
Автоматизированная система
прогнозирования временных рядов
(на примере прогноза объема притоков реки)

*Работа выполнена на кафедре вычислительной техники
Новосибирского государственного технического университета*

Зав. кафедрой: Губарев В.В., профессор, д.т.н.

Ответственный исполнитель: Альсова О.К., доцент кафедры ВТ, к.т.н.

Постановка задачи

Исходные данные: Гидрологические временные ряды объема притока (в км³, в м³/с) реки Обь в створе Новосибирской ГЭС и объема притока в Барнауле разной дискретности (сутки, декада, месяц, квартал, год) за период 1894-2008 гг.

Задачи:

- Разработка моделей и методов краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования объема притока (на примере Новосибирского водохранилища).
- Разработка методики и программной системы мониторинга и прогнозирования притока на базе предложенных моделей (на примере Новосибирского водохранилища).

Постановка задачи

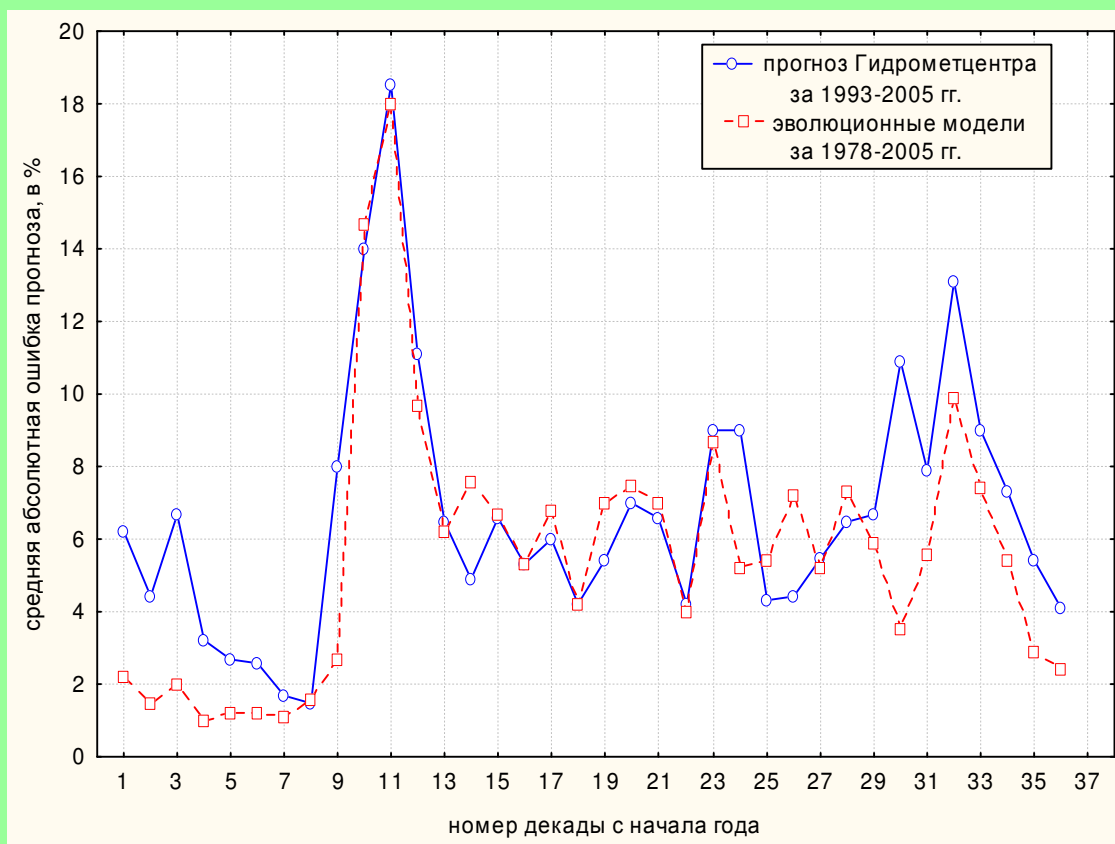
Методы (модели) прогнозирования объема притока:

- метод главных компонент;
- множественные линейные регрессионные модели;
- методы выделения периода-аналога (года-аналога);
- методы эволюционного моделирования;
- нейросетевые методы;
- балансовые методы.

Особенности:

- *При прогнозировании притока применяется вариативное моделирование, т.е. одновременно используется система разных взаимодополняющих и уточняющих друг друга моделей (методов).*
- *При прогнозировании объема притока используются только данные по фактическому притоку за период наблюдения, привлечение дополнительной информации не требуется, но ее использование возможно для повышения качества прогнозов (точность, заблаговременность).*

