

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА НОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

© 2011 г. А.И. Шишкин<sup>1</sup>, И.В. Антонов<sup>2</sup>, А.В. Епифанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный технологический университет  
растительных полимеров, Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** норматив допустимого сброса, геоинформационная моделирующая система, конвективно-диффузный перенос, природно-техническая система.



**А.И. Шишкин**



**И.В. Антонов**



**А.В. Епифанов**

В статье предлагается алгоритм определения нормативов допустимого сброса в рамках природно-технической системы с использованием геоинформационного моделирующего комплекса «ГИМС-река».

В рамках крупных природно-технических систем (ПТС), включающих градообразующие предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) и, как правило, ряд других производств в пределах исследуемого речного бассейна, необходимо решение комплексной задачи по разработке нормативов допустимых воздействий (НДВ) и нормативов допустимых сбросов (НДС) на основе применения современных ГИС-технологий. Информационно-моделирующие системы все более успешно применяются для расчета нормативов допустимой нагрузки на водные объекты [1—3].

В настоящей работе предлагается новый подход по расчету НДС на основе комплексного использования типовых математических моделей конвективно-диффузного переноса (КДП) и превращения веществ (ПВ), средств имитационного моделирования (СИМ) и баз геоданных на основе геоинформационных систем (ГИС).

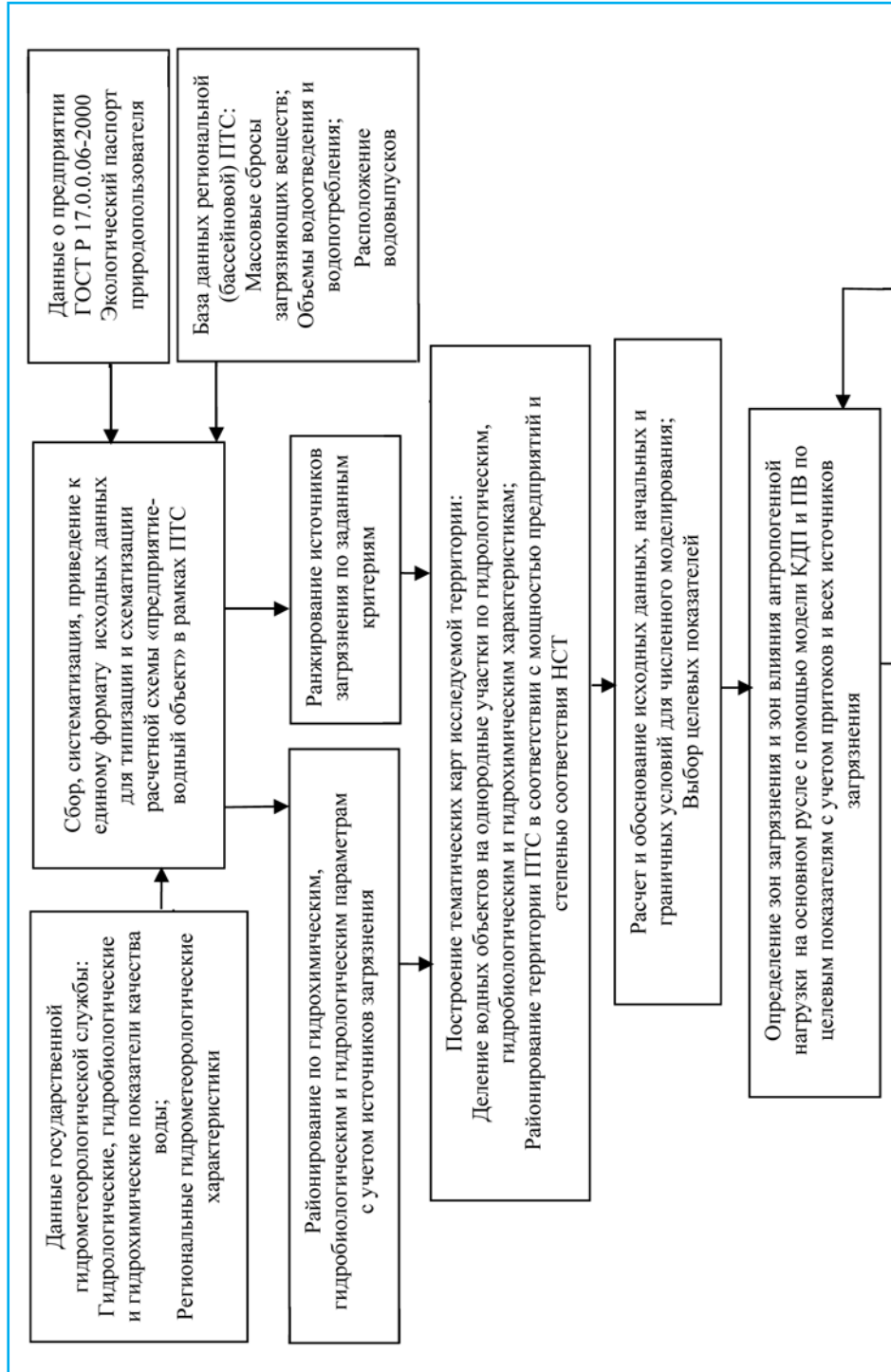
Для реализации предложенного алгоритма разработки НДС (рис. 1) применяется новый геоинформационный моделирующий комплекс «ГИМС-река» [4]. Данный комплекс позволяет моделировать процессы конвективно-диффузного переноса и превращения загрязняющих веществ для произвольного числа, месторасположения и конструкции водовыпусков, учитывать притоки 1—5 порядков, оценивать качество воды водных объектов как по индивидуальным, так и по интегральным показателям и индексам, районировать водный объект по заданным критериям, а также нормировать и распределять нагрузку с учетом заданных требований в пределах рассматриваемой природно-технической системы. Особенностью рассматриваемого комплекса «ГИМС-река» является возможность всестороннего анализа результатов оценки нагрузки на ПТС с использованием цифровых разномасштабных карт и создания дополнительных внешних, подключаемых модулей расширения (в форме DLL библиотек).

