Пушистов Петр Юрьевич
Югорский НИИ Информационных Технологий
push@uriit.ru
с.т. (34671) – 5-90-90

Отчет лаборатории математических проблем экологии и природопользования за 2004 год о выполнении темы плана НИР3.5.

" *Разработка и адаптация численных моделей гидродинамики и качества вод рек и водоемов. Сравнение с результатами экспериментальных наблюдений*".

Введение

- Комплексная оценка качества воды рек Оби и Иртыша на территории Ханты-Мансийского автономного округа соответствует категории "очень грязная"[1].Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ (нефтепродукты, фенол, медь, цинк, марганец и др.) реки Оби и ее притоков (Вах, Большой Юган, Назым, Иртыш с притоком Конда) устойчиво превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов с фиксацией случаев экстремально высоких загрязнений [2].

Введение

- Экологическое неблагополучие указанных водных объектов объективно связано как с трансграничным переносом сильно загрязненных вод Средней Оби и Иртыша, так и высокой многолетней техногенной нагрузкой при сбросах коммунальных и промышленных вод, при аварийных разливах нефти. На территории водосборного бассейна Нижней Оби, включая территорию ХМАО, *отсутствует современная автоматизированная система управления использованием и качеством водных ресурсов*.

Введение

- Для принятия оптимальных управленческих решений по рациональному водопользованию и улучшению качества водных ресурсов необходимо разработать и внедрить информационно-моделирующую систему (ИМС), включающую в себя *моделирующий комплекс гидродинамики и качества поверхностных вод* и подсистему сбора, передачи и обработки данных экологического и гидрометеорологического мониторинга.

Основные результаты работ по теме НИР

1.Адаптация и подготовка к практическим применениям базового моделирующего комплекса (БМК) гидродинамики и качества вод

1.1. **Базовый моделирующий комплекс (БМК)** гидродинамики и качества воды

- Ядром БМК является экосистемная нестационарная нелинейная численная модель, описывающая с **высоким пространственно-временным** разрешением гидрофизические, химические и биологические характеристики качества вод речных систем, водохранилищ, проточных озер и эстуариев и комбинаций из указанного [3].
- **Гидродинамический блок модели** позволяет вести **расчет** (на период до 1 года с временными шагами порядка 10 мин) **уровней** поверхности воды, продольной и вертикальной составляющих **скорости** течения, поля **температуры** (с разрешением по вертикали от 0.1м, вдоль водотока-100 и более метров) для водных объектов с горизонтальными размерами в диапазоне 10^1-10^3 км.
- Модель описывает образование, нарастание и разрушение ледового покрова.
- Модель позволяет учитывать реальную динамику метеорологических параметров (ветер, температура и влажность воздуха, балл облачности, солнечное излучение), а также характеристики ветрового и светового затенения от топографии и растительности береговой зоны.
- Модель рассчитывает характеристики турбулентности и гидрооптические переменные водного тела.

1.1. **Базовый моделирующий комплекс (БМК)** гидродинамики и качества воды

- **Характеристики качества воды, описываемые моделью**, включают в себя:
  - любое число **характерных компонентов** для которых известны скорость распада 0-го и/или 1-го порядка, и/или скорость осаждения, и/или множитель зависимости от температуры(в том числе: консервативные трасеры, бактерии кишечной палочки, загрязняющие вещества);
  - любое число групп **неорганических взвешанных веществ и УБПК-групп**;
  - нитраты-нитриты, аммоний, биодоступный фосфор и кремний (биогены);
  - лабильные и устойчивые, растворенные и корпускулярные **органические вещества;**
  - общий неорганический **углерод**, **щелочность**, общее **железо**;
  - **растворенный кислород** и процессы **реаэрации**;
  - **любое число групп фитопланктона и эпифитона**. На базе перечисленных выше переменных основного состояния качества воды могут быть рассчитаны дополнительно более 60 производных переменных, включая pH, углеродный цикл (CO_2, HCO_3,H_2CO_3) и седиментные органические вещества.

1.1. **Базовый моделирующий комплекс (БМК)** гидродинамики и качества воды

- Модель может быть применена **к любому числу рек**, водохранилищ, озер и эстуариев, последовательно соединенных между собой. В модели учитываются **боковая приточность** скорости, температуры и характеристик качества воды, техногенные **нагрузки от** точечных и рассредоточенных источников (сбросов) загрязняющих веществ.
- Модель описывает процессы на границе раздела **вода-седименты** и фильтрационный **приток/ отток подземных вод.**
- Модель обеспечивает имитационное воспроизведение функционирования **сложных инженерных гидротехнических сооружений**: различные типы плотин и дамб, шлюзы, водозаборные станции и водоводы.