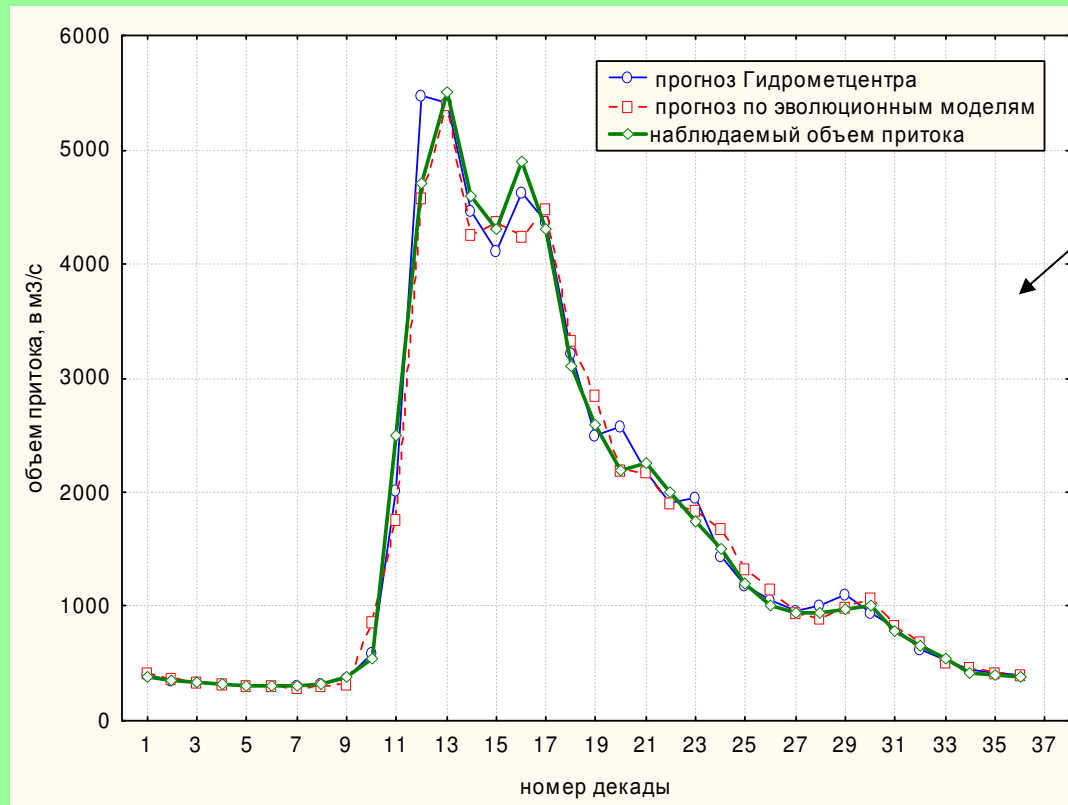
Сравнение по точности результатов прогнозирования среднедекадного объема притока реки Обь с прогнозами Западно-Сибирского Гидрометцентра



Приведена средняя абсолютная ошибка прогноза (в %) среднедекадного объема притока по эволюционным моделям (с 1978 по 2005 гг.) и по прогнозам Гидрометцентра (с 1993 по 2005 гг.).

Более точно с помощью эволюционных моделей предсказан приток на декады: 1-7, 9, 12, 22-24, 27, 29-36; улучшение точности прогноза на 0,5-7,4% в зависимости от декады.

Результаты прогнозирования среднедекадного объема притока реки Обь на 2004 г.



Приведен прогноз среднедекадного объема притока на 2004 г. по эволюционным моделям, по прогнозам Гидрометцентра и наблюдаемые значения объема притока

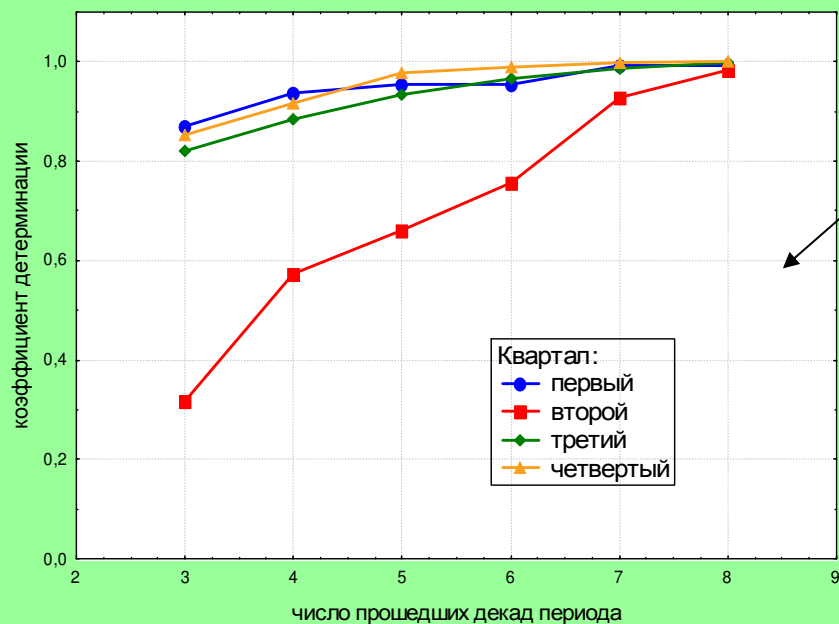
Более точно по сравнению с прогнозом Гидрометцентра, предсказан приток на следующие декады года: первая-третья декады февраля; третья декада апреля; третья декада июля; первая и вторая декады августа; вторая декада октября; первая и третья декады ноября; вторая и третья декады декабря.

Скользящее прогнозирование среднемесячных, среднеквартальных, среднегодовых объемов притока на основе множественных линейных регрессионных моделей

Примеры прогнозных моделей:

$$\text{month}_{03} = 9.490573 - 0.154211 * \text{dec}_{07} + 1.154676 * \text{dec}_{08} \text{ (март)}$$

$$\text{quarter}_{2} = 1364.866 + 0.449 * \text{dec}_{10} + 0.031 * \text{dec}_{11} + 0.118 * \text{dec}_{12} + 0.233 * \text{dec}_{13} \text{ (второй квартал)}$$