Алгоритм представлен на рис. 1.

Базовым и основополагающим этапами алгоритма на основе построенной модели (в соответствии с рис. 1) является систематизация и анализ исходных данных, приведение их к единому формату. От качества, полноты и достоверности собранной информации всецело зависит точность полученных результатов расчета норм нагрузки для каждого из водопользователей. Ключевыми блоками программы «ГИМС-река» являются: информационный, геоинформационный, моделирующий (рис. 2).

Подготовка к расчету НДС с помощью «ГИМС-река» начинается с заполнения базы данных через систему справочников с соответствующими названиями: вещества, бассейны, отрасли, предприятия, водовыпуски, измерения в водовыпусках, пункты контроля, измерения в пунктах контроля. Изначально при инсталляции программы в базе содержится справочная информация по веществам (ПДК, группы ЛПВ (лимитирующий показатель вредности), классы опасности (КО)). В базу данных, реализованной в MS Access, заносится исходная информация для моделирования распространения загрязняющих веществ, установления зон загрязнения и влияния сточных вод от всех водовыпусков в рамках рассматриваемой ПТС.

Установление НДС для каждого водопользователя с учетом их взаимовлияния осуществляется поэтапно. Первоначально в «ГИМС-река»



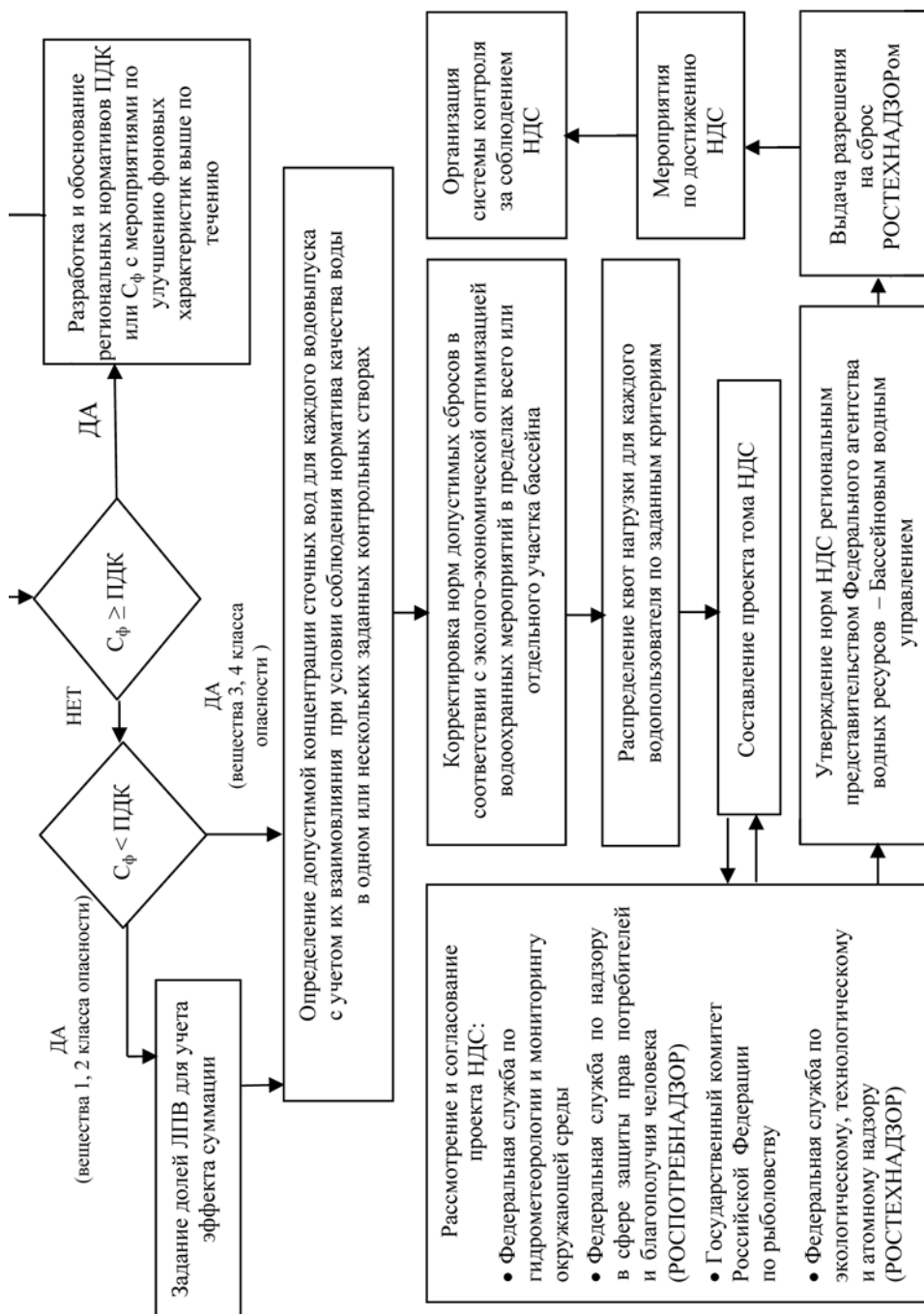


Рис. 1. Алгоритм нормирования допустимого воздействия с использованием геоинформационного моделирующего комплекса «ГИМС-река» в рамках заданной ПТС.