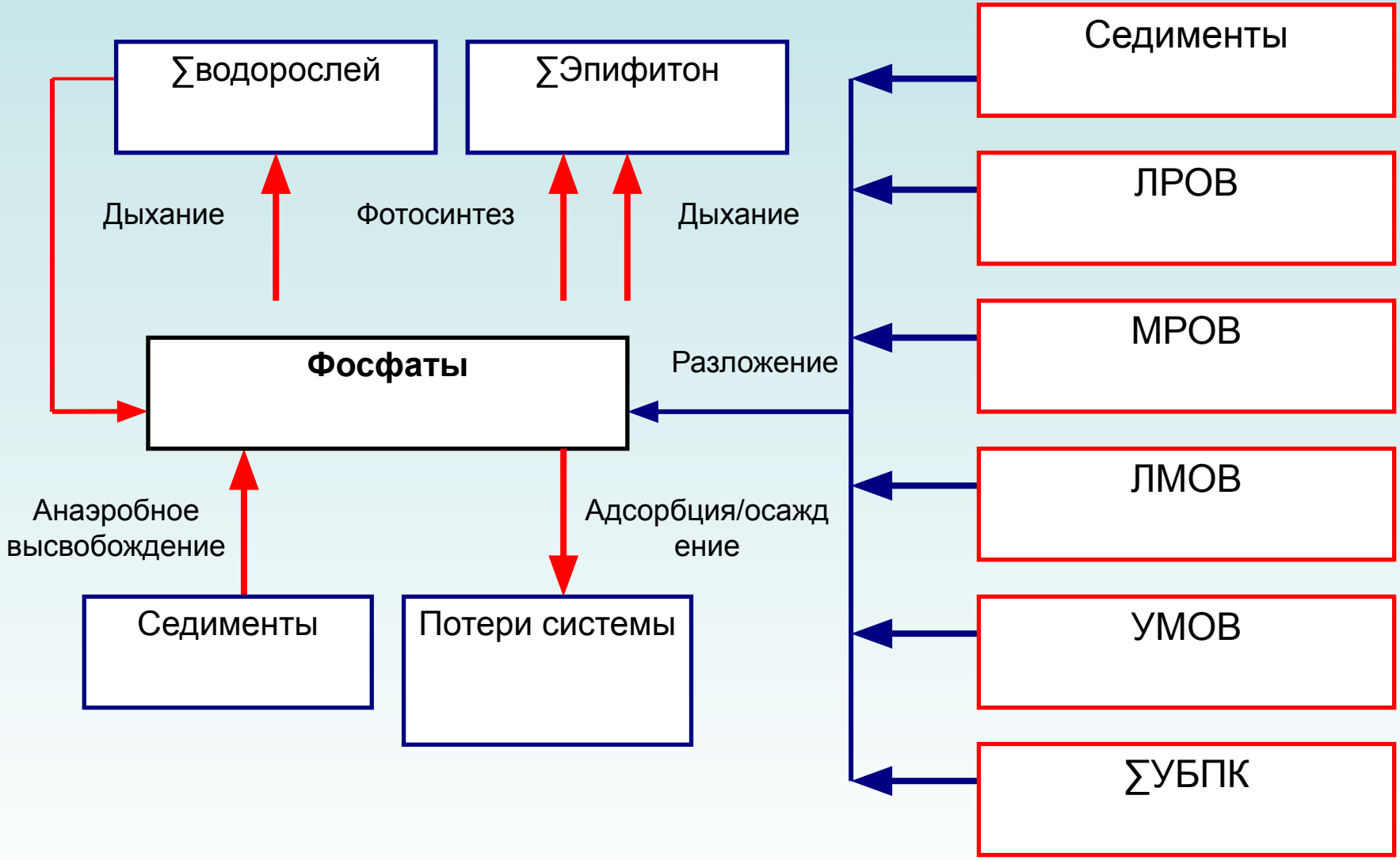
Примеры применения базовой модели гидродинамики и качества воды

- Основные этапы применения модели:
  - определение объекта , целей и задач моделирования,
  - подготовка баз данных для моделирования (геометрические данные, начальные и граничные условия, гидравлические и кинетические параметры),
  - калибровка и верификация модели,
  - анализ и оценка результатов моделирования.

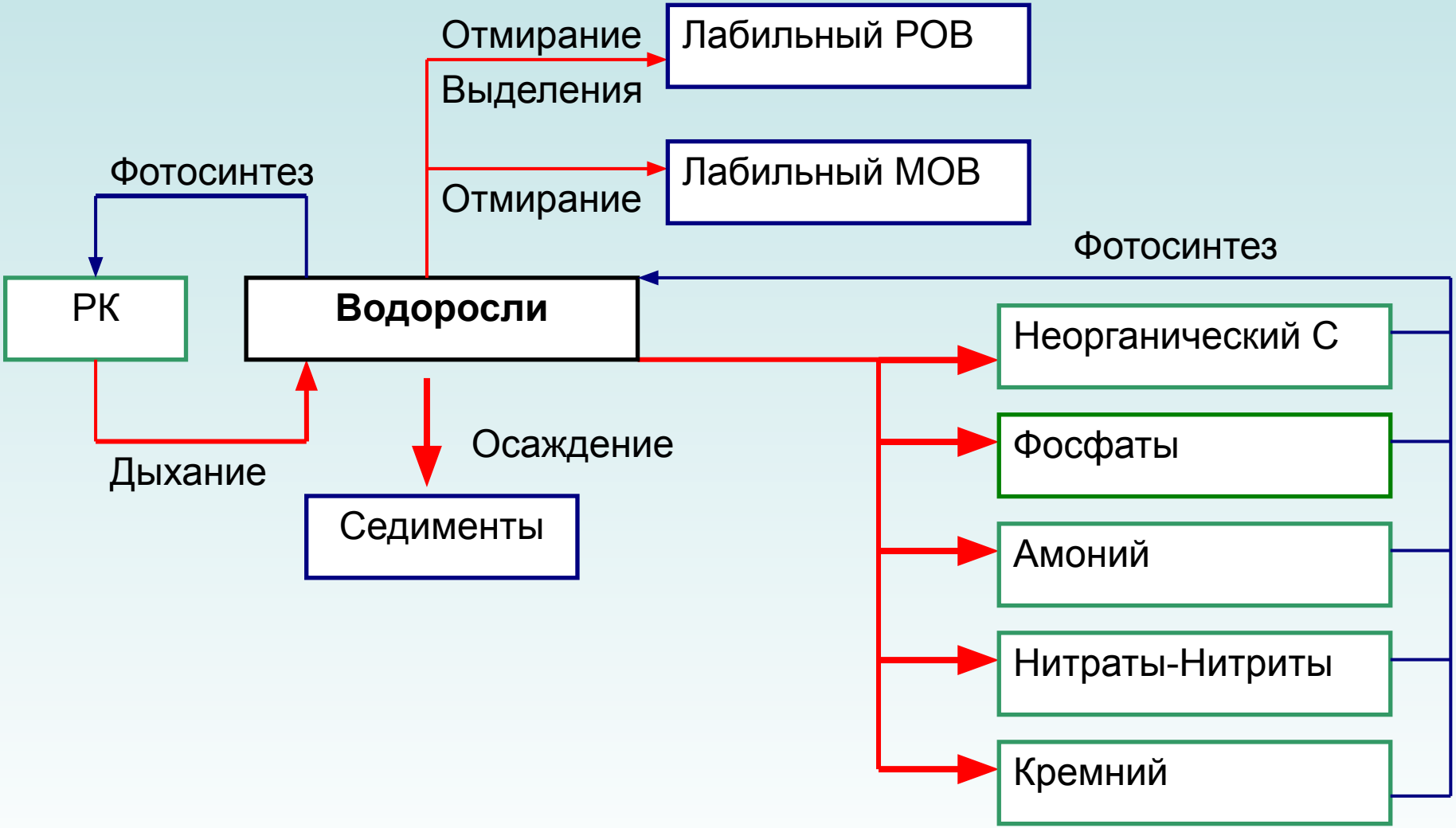
Основные уравнения модели: гидродинамика