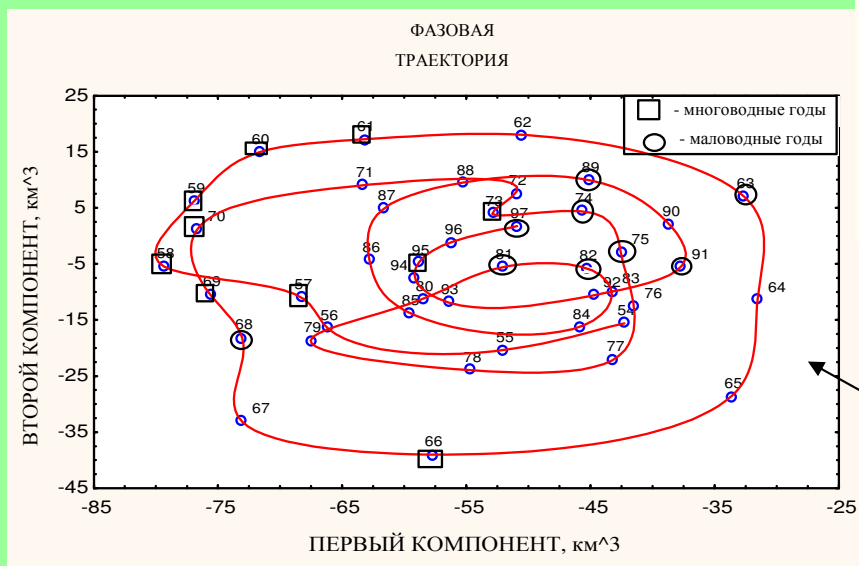
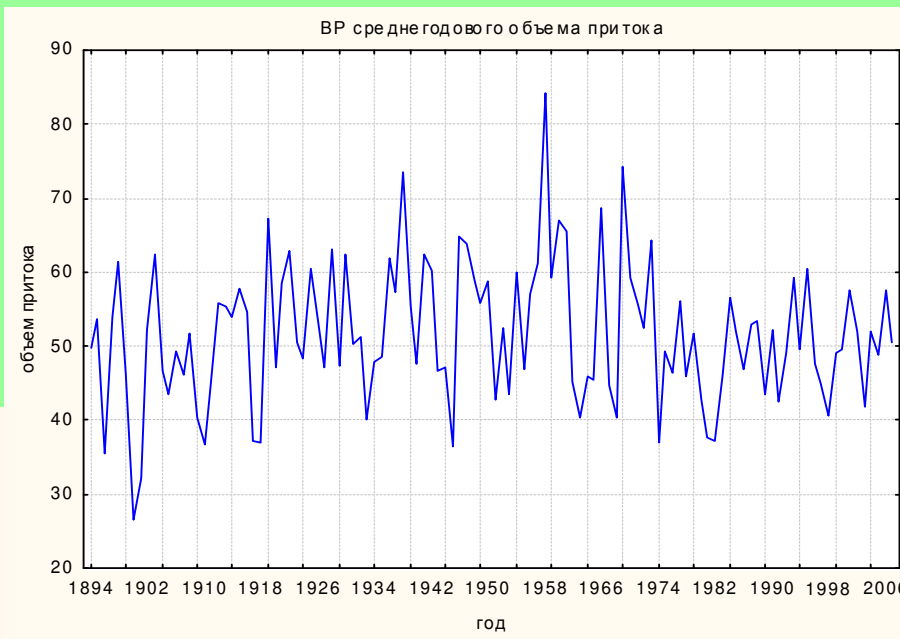
Приведена зависимость коэффициента детерминации моделей прогнозирования среднеквартальных объемов притока от числа прошедших декад периода.

Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем точнее модель.

Рисунок иллюстрирует как увеличивается точность прогнозирования объема притока с уменьшением заблаговременности прогнозов (прогнозируется объем притока за квартал по данным прошедших декад прогнозируемого квартала).

Прогнозирование объема притока на основе метода главных компонент

Фактический (наблюдаемый)
ВР среднегодового объема
притока
(фрагмент 1954-1997 гг.).

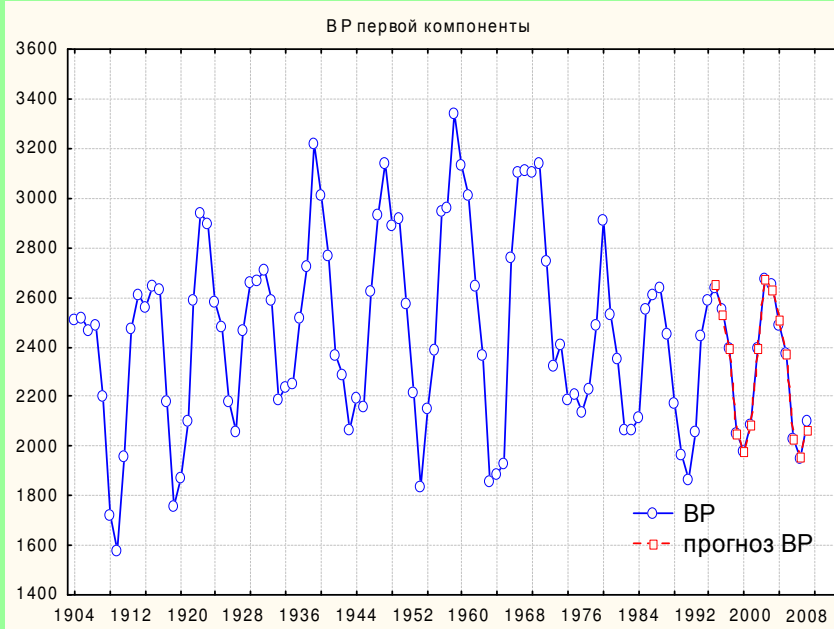
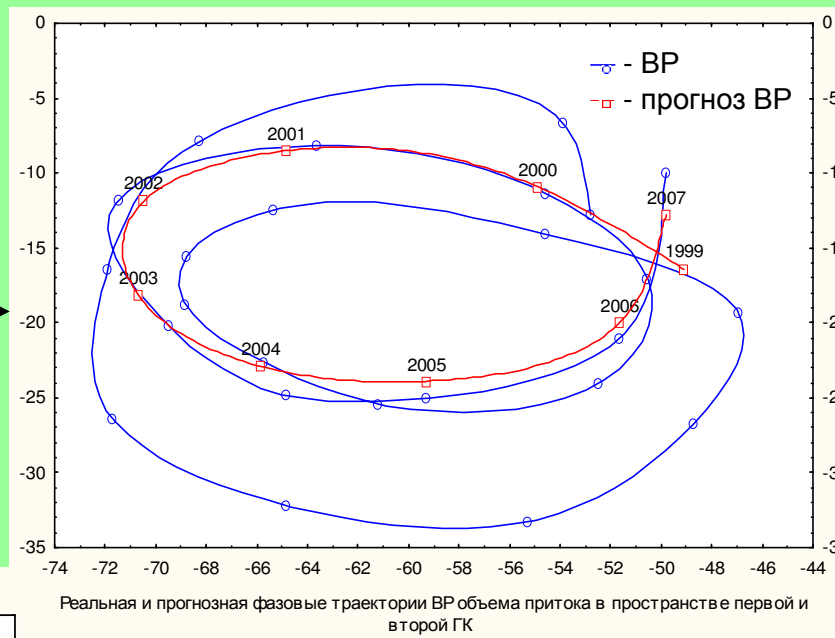