определяются границы бассейна исследуемой водной экосистемы со всеми притоками и источниками загрязнений. Дальнейшее районирование речного бассейна производится на основе комплекса природных, антропогенных, эколого-территориальных параметров и лимитирующих факторов. В итоге основное русло бассейна представляется набором участков водотока, идущих один за другим, с достаточно однородными гидрологическими параметрами и характеристиками.

Источниками информации по водовыпускам, осуществляющим сброс сточных вод, служат базы данных бассейнового водного управления, которые составляются на основе отчетности предприятий по форме 2ТП-водхоз. Дополнительные данные о предприятиях-водопользователях имеются в экологическом паспорте предприятия, а также дополняются результатами текущего контроля.

Стандартная база данных по гидрохимическим и гидрологическим характеристикам водных объектов создается на основе гидрологических и гидрохимических ежегодников по соответствующим постам контроля. Дополнительным, а иногда и основным источником информации о показателях качества воды могут служить результаты ведомственного, производственного контроля, проводимого предприятиями-водопользователями, и данные Роспотребнадзора.

При необходимости предусмотрена возможность подключения модуля, позволяющего производить автоматический перенос данных из других электронных таблиц и баз данных в информационный блок комплекса.

После проведения районирования осуществляется создание базы геоданных пространственных объектов гидрологической сети бассейна и участков основного русла (рис. 1). Для этих целей и последующего вывода и обработки результатов моделирования используется геоинформационный блок (рис. 2). Он реализован в распространенном программном продукте ArcGIS 9.3 фирмы ESRI. Одним из основных преимуществ данной технологии является возможность обработки картографических данных с учетом пространственного отношения объектов.

Для создания тематических цифровых карт используются разномасштабные карты изучаемой местности.

Карта масштаба 1:1 000 000 ориентируется на отображение имеющей региональное значение информации (объемы использования воды, сброса загрязняющих веществ в целом по субъектам Федерации, расположение наиболее крупных водохранилищ, гидрологических и гидрохимических постов наблюдений).

В то же время для ПТС карта масштаба 1:200 000 позволяет рассмотреть информацию отдельного территориально-производственного

комплекса или крупного населенного пункта, на нее наносится информация по конкретным водопользователям.

Для отображения крупных подразделений и составных частей предприятий используются более детальные карты с планами застройки территории масштаба 1:5000 и 1:2000. Для верификации данных топографических карт может служить применение космо- и аэрофотоснимков территории.

Для каждого речного бассейна или участка водного объекта в рамках ПТС, для которой ставится задача нормирования допустимых сбросов от всех водопользователей, необходимо создание следующих основных тематических слоев: слой «Модели водных объектов», содержащий участки водных объектов с однородными морфологическими и гидрологическими характеристиками, слой «Реки», «Озера», «Предприятия», «Водовыпуски», «Фоновые створы», «Населенные пункты», слой с элементами ландшафта.

Тематический слой «Фоновые створы» связывается с таблицей из базы данных (рис. 2), которая содержит информацию о фоновом состоянии поверхностных вод в заданных поперечных створах в соответствии с линейной схемой. Это позволяет ранжировать территорию по содержанию в воде отдельных веществ и по интегральным показателям, выявить створы со значениями концентраций лимитирующих веществ, а также зоны превышения нормативов качества воды. В дальнейшем появляется возможность более полно оценить роль естественных и техногенных факторов в формировании химического состава поверхностных вод, используя тематические слои о ландшафте, почвенном сложении территорий водосбора, параметрах диффузного стока.

Следующим этапом является расчет фоновых концентраций веществ на основании созданных баз данных, выбор целевых и комплексных показателей, а также индексов, по которым будет осуществляться расчет нормативов. При этом следует отметить, что вычисление фоновых концентраций необходимо производить с периодичностью, соответствующей неблагоприятным гидрологическим и гидрохимическим характеристикам водного объекта, по нормируемым показателям и определять обеспеченность расходов воды в водотоке. Сезонная периодичность измерений позволяет с большей вероятностью учесть факторы, определяющие условия формирования качества воды. Совместный учет сезонных изменений природных и антропогенных параметров ПТС позволяет разрабатывать не только среднегодовые нормативы нагрузки, но и сезонные. Целевые показатели выбираются с учетом специфики производства, характеристиками сточных вод, а также с учетом качества воды в водном объекте.