Equation	Version 3 governing equations
x- momentum	$\frac{\partial UB}{\partial t}+\frac{\partial UUB}{\partial x}+\frac{\partial WUB}{\partial z}=gB\sin\alpha+g\cos\alpha B\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{g\cos\alpha B}{\rho}\int_{\eta}^{z}\frac{\partial\rho}{\partial x}dz+\frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z}+qBU_x$
z-momentum	$0=g\cos\alpha-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}$
free surface equation	$B_\eta\frac{\partial\eta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\int_{\eta}^{h}UBdz-\int_{\eta}^{h}qBdz$
continuity	$\frac{\partial UB}{\partial x}+\frac{\partial WB}{\partial z}=qB$
equation of state	$\rho=f(T_w,\Phi_{TDS},\Phi_{ss})$
Conservation of mass/heat	$\frac{\partial B\Phi}{\partial t}+\frac{\partial UB\Phi}{\partial x}+\frac{\partial WB\Phi}{\partial z}-\frac{\partial\left(BD_x\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right)}{\partial x}-\frac{\partial\left(BD_z\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)}{\partial z}=q_\Phi B+S_\Phi B$
where B is the width, U is the longitudinal velocity, W is the vertical velocity, q is the inflow per unit width, α is the channel angle, Φ is the concentration or temperature, η is the water surface elevation, P is the pressure, h is the depth, T_w is the water temperature, Φ_{TDS} is the concentration of TDS, Φ_{ss} is the concentration of suspended solids, ρ is the density	

Модель динамики фосфора



Модель динамики фитопланктона



Модель растворенного кислорода

Работа лаборатории по применению модели гидродинамики и качества воды

- Проведена интенсивная образовательная подготовка потенциальных пользователей БМК для сотрудников ЮНИИИТ, НПЦ" Мониторинг", Окружного Гидрометцентра и Югорского госуниверситета. Осуществлен перевод «Руководства пользователя» с английского на русский язык (объем 615 стр.), разработан курс лекции и проводятся практические занятия по дисциплине " Моделирование водных экосистем" для студентов факультета природопользования ЮГУ;

Работа лаборатории по применению модели гидродинамики и качества воды

- создана база данных результатов гидрологических наблюдений на р. Северная Сосьва (участок реки от г/п Сосьва до г/п Сартынья) и метеорологических наблюдений на м/с Сосьва за 2003год;

Работа лаборатории по применению модели гидродинамики и качества воды

- проведены пробные численные эксперименты с гидродинамическим модулем БМК по расчету гидрологических характеристик(уровни, скорости течения, температура) на указанном участке р.С. Сосьва при реальном метеорологическом форсинге и упрощенной аппроксимации руслового канала.

2. Результаты применения базового моделирующего комплекса для расчета гидрологического и термического режимов р. С.Сосьва.

- 1.Геометрические данные. На первом этапе расчетов задавался упрощенный вариант геометрических данных: число продольных сегментов-18, их ориентация в плане-фактическая, длины сегментов от 2.7км до 4.7км, при общей длине участка реки 65300м; слоев по вертикали-61(глубина реки на г/п Сосьва-10.8м); ширины слоев заданы из фактического профиля поперечного сечения руслового канала в районе г/п Сосьва.

2. Результаты применения базового моделирующего комплекса для расчета гидрологического и термического режимов р. С.Сосьва.

- 2. Начальные и граничные условия заданы по данным метеорологических (каждые 3 часа) и гидрологических (2 раза в сутки) наблюдений на м/с и г/п Сосьва и г/п Сартынья с 07.07 по 12.07.2003г.
- 3. Гидравлические параметры (коэффициенты придонного трения Шези, коэффициенты ослабления света и др.) заданы средними величинами из рекомендуемых диапазонов наблюдаемых параметров для субполярных рек.

2. Результаты применения базового моделирующего комплекса для расчета гидрологического и термического режимов р. С.Сосьва.

- Детальное сравнение результатов расчетов с данными гидрологических наблюдений показывают способность БМК воспроизводить качественно и количественно правильно тонкую структуру реальных полей скорости (в том числе формирование придонного пограничного слоя, уменьшение скоростей течения от входного створа к выходному).

2. Результаты применения базового моделирующего комплекса для расчета гидрологического и термического режимов р. С.Сосьва.

- Модель правильно описывает формирование фиксируемого наблюдениями дневного прогрева (рис.1) и ночного выхолаживания верхних слоев реки в малооблачные периоды. При этом фиксируется незначительное превышение (на 0.1-0.3^{0}С) расчетной температуры над наблюдаемой.

