\tilde{C}_i$  принимаем ПДК для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Расчет самоочищающей способности по отдельным участкам между расчетными створами для отдельных загрязняющих веществ выполнен нами также в электронных таблицах, фрагмент которой показан на рис. 11.

Участок	Длина участка по фарватеру, км	Время протекания примесей по участку, сут			Фенол, мг/с			Нефтепродукты растворенные,		
					ПДК, мг/л			ПДК, мг/л		
					Коэффициент K <sub>1</sub>			Коэффициент K <sub>1</sub>		
					Весеннего половодья	Летне-осенний дождевой	Летне-осенний межень	Весеннего половодья	Летне-осенний дождевой	Летне-осенний межень
1-2	0,19	0,0126	0,0220	0,1100	278,87	160,81	8,39	13840,07	7955,05	412,87
2-3	0,99	0,0458	0,0790	0,3819	286,21	167,90	9,03	13912,97	8016,40	417,76
3-5	0,57	0,0082	0,0142	0,0660	279,20	161,08	8,59	13890,65	7984,68	415,69
5-7	0,62	0,0067	0,0115	0,0532	279,38	161,05	8,58	13912,86	7996,50	416,25
7-10	0,42	0,0050	0,0087	0,0405	279,49	160,97	8,51	13931,88	8006,46	416,31
10-13	0,32	0,0039	0,0068	0,0322	279,57	160,93	8,47	13945,47	8013,63	416,43
13-16	0,32	0,0059	0,0103	0,0494	280,23	161,49	8,51	13961,48	8024,11	417,03
16-19	0,44	0,0094	0,0164	0,0783	281,25	162,38	8,60	13982,29	8038,24	418,10
19-22	0,34	0,0060	0,0104	0,0492	280,88	161,86	8,54	13993,30	8042,39	418,04
22-25	0,34	0,0060	0,0105	0,0492	281,17	162,04	8,55	14007,36	8050,54	418,46
25-28	0,36	0,0051	0,0090	0,0417	281,28	162,03	8,55	14020,49	8057,53	418,86
28-31	0,44	0,0061	0,0106	0,0509	281,81	162,41	8,61	14038,34	8068,37	419,67
31-33	0,25	0,0039	0,0069	0,0322	281,66	162,14	8,51	14049,38	8073,40	419,37
33-38	0,30	0,0042	0,0072	0,0331	283,93	163,47	8,60	14160,89	8137,58	422,83
38-41	0,36	0,0060	0,0104	0,0490	286,59	165,15	8,72	14277,28	8205,59	426,58
41-44	0,22	0,0045	0,0078	0,0364	286,53	164,99	8,65	14287,27	8210,39	426,39
44-46	0,64	0,0158	0,0274	0,1235	289,20	167,53	8,95	14322,08	8237,60	428,98
46-48	0,32	0,0078	0,0137	0,0617	287,96	166,13	8,74	14330,37	8237,42	428,04
48-51	0,50	0,0044	0,0076	0,0351	287,61	165,60	8,75	14342,49	8242,09	428,54
51-60	0,35	0,0038	0,0066	0,0312	288,43	166,03	8,74	14388,52	8268,19	429,69
60-63	0,37	0,0024	0,0042	0,0195	288,46	165,92	8,70	14401,60	8274,80	429,74

Рис. 11. Фрагмент электронной таблицы по определению самоочищающей способности.

## Заключение

Целью проведенного исследования является оценка ассимилирующей способности реки Большая Кокшага в пределах государственного природного заповедника «Большая Кокшага». В соответствии с заявленной целью и поставленными задачами в работе достигнуты следующие основные результаты:

1. В пределах исследуемого участка реки намечено 49 характерных створов для оценки ассимилирующей способности. Осуществлена привязка данных гидрологических изысканий, выполненных в 2000-2006 гг. к единому уровню воды. Созданная опорная сеть реперов позволяет осуществлять высотную привязку данных наблюдений при последующих изысканиях.

2. Рассчитаны площади водосбора каждого створа интерполированием между известными данными о площадях водосбора в отдельных створах. Статистической обработкой данных гидрологических измерений установлена зависимость изменения площади живого сечения от расхода воды. С определенным допущением эта зависимость принята для всех створов.

3. Выполнен гидрологический расчет по определению модулей стока разной обеспеченности в периоды весеннего половодья, летне-осеннего дождевого паводка, летне-осенний межень. Определен расход воды в каждом створе в каждый из периодов, площадь живого сечения, средняя скорость течения по створу. В результате появилась возможность, с одной стороны, прогнозировать расходы реки в любом створе для любого гидрологического периода при заданной обеспеченности, с другой стороны, при известном расходе рассчитать его обеспеченность.