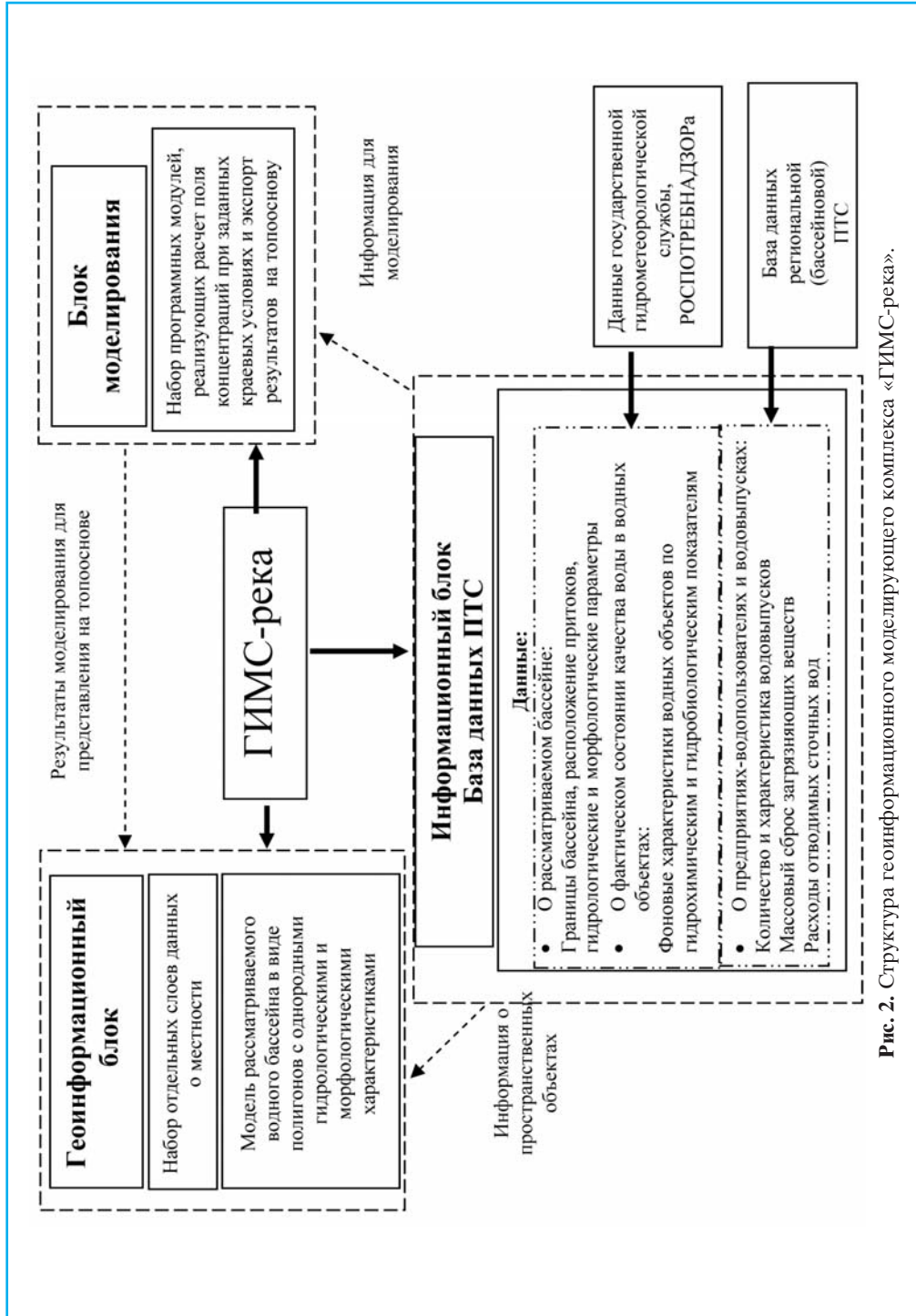


Рис. 2. Структура геоинформационного моделирующего комплекса «ГИМС-река».

В геоинформационном моделирующем комплексе «ГИМС-река» реализуются методы расчета разбавления загрязняющих веществ в водотоках и прибрежных частях водоемов при наличии устойчивых вдольбереговых течений.

Процесс распространения вносимых в водный поток растворенных и взвешенных примесей в общем случае может быть выражен одной из модификаций моделей конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ [5].

В зависимости от поставленной цели и типизации водного объекта реализуется соответствующий тип модели. При моделировании ПТС с множеством притоков программа идентифицирует притоки водотока, по которым производится расчет, а также все водовыпуски и посты контроля качества воды, находящиеся на притоках  $j$ -го порядка. Далее последовательно осуществляется расчет разбавления на этих притоках по модели КДП и ПВ или по упрощенной балансовой схеме.

В итоге в качестве расчетной схемы принимается основное русло со всеми водовыпусками предприятий и притоками 1-го порядка, в которых учтены массы загрязняющих веществ и расходы воды, а также режимы сбросов, что позволяет уменьшить затрачиваемое время на процесс моделирования.

Результаты расчета представляются в виде табличного отображения поля концентраций (рис. 3). Для анализа полученных данных есть возможность сформировать отчет в виде набора таблиц, содержащих исходные данные и результаты моделирования:

- характеристика водовыпусков и притоков;
- расчетные значения фоновых концентраций ( $C_{\text{ф}}$ ), максимальные и средние концентрации в контрольном ( $C_{\text{макс кс}}$ ,  $C_{\text{ср кс}}$ ) и расчетных створах, кратность разбавления ( $n$ ) и степень перемешивания ( $P$ ) для контрольного и отдельных расчетных створов;
- концентрации начального разбавления ( $C_{\text{н р}}$ ) по водовыпускам, допустимые концентрации веществ в сточных водах ( $C_{\text{ст доп}}$ ).