2. Результаты применения базового моделирующего комплекса для расчета гидрологического и термического режимов р. С.Сосьва.

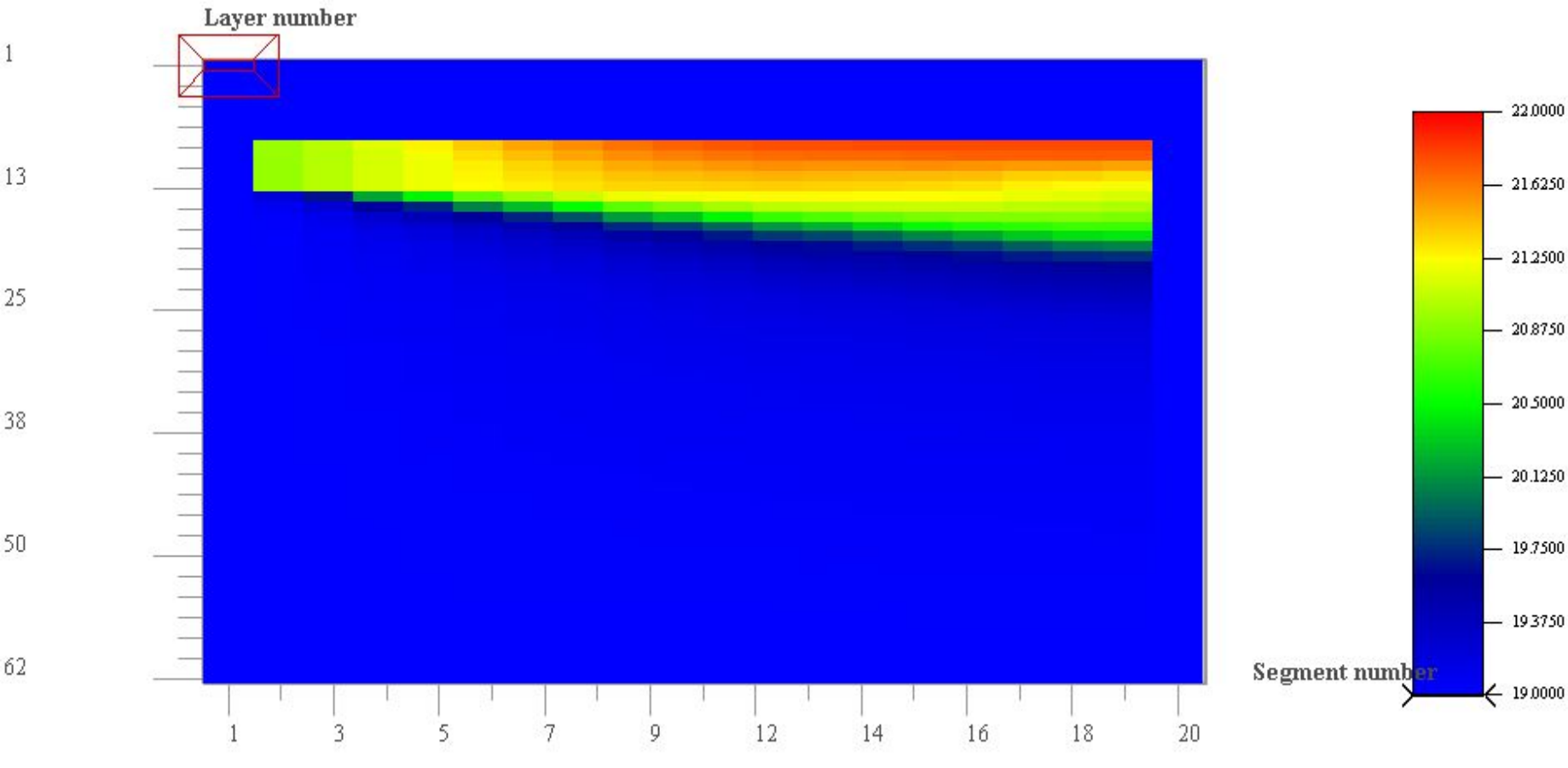


Рис. 1 Рассчитанное поле температуры на участке реки С. Сосьва в момент максимального суточного прогрева 8 июля 2003г.

3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Среди вероятных сценариев будущего промышленного освоения, уникальной по запасам полезных ископаемых, территории Приполярного Урала, реальным представляется вариант, связанный с проектированием и строительством здесь различных типов гидротехнических сооружений. Ниже излагаются результаты пилотного применения БМК для моделирования гидрологического и термического режимов и экосистемных показателей качества воды виртуального водохранилища, которое может образоваться в указанном субарктическом районе, например при строительстве ГЭС. В качестве рабочей гипотезы принято, что геометрическим и технологическим аналогом виртуального водохранилища может быть реальное и хорошо изученное водохранилище Дегрэй (США, Арканзас).

3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- данные батиметрии (длина водохранилища-30км, число продольных сегментов-30, максимальная глубина на приплотинном участке-66м, разрешение по вертикали-2м), величины расхода воды и концентрации компонентов качества воды на входном створе и в зарегулированном режиме через плотину взяты в виде копии данных из модели водохранилища Дегрэй, (координаты: 34° с.ш. 93° з.д)

3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- гидрологические данные о температуре воды, начальной толщине льда и метеорологические данные соответствуют данным наблюдений в пос. Сосьва за 2003г. (координаты: 62° с.ш, 63° в.д.).

3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Расчеты с моделями проводились в идентичных форматах файлов " ввода-вывода" на период с 3 марта по 22 декабря 2003 г. для виртуального водохранилища (далее-модель ND) и на тот же период 1980г для водохранилища Дегрэй (модель RD).