4. С использованием методики В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера выполнен расчет разбавления сточных вод в зависимости от расхода сточных вод. Результаты представлены в виде таблицы, позволяющей анализировать коэффициент смешения и кратность разбавления в любом створе, расположенном ниже створа выброса. Рассчитана самоочищающая способность водотока на всех участках между расчетными створами для отдельных загрязняющих веществ. Проведенные расчеты показывают роль заповедника в сохранении качества воды реки Большая Кокшага. Анализ полученных данных позволяет выявить участки реки, где процессы разбавления менее интенсивны. Именно такие участки подвержены в первую очередь загрязнению и именно здесь следует ожидать ухудшения качества воды, эвтрофирования и других неблагоприятных последствий.

5. Полученные в работе результаты опираются на методику, рекомендованную при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Следовательно, они нуждаются в уточнении проведением натурных измерений в разные гидрологические периоды.

6. Для дальнейшего исследования большой интерес представляет анализ кислородного режима непроточных водоемов с целью выявления условий формирования дефицита кислорода для конкретных водных объектов.

### ***Библиографический список***

1. Лапшев Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. 87 с.
2. Логинов Ю.И. Есменева Н.В., Чешуина Т.С. Геодезическое обоснование данных гидрологических изысканий. Сборник докладов международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промышленность». Белгород, 2004 г. / Вестник БГТУ, Вып. 8. – Белгород, 2004. Ч.4. С. 94-95.
3. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 5. Водное хозяйство: Справочник / И.И. Бородавиченко, Ю.А. Килинский, И.А. Шикломанов и др.; Под ред. И.И. Бородавиченко. – М.: Агропромиздат, 1988. 399 с.

4. Методика прогнозной оценки загрязнения открытых водоисточников аварийно химически опасными веществами в чрезвычайных ситуациях. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1996.
5. Обухов А.Г., Голосова Т.А. Гидрологические расчеты инженерных сооружений: Учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 56 с.
6. Плановые и высотные изменения рельефа русла р. Б. Кокшага / Толстухин А.И., Логинов Ю.И., Фоминых К.В., Шипицына Т.С., Лобаева И.Г. // Летопись природы. Кн. 7, 2000 г. / ГПЗ «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола, 2002. С. 12-15, 99-122.
7. Плановые и высотные изменения рельефа русла р. Б. Кокшага / Толстухин А.И., Логинов Ю.И., Фоминых К.В., Шипицына Т.С., Загайнова Л.А., Веретельник Д.А. // Летопись природы. Кн. 8, 2001 г. / ГПЗ «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола, 2002. С. 11-13, 103-127.
8. Площади водосбора бассейнов и плотность речной сети малых рек Среднего Поволжья // Тр. Казан. фил. АН СССР. Серия: энергетика и водное хозяйство. 1959. Вып. 5. 211 с.
9. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобановой / Гос. Комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат. 1984. 448 с.
10. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов-приемников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. 263 с.
11. Шикина Т.П., Галашов И.В., Логинов А.В. Исследование русловых деформаций меандрирующего участка водотока // Сборник докладов международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промышленность». Белгород, 2004 г. / Вестник БГТУ, Вып. 8. – Белгород, 2004. Ч.4. С. 227-229.

## **ESTIMATION OF ASSIMILATING CAPACITY OF THE RIVER BOLSHAYA KOKSHAGA WITHIN THE LIMITS OF THE RESERVE**

A.I. Tolstukhin, A.V. Loghinov

Results of hydrological research allowed estimation of assimilating capacity of the river Bolshaya Kokshaga - as the stream flow ability for sewage dilution and self-purification in concern to non-conservative organic pollutants. Calculations were performed for 49 selected typical sections, from the reserve northern boundary to the site of Shimaevo, during the main three periods: spring high water, summer and autumn rain freshet, and summer mean water intervals.

For all these hydrological periods, run-off rates for different levels of filling were calculated. To calculate indexes of sewage dilution, authors used the method proposed by V.A. Frolov and I.D. Rodziller. The results are presented as the tables allowing the analyze ratio of mixing and dilution factor values in any section situated downstream from the point of discharge. Values of self-purifying capacity of the water flow have been calculated for all the parts between the considered sections for several pollutants.