Для удобства пользователя результаты представляются на картографической основе в среде ГИС, с этой целью в программу внедрен модуль экспорта данных. Он позволяет вписать в границы водного объекта табличное раскрашенное поле концентраций, разделенное на водохозяйственные участки.

Далее, по результатам моделирования, строятся диаграммы распределения загрязняющего вещества вдоль и поперек русла, как по всему бассейну, так и по отдельным участкам, производится оценка нагрузки от каждого водовыпуска. Другим преимуществом представления ре-



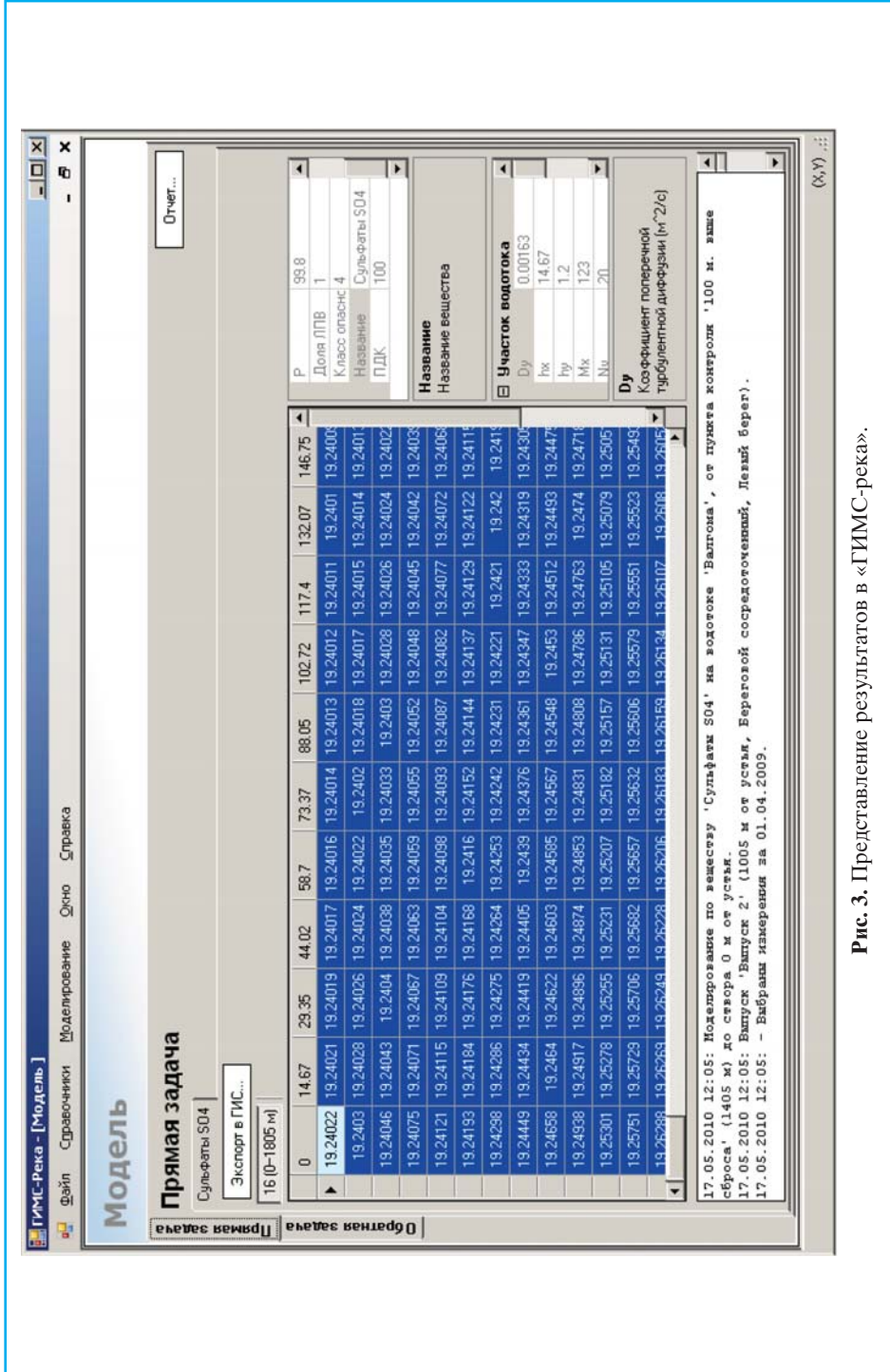


Рис. 3. Представление результатов в «ГИМС-река».