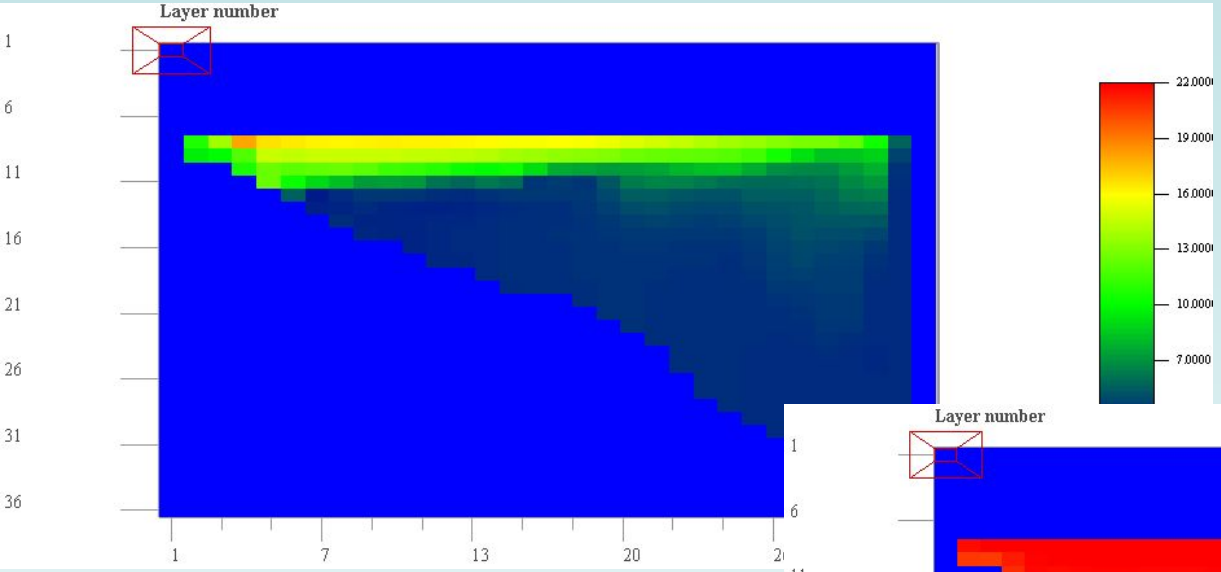
3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- В моделях ND и RD рассчитывались все характеристики гидродинамики и термического режима водохранилища (в модели ND рассчитывалась динамика ледового покрова, который фактически отсутствовал в модели RD), а также 19 основных и 23 производных переменных качества воды, в том числе: фитопланктон, основные биогены: соединения фосфора, азота, углерода и кремния, растворенный кислород, общая минерализация, pH, кишечная палочка.

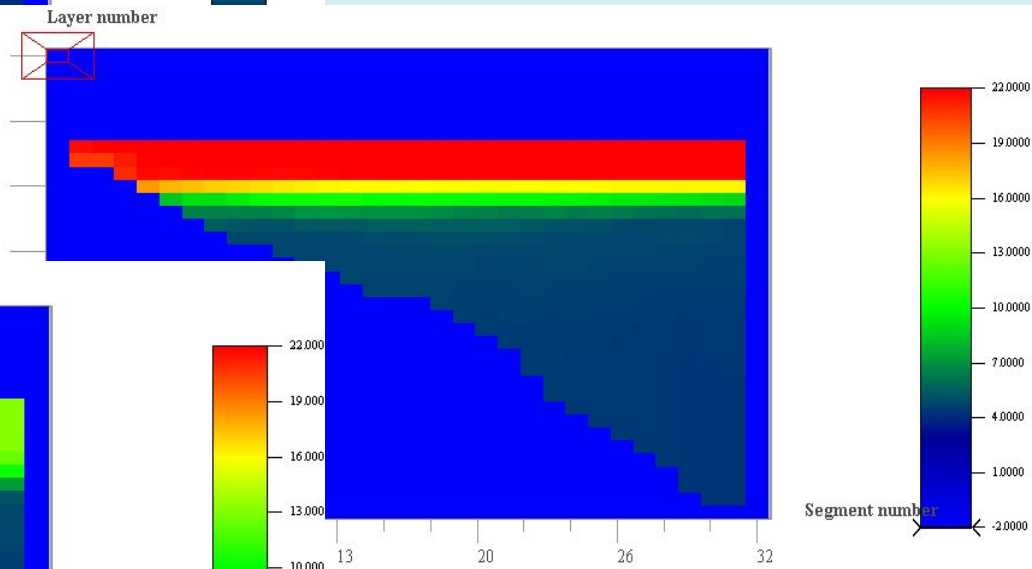
3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- В качестве иллюстрации для сопоставительного анализа результатов расчетов по моделям RD и ND приведены поля температуры воды на рис.2 (ND) и поля концентрации растворенного кислорода на рис.3 (RD) и 4 (ND).