С помощью метода возможно
качественное прогнозирование объема
притока (маловодный или многороводный
период) на год, на несколько лет вперед.

Многороводные годы сосредоточены в
левой части фазовой траектории,
маловодные – в правой.

Прогнозирование объема притока на основе метода главных компонент

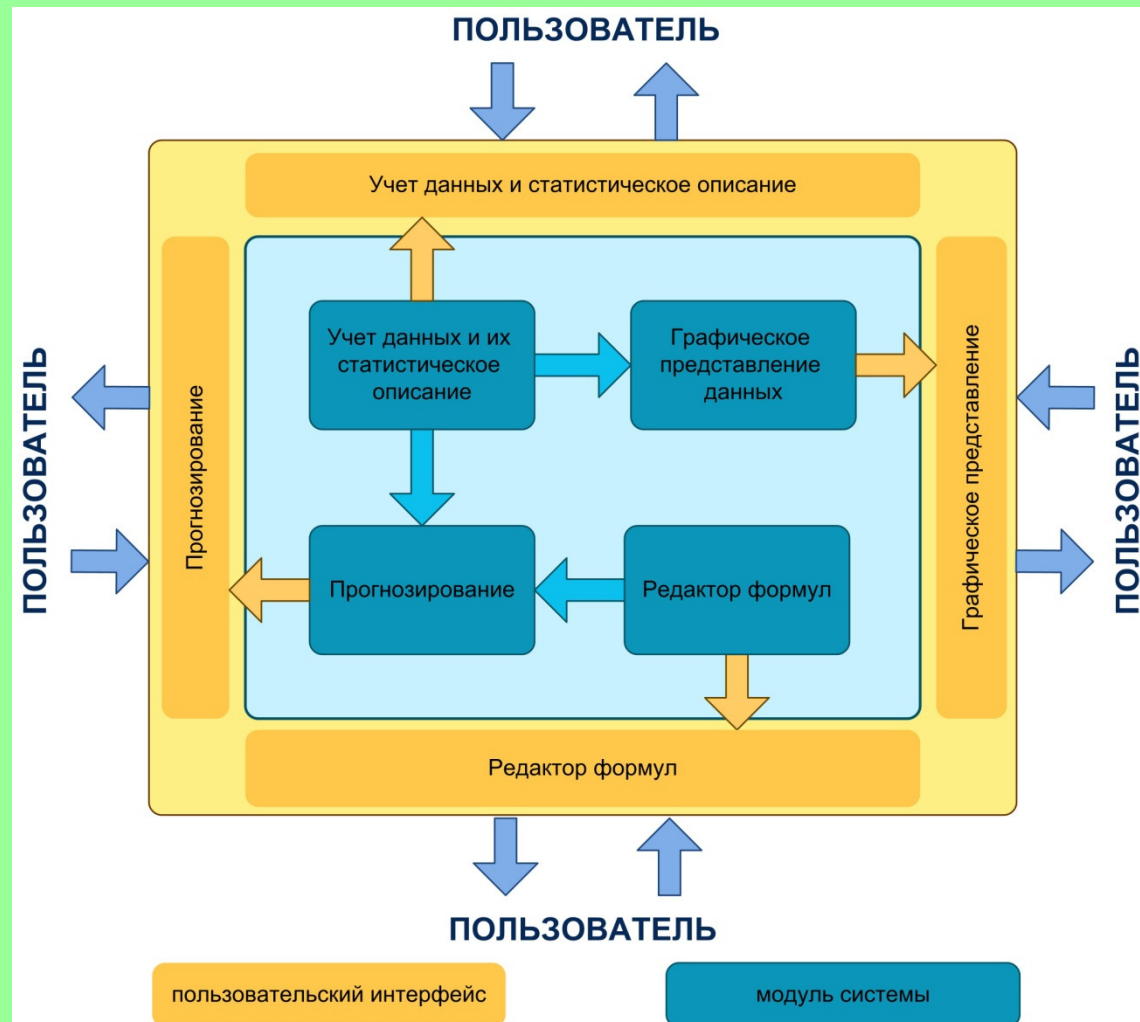
С помощью метода возможно количественное прогнозирование. Получен прогноз среднегодового объема притока на 1998-2006 гг. (средняя абсолютная ошибка прогнозирования 5,9%); при прогнозе на 2-3 года вперед (например, прогноз на 2005 г. дается по истечении 2002, 2003 гг.) средняя абсолютная ошибка составила 8,0% и 10,7%.