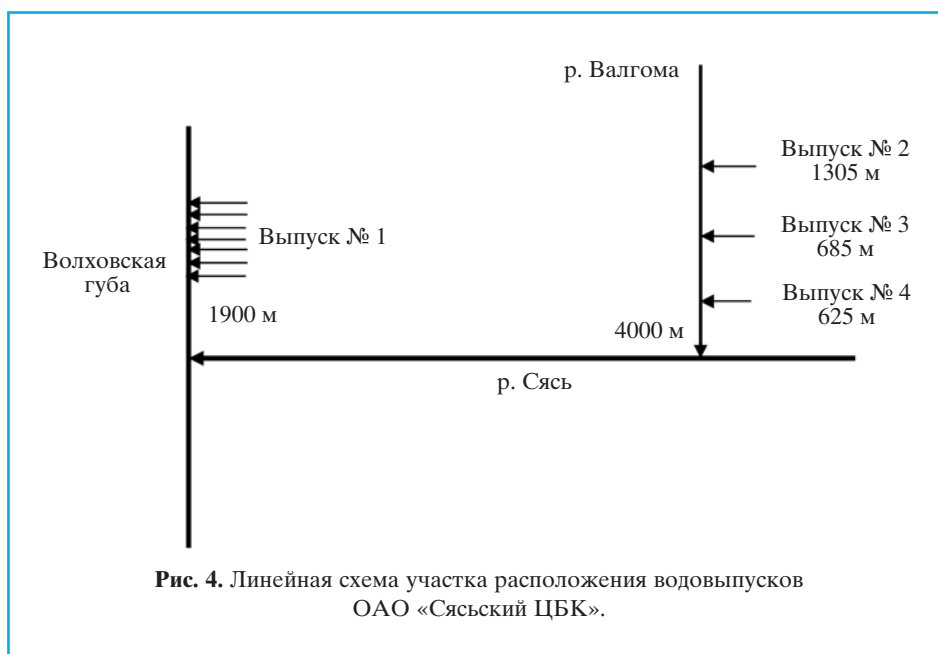
зультатов в среде ГИС является возможность удаленному пользователю работать с информацией через Интернет.

Проблемой расчета нормативов допустимой нагрузки на большом количестве водных экосистем является превышение значений фоновых концентраций установленным ПДК. В программе «ГИМС-река» есть возможность на этапе определения зон влияния и загрязнения промоделировать различные варианты с любым заданным соотношением фона и нормативов качества природной воды.

На этапе определения допустимой концентрации сточных вод есть возможность выбора: учитывать эффект суммации для веществ 1 и 2 КО или производить вычисления отдельно по каждому веществу, вне зависимости от ЛПВ.

Разработанный алгоритм нормирования допустимого сброса для ПТС и методика его реализации с использованием программы «ГИМС-река» апробированы при нормировании допустимого сброса для ОАО «Сясьский ЦБК», расположенного в г. Сясьстрой Волховского района Ленинградской области на территории, прилегающей к рекам Сясь и Валгома и на расстоянии 4 км от Ладожского озера. Линейная схема участка расположения водовыпусков ОАО «Сясьский ЦБК» представлена на рис. 4.

Данное предприятие является градообразующим, многопрофильным и занимается переработкой хвойной и лиственной древесины в цел-



люлозу, выпуском бумажной и картонной продукции, а также осуществляет переработку жестких отходов производства с получением кормовых дрожжей и товарных лигносульфонатов.

Созданная база данных для ПТС ОАО «Сясьский ЦБК» содержит информацию о:

- предприятию-водопользователю;
- исследуемым водным объектам: реки Сясь и Валгома, Волховская губа;
- фоновых створах за 2002—2009 гг. (результаты ведомственного контроля на реках Сясь, Валгома и прибрежной зоны Ладожского озера в месте впадения р. Сясь);
- водовыпусках, осуществляющих сброс промышленных и ливневых сточных вод за 2007—2009 гг. (статистическая отчетность предприятия по форме 2ТП-водхоз).

В качестве топографической основы района расположения ПТС ОАО «Сясьский ЦБК» были использованы карты масштаба 1:50 000, позволяющие отображать крупные подразделения предприятия, водовыпуски и другие элементы.

Моделирование разбавления сточных вод от всех водовыпусков комбината производилось с сезонной периодичностью измерений за 2007—2009 гг.

Расчет разбавления загрязняющих веществ от распределенного берегового выпуска № 1 в Волховскую губу Ладожского озера производился вдоль восточного берега в направлении с юго-запада на северо-восток. Такие течения являются преобладающими в данном районе озера.

Анализ исходных данных показал, что качество воды в реках Валгома и Сясь не удовлетворяет ПДК по показателям: БПК<sub>полн</sub>, железо общее и ХПК. Превышение в 1,2; 8 и 3,5 раза, соответственно.

Отборы проб в Волховской губе осуществлялись в трех точках: 500 м влево и вправо от крайних патрубков выпуска № 1 и на 2000 м вглубь озера.

В Волховской губе во всех точках отбора проб превышение ПДК наблюдается по следующим ингредиентам: азот общий (в 7 раз), алюминий (6), БПК<sub>полн</sub> (1, 2), железо общее (6), лигносульфонаты (28), марганец (5), фенолы (2), ХПК (3).

Моделирование переноса и превращения загрязняющих веществ показало, что в процессе функционирования предприятия концентрации этих загрязняющих веществ в контрольном створе Волховской губы повышаются от 1 до 16 % относительно значений в точке, расположенной на расстоянии 2000 м от выпуска вглубь озера.