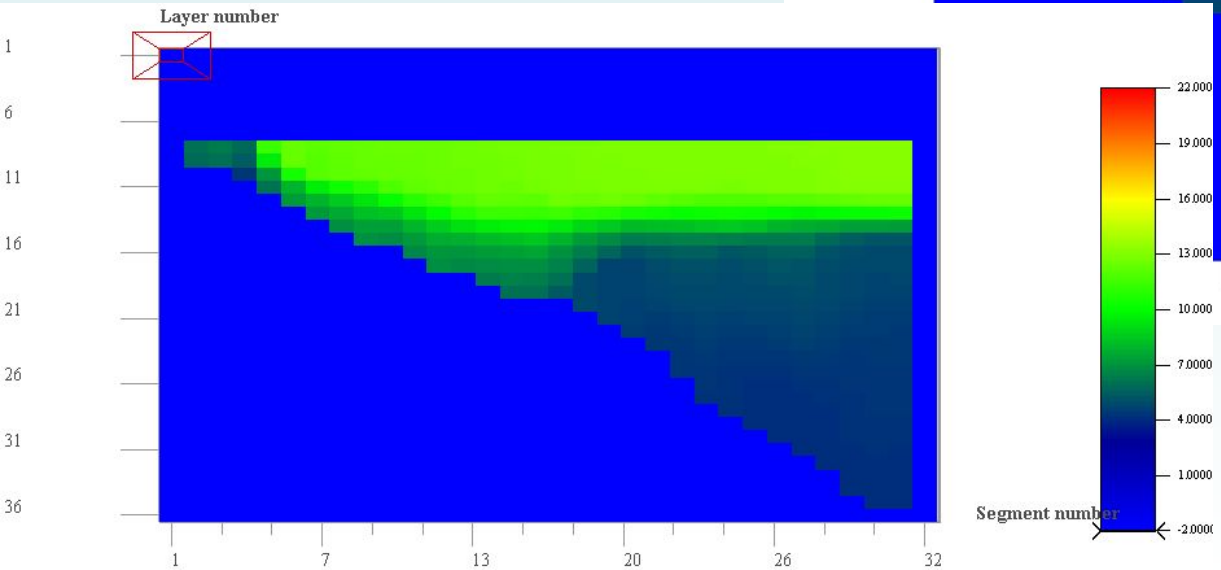
Рис.2 Поле температуры воды(C^0).
Модель ND, даты : (а) – 31 мая, (б) – 1 августа, (в) – 30 сентября 2003г.



(а)



(б)



(в)

3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Особый интерес представляют результаты расчета характеристик ледового покрова по модели ND. Начальная толщина льда, равная 0.6м(данные по г/п Сосьва, начало марта 2003г), во второй половине апреля уменьшилась до 0.3м и в конце первой декады мая лед растаял на большей части акватории виртуального водохранилища.

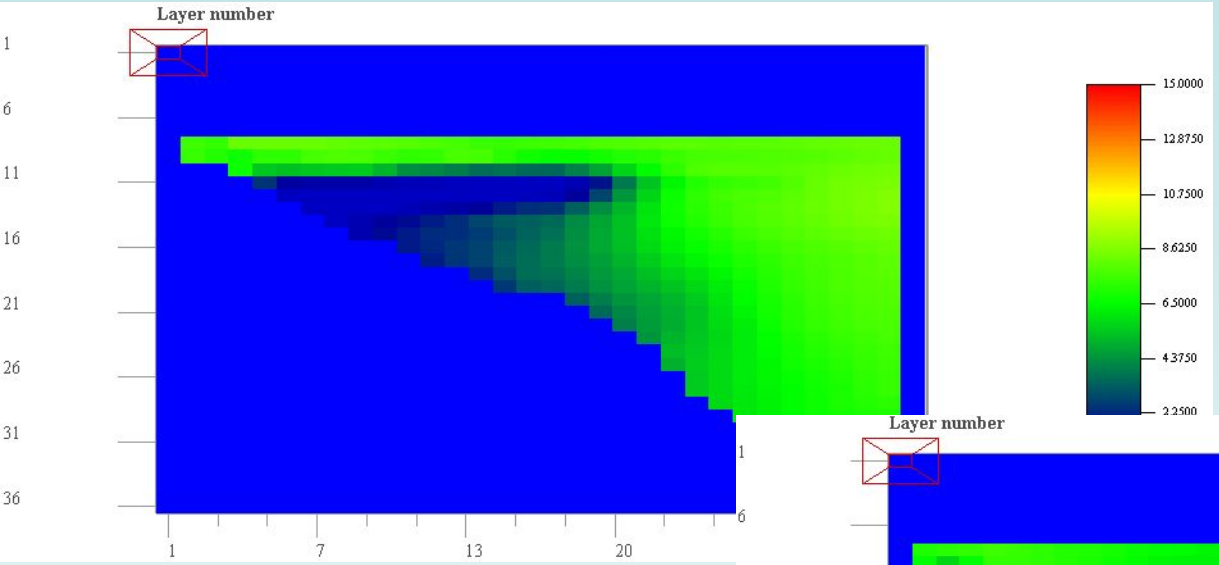
3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Согласно расчетам по модели ND ледостав на виртуальном водохранилище начинается во второй половине октября. Толщина льда на 3 ноября 2003г на сегментах вблизи входного створа составляла 0.15м по модели ND и совпала с результатами измерений на г/п Сосьва 5 ноября 2003г.

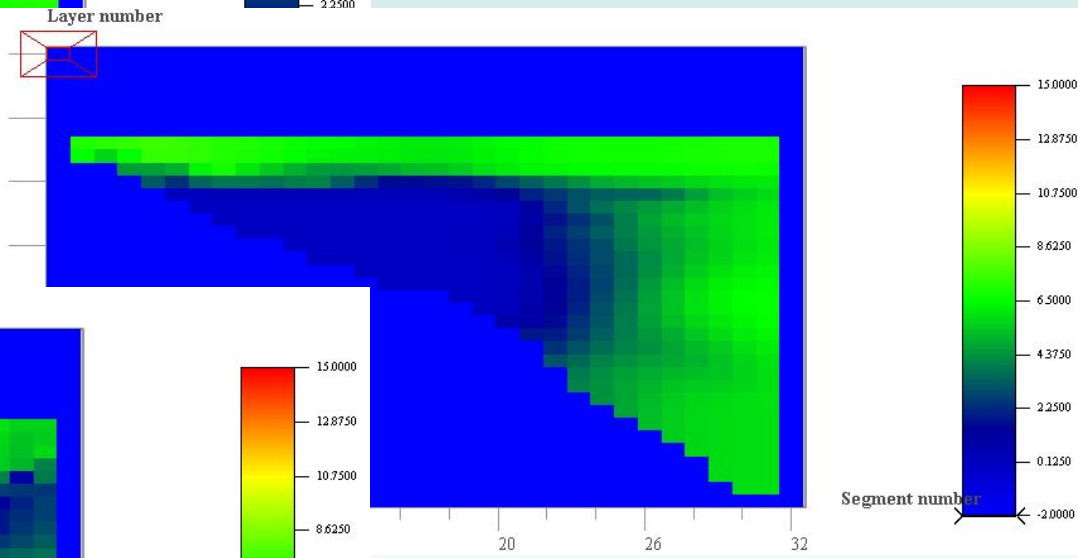
3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Важнейшим индикатором биохимического состояния водных экосистем является концентрация растворенного кислорода (РК). Как видно из рис. 3, модель RD хорошо воспроизводит, фактически наблюдаемую в этом хорошо прогретом водохранилище, обширную зону гипоксии (дефицита РК) в летне-осенний период.