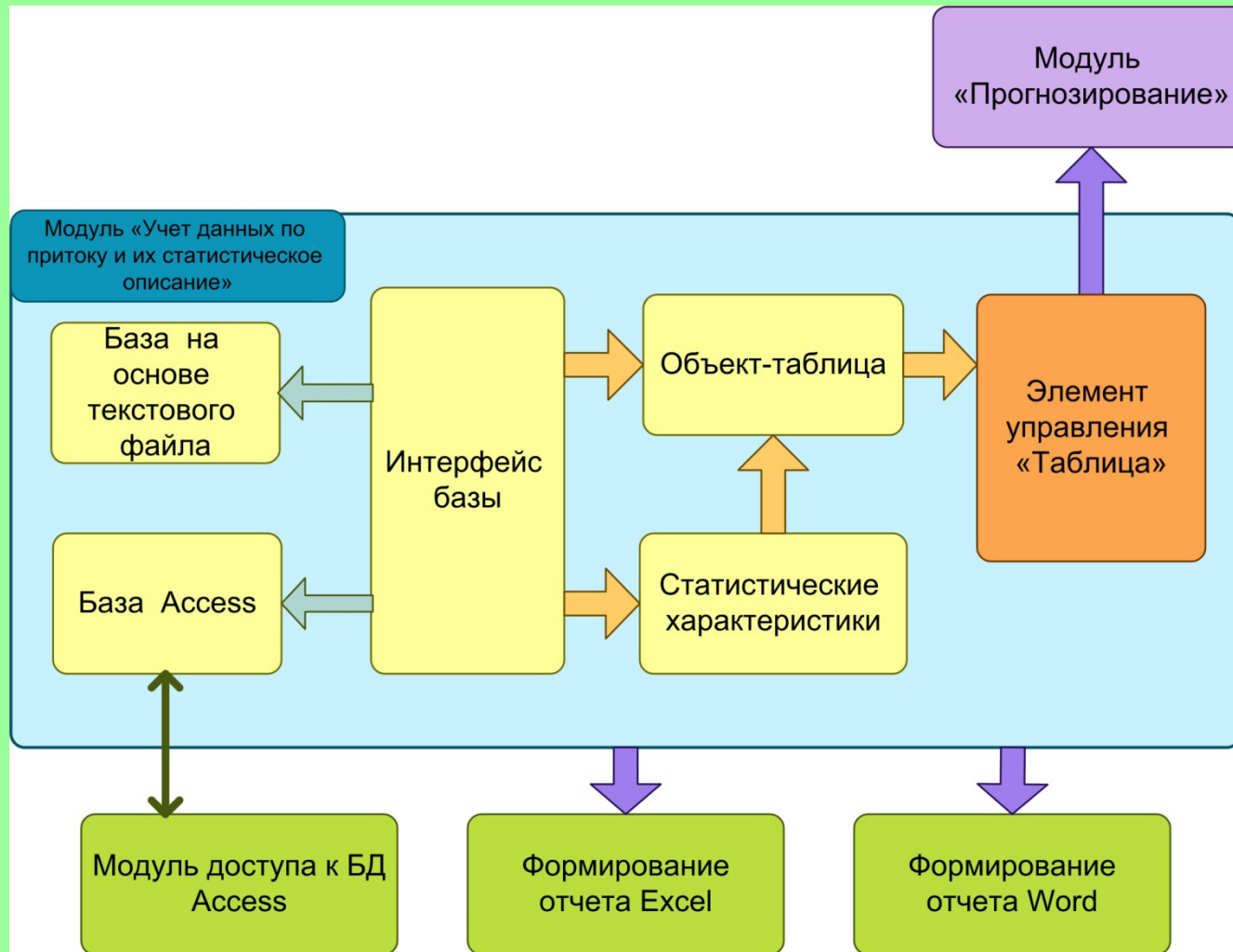
Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Структура системы

Система состоит из 4-х модулей:

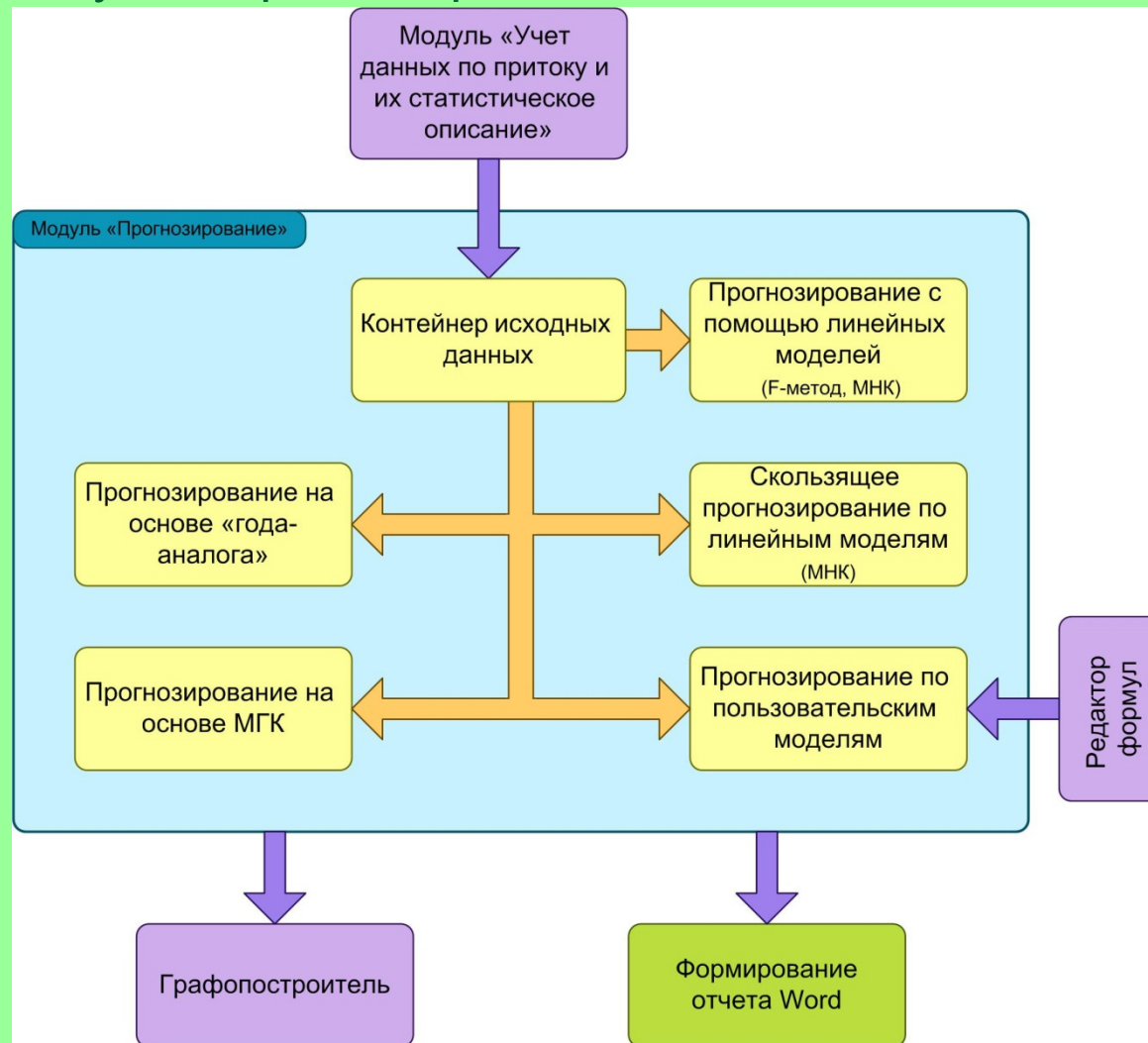
1. Учет данных по притоку и их статистическое описание
2. Графическое представление данных по притоку
3. Редактор формул
4. Прогнозирование



Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Структура модуля «Учет данных по притоку и их статистическое описание».



Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Структура модуля «Прогнозирование».



Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Возможности модулей

Модуль «Учет данных по притоку и их статистическое описание»:

- ведение (просмотр, ввод, редактирование, сохранение) БД по притокам рек за разные периоды (сутки, декада, месяц, квартал, год);
- пересчет, перевод данных в м³/с (км³);
- поддержка **одновременной работы с несколькими БД** (таблицами данных);
- поддержка использования парных БД (**основной и факторной**);
- расчет статистических характеристик данных по притоку;
- **экспорт данных в MS Word и MS Excel.**

Модуль «Графическое представление данных по притоку»:

- представление исходных данных в графическом виде (линейный график, гистограмма, диаграмма размаха);
- **сохранение** графиков в формате **.bmp, BITMAP; экспорт в MS Word.**

Модуль «Редактор формул»:

- ввод, **анализ синтаксической корректности** прогнозных линейных и нелинейных моделей;
- сохранение и чтение прогнозных моделей из БД формул.