**Таблица 1.** Исходные данные и результаты расчета для выпуска № 1 в Волховскую губу

Вещество	ПДК	$C_{\phi}$	$C_{ст}$	$C_{ст доп}$	$\frac{C_{ст доп}}{ПДК}$	$C_{макс}$	$\frac{C_{макс}}{ПДК}$
	мг/л					мг/л	
Кратность разбавления 391, расход сточных вод 18,29 млн м <sup>3</sup> /год							
Азот аммонийный	0,4	0,3	0,4	0,4	1	0,31	0,77
Азот общий	0,4	2,88	6,1	0,9	2,25	2,94	7,35
БПК <sub>полн</sub>	3	4,03	21,3	6,3	2,1	4,34	1,44
Взвешенные вещества	5,99	5,74	20,3	19,7	3,28	6	1,001
Лигносulfонаты	2	55	265	4,2	2,1	58,8	29,4
Натрий	120	24,1	32	32	0,26	24,1	0,21
Нефтепродукты	0,05	0,02	0,025	0,025	0,5	0,02	0,4
Нитраты	40	0,18	5,2	5,2	0,13	0,27	0,0068
Нитриты	0,08	0,006	0,063	0,063	0,78	0,007	0,088
Сульфаты	100	16,3	100	100	1	17,8	0,18
Сухой остаток	1000	103	827	827	0,82	116	0,12
Фенолы	0,001	0,002	0,002	0,002	2	0,002	2
Формальдегид	0,1	0,025	0,056	0,056	0,56	0,026	0,26
Фосфаты	0,2	0,047	0,22	0,22	1,1	0,05	0,25
Хлориды	300	10	72	16,4	0,05	11,1	0,037
ХПК	30	96	853	29,4	0,98	109,6	3,65

Исходные данные моделирования и результаты расчетов для выпуска № 1 в Волховскую губу представлены в табл. 1.

Полученные результаты свидетельствуют о поступлении загрязняющих веществ из донных отложений, накопленных в процессе многолетнего функционирования комбината.

Еще в 80-е годы выделялась зона многолетних отложений опилок и других твердых отходов, имеющая ширину до 70 м и длину до 2 км вдоль берега [6]. Также на основе космических снимков выявилась зона распространения загрязняющих веществ вдоль берега с шириной 2,5 км и длиной до 15 км.

В связи с этим для расчета НДС в Волховскую губу принимаются рассчитанные фоновые концентрации или концентрации в точках дальше, чем 2 км за границей зоны влияния выпуска № 1 в Ладожском озере.

В табл. 2 представлены значения масс сброса от каждого водовыпуска и процентные отношения между ними. С использованием данных

Таблица 2. Распределение массового сброса по водовыпускам

Вещество	Фактический сброс								
	т/г					%			
	1	2	3	4	Сумма	1	2	3	4
Азот аммонийный	7,613	0,048	0,016	0,06	7,737	98,39	0,62	0,21	0,77
Азот общий	116,11	0	0	0	116,11	100	0	0	0
БПК <sub>полн</sub>	405,45	0,45	0,12	0,51	406,53	99,73	0,11	0,03	0,12
Взвешенные вещества	386,42	0,57	0,22	0,57	387,78	99,65	0,14	0,06	0,14
Лигносульфонаты	5044,45	0	0	0	5044,45	100	0	0	0
Натрий	609,14	0	0	0	609,14	100	0	0	0
Нефтепродукты	0,476	0,0027	0,0009	0,0037	0,4833	98,48	0,55	0,18	0,76
Нитраты	98,98	0	0	0	98,98	100	0	0	0
Нитриты	1,19	0	0	0	1,19	100	0	0	0
Сульфаты	1903,56	4,54	1,15	7,48	1916,73	99,31	0,23	0,05	0,39
Сухой остаток	15742,5	28,31	9,05	33,27	15813,13	99,55	0,17	0,05	0,21
Фенолы	0,0375	0	0	0	0,0375	100	0	0	0
Формальдегид	1,066	0	0	0	1,066	100	0	0	0
Фосфаты	4,187	0	0	0	4,187	100	0	0	0
Хлориды	1370,56	2,51	0,22	1,67	1374,96	99,67	0,18	0,02	0,13
ХПК	16237,42	0	0	0	16237,42	100	0	0	0

приведенной таблицы информационно-моделирующий комплекс позволяет распределять допустимые массовые сбросы между указанными водовыпусками. В общем случае рассматриваемая процедура может быть реализована для управления водопользователями в рамках ПТС.

Сопоставление результатов моделирования и натуральных данных было произведено для участка р. Валгома, на котором расположено три водовыпуска. По основным лимитирующим веществам (БПК<sub>полн</sub>, сульфаты, хлориды, нефтепродукты) присутствующим в сточных водах, результат моделирования показал удовлетворительную сходимость с натурными данными в пределах 10—13 %.

Вариант представления результатов моделирования на топооснове приведен на рис. 5.