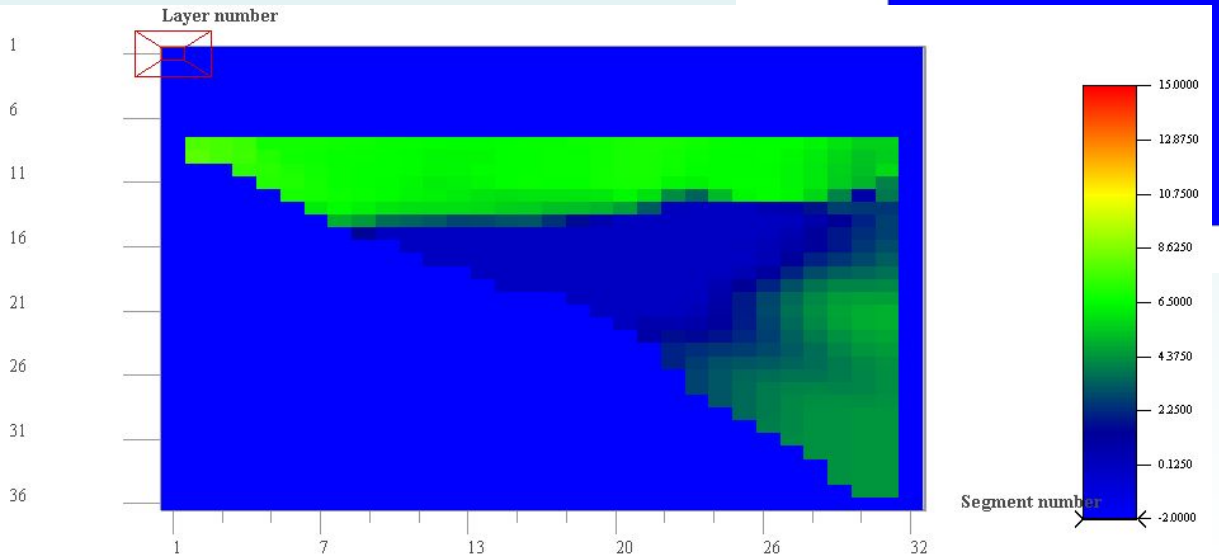
Рис.3. Поле концентрации растворенного кислорода(г/м^3).
Модель RD, даты : (а) – 31 мая, (б) – 1 августа,(в) – 30 сентября 1980г.



(а)



(б)

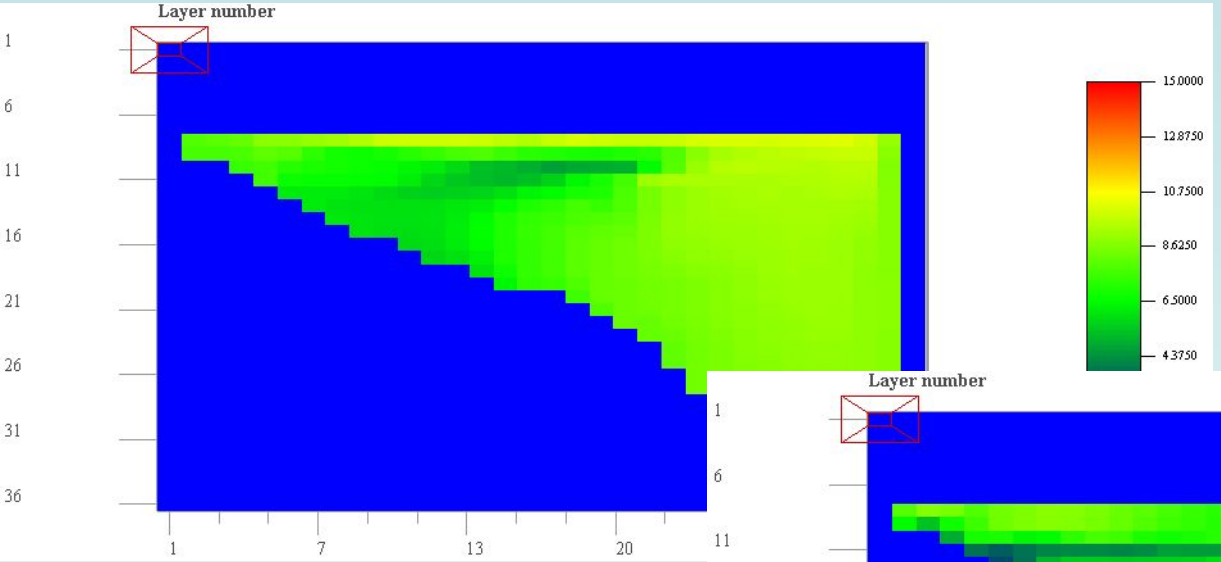


(в)