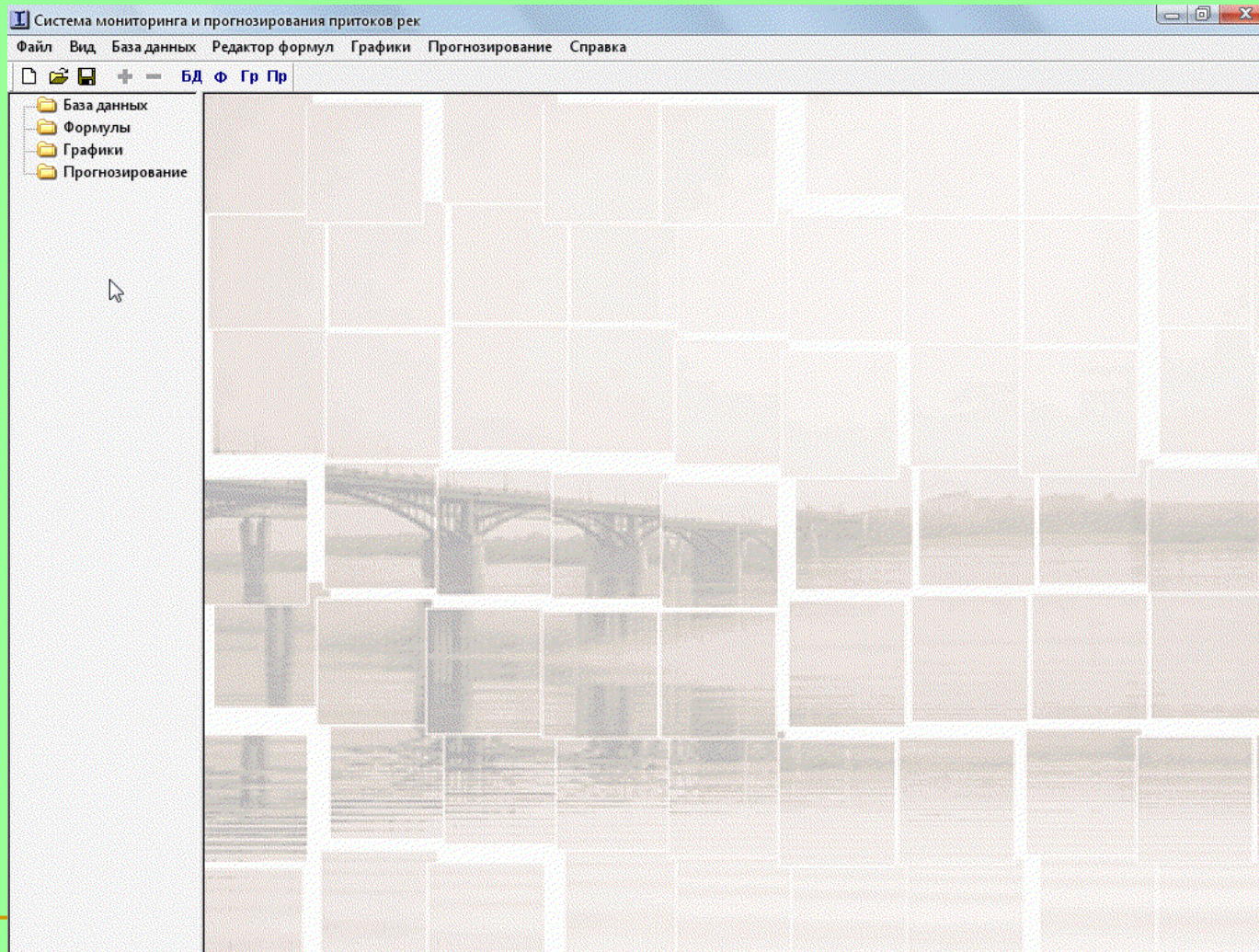
Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Возможности модулей

Модуль «Прогнозирование»:

- прогнозирование значений притока на основе **линейных регрессионных моделей** (модели строятся методами пошагового регрессионного анализа – F-метод);
- **адаптивное скользящее** прогнозирование значений притока на основе линейных регрессионных моделей;
- прогнозирование значений притока **по заданной пользователем формуле**;
- расчет **статистических характеристик точности** линейных и нелинейных регрессионных моделей;
- прогнозирование значений притока на основе **выделения аналогичного периода**;
- прогнозирование значений притока на основе **метода главных компонент**;
- настройка параметров прогнозирования; формирование итоговых отчетов;
- сохранение отчетов по прогнозированию в **MS Word**.

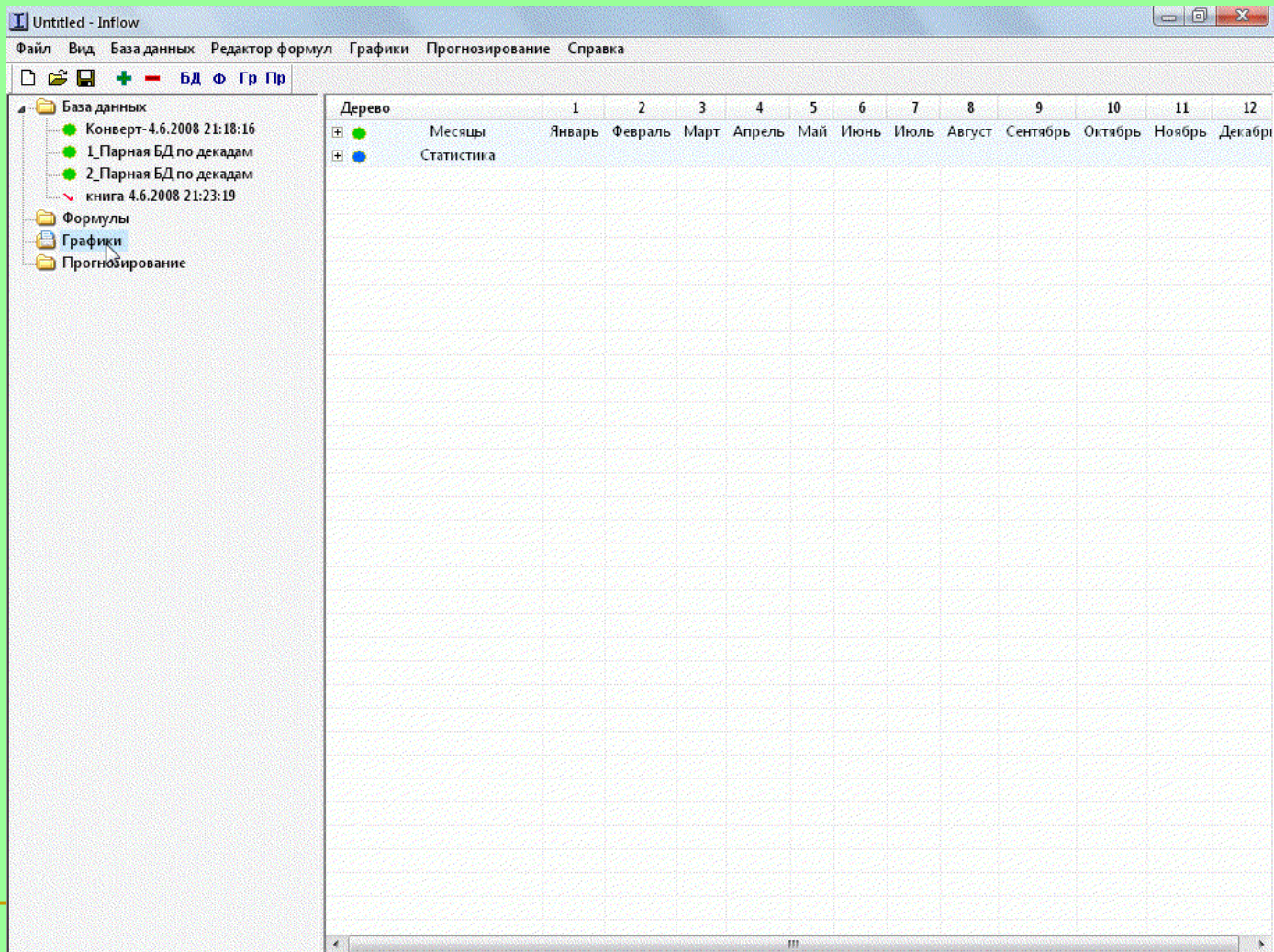
Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Пользовательский интерфейс