Геоинформационный моделирующий комплекс «ГИМС-река» является одной из информационных моделирующих систем нового поколения, которая позволяет вывести на современный уровень нормирование



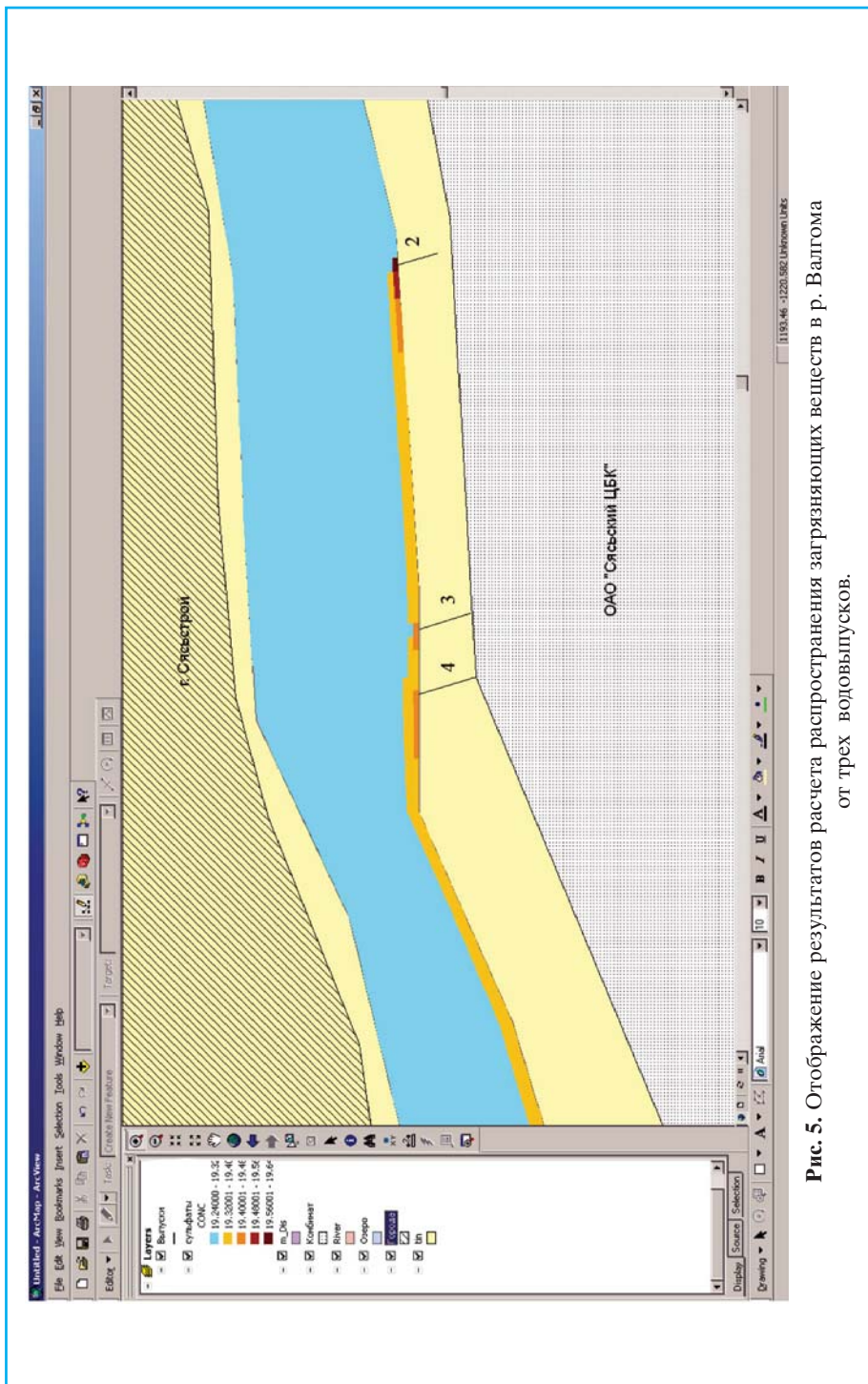


Рис. 5. Отображение результатов расчета распространения загрязняющих веществ в р. Валгома от трех водовыпусков.



антропогенной нагрузки в рамках ПТС, учитывая: основные лимитирующие факторы для водных экосистем, особенности бассейнового подхода к распределению сброса и др. Разработанный информационно-моделирующий комплекс позволяет в дальнейшем подключать дополнительные модули для комплексной оценки качества воды по интегральным показателям, учета диффузного стока и других лимитирующих факторов для исследуемой природно-технической системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пляжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.
2. Шишкин А.И., Горбунов Н.Е. Применение пакета Matlab для имитационного моделирования распределения концентраций в р. Луга // Ж. «Echroneta Pro, математика в приложениях». 2003. С. 52—57.
3. Алексеев В.В., Куракина Н.И., Орлова Н.В. Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки // ArcReview. 2006. № 1. С. 9.
4. Епифанов А.В., Шишкин А.И., Антонов И.В., Алексеев В.В., Куракина Н.И., Желтов Е.В. Система расчета нормативов допустимого воздействия на водные объекты в среде ГИС // ArcReview. 2009. № 4 С. 10—11.
5. Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 390 с.
6. Применение космической информации для оценки влияния предприятий ЦБП на состояние водоемов // Промежуточный отчет по НИР / ВНИИВО, рук. Г.Я. Красовский. Харьков. 1988.

#### Сведения об авторах:

Шишкин Александр Ильич, к. т. н., профессор, кафедра гражданского строительства и прикладной экологии, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, e-mail: aishishkin@yandex.ru

Антонов Иван Владимирович, аспирант, кафедра охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, e-mail: Antonovivv@yandex.ru

Епифанов Андрей Валерьевич, к. т. н., доцент, кафедра охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, e-mail: epifandr@yandex.ru