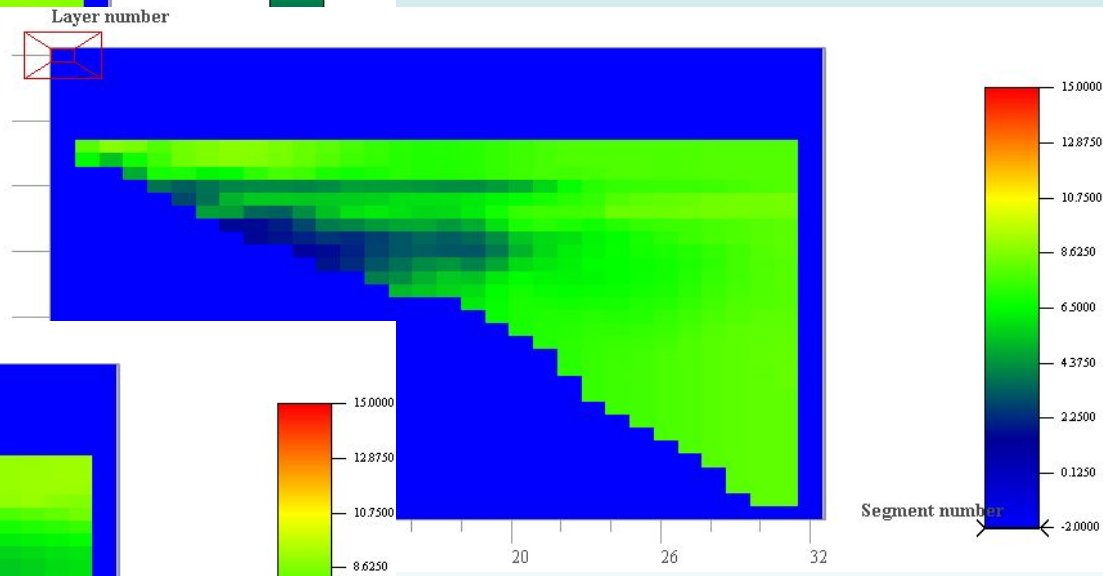
3. **Результаты моделирования термодинамики и характеристик качества воды виртуального водохранилища в субарктической зоне**

- Генетической причиной формирования такой зоны являются высокие значения седиментного потребления кислорода (СПК), связанного с бактериальным разложением органического вещества, накопленного в донных отложениях. В виртуальном водохранилище, как видно из сравнения рис. 3 и 4 ситуация с полями РК выглядит более оптимистично, хотя величины СПК были заданы теми же самыми, как в модели RD

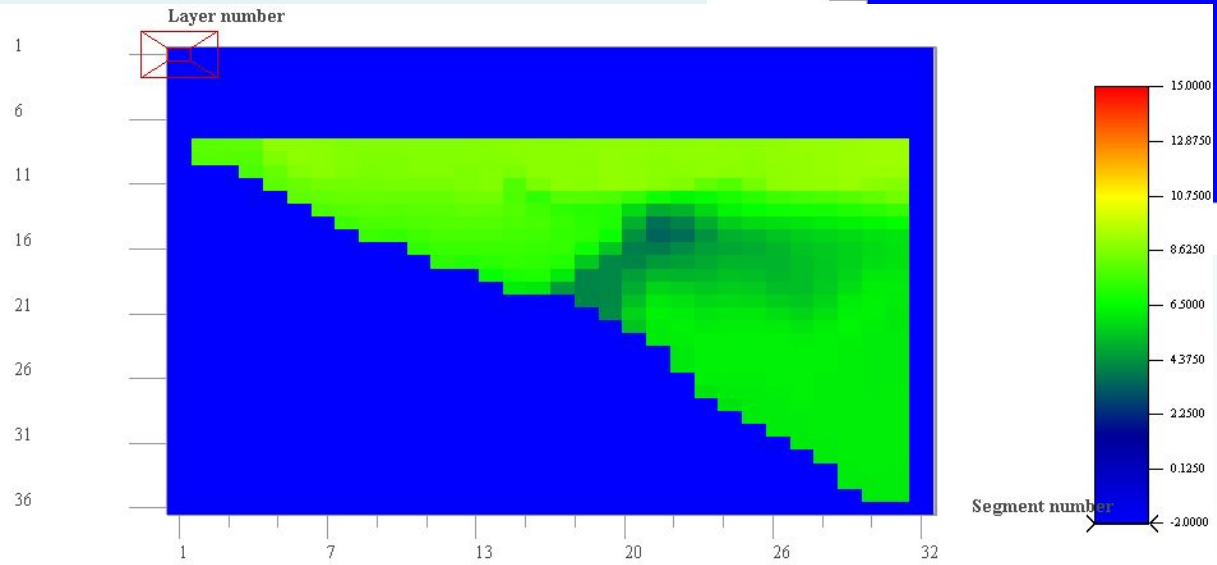
Рис.4. Поле концентрации растворенного кислорода(г/м^3).
Модель ND, даты : (а) – 31 мая, (б) – 1 августа,(в) – 30 сентября 2003г.



(а)



(б)



(в)

Заключение

- Результаты работы по применению базового моделирующего комплекса к конкретным водным объектам, позволяют констатировать готовность лаборатории к выполнению в 2005г полномасштабной научно-технической разработки «Создание информационно-моделирующей системы гидродинамики, химических и биологических показателей качества поверхностных вод с учетом антропогенных нагрузок для решения прикладных задач водопользования, охраны водных и биологических ресурсов, экологического и гидротехнического проектирования и экспертизы».

Литература

- **1.**Государственный доклад « О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2002 году». Министерство природных ресурсов РФ, Москва,2003г.
- 2.Обзоры о состоянии окружающей среды ХМАО за 1996-2002гг.
- 3.Cole.T.M., and S.A.Wells(2002г). «CE-QUAI-W2, Uersion 3.1»,Instr.Report EI-2002-1, Uicksburg,MS.