Модуль «Учет данных по притоку и их статистическое описание»:



Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Пользовательский интерфейс

Модуль «Графическое представление данных по притоку»:



Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Пользовательский интерфейс

Модуль «Прогнозирование (по линейным моделям)»:

The screenshot shows a software window titled 'Untitled - Inflow'. The interface includes a menu bar with 'Файл', 'Вид', 'База данных', 'Редактор формул', 'Графики', 'Прогнозирование', and 'Справка'. A toolbar contains icons for file operations and a 'Пр' button. A tree view on the left shows a project structure with folders for 'База данных', 'Формулы', 'Графики', and 'Прогнозирование'. The main area displays a table with columns for years and months, and a context menu is open over the 'Прогнозирование' folder.

Дерево	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Декады	Январь 1	Январь 2	Январь 3	Февраль 1	Февраль 2	Февраль 3	Март 1	Март 2	Март 3	Апрель 1
1978	420.00	385.00	375.00	365.00	330.00	290.00	300.00	310.00	360.00	865.00
1979	380.00	425.00	360.00	335.00	320.00	320.00	320.00	310.00	305.00	315.00
1980	480.00	430.00	410.00	370.00	330.00	310.00	300.00	300.00	300.00	340.00
1981	430.00	380.00	360.00	340.00	315.00	310.00	300.00	300.00	350.00	765.00
1982	300.00	290.00	280.00	275.00	270.00	265.00	260.00	260.00	260.00	420.00
1983	340.00	340.00	330.00	315.00	310.00	300.00	290.00	290.00	310.00	550.00
1984	400.00	395.00	370.00	340.00	310.00	290.00	280.00	280.00	300.00	530.00
1985	410.00	390.00	380.00	350.00	330.00	305.00	290.00	290.00	260.00	440.00
1986	490.00	460.00	410.00	380.00	360.00	340.00	320.00	300.00	295.00	360.00
1987	370.00	340.00	355.00	340.00	320.00	320.00	315.00	330.00	320.00	330.00
1988	570.00	520.00	480.00	435.00	390.00	350.00	325.00	305.00	305.00	360.00
1989	400.00	390.00	375.00	360.00	345.00	335.00	315.00	310.00	325.00	1325.00
1990	430.00	400.00	370.00	355.00	330.00	320.00	310.00	300.00	365.00	950.00
1991	490.00	450.00	400.00	365.00	350.00	345.00	335.00	320.00	310.00	380.00
1992	390.00	365.00	360.00	360.00	350.00	340.00	325.00	305.00	300.00	350.00
1993	455.00	410.00	390.00	370.00	350.00	335.00	325.00	318.00	325.00	490.00
1994	380.00	355.00	350.00	340.00	330.00	318.00	310.00	300.00	300.00	688.00
1995	470.00	440.00	420.00	412.00	410.00	410.00	410.00	410.00	413.00	1255.00
1996	456.00	424.00	383.00	362.00	355.00	350.00	333.00	314.00	304.00	360.00
1997	476.00	438.00	418.00	400.00	380.00	363.00	349.00	340.00	356.00	1246.00
1998	316.00	308.00	299.00	293.00	275.00	270.00	270.00	270.00	270.00	328.00
1999	350.00	310.00	296.00	283.00	274.00	263.00	260.00	257.00	251.00	335.00
2000	459.00	391.00	268.00	340.00	325.00	310.00	295.00	273.00	297.00	671.00
2001	431.00	387.00	355.00	350.00	337.00	320.00	306.00	292.00	320.00	1085.00
2002	403.00	411.00	429.00	379.00	342.00	258.00	306.00	312.00	567.00	1825.00
2003	428.00	404.00	385.00	375.00	361.00	334.00	326.00	297.00	288.00	468.00
2004	400.00	356.00	330.00	322.00	305.00	300.00	304.00	320.00	376.00	585.00
2005	365.00	346.00	335.00	329.00	314.00	298.00	292.00	283.00	314.00	526.00
2006	374.00	361.00	340.00	292.00	280.00	280.00	298.00	300.00	321.00	408.00
2007	458.00	400.00	370.00	370.00	376.00	380.00	380.00	387.00	396.00	741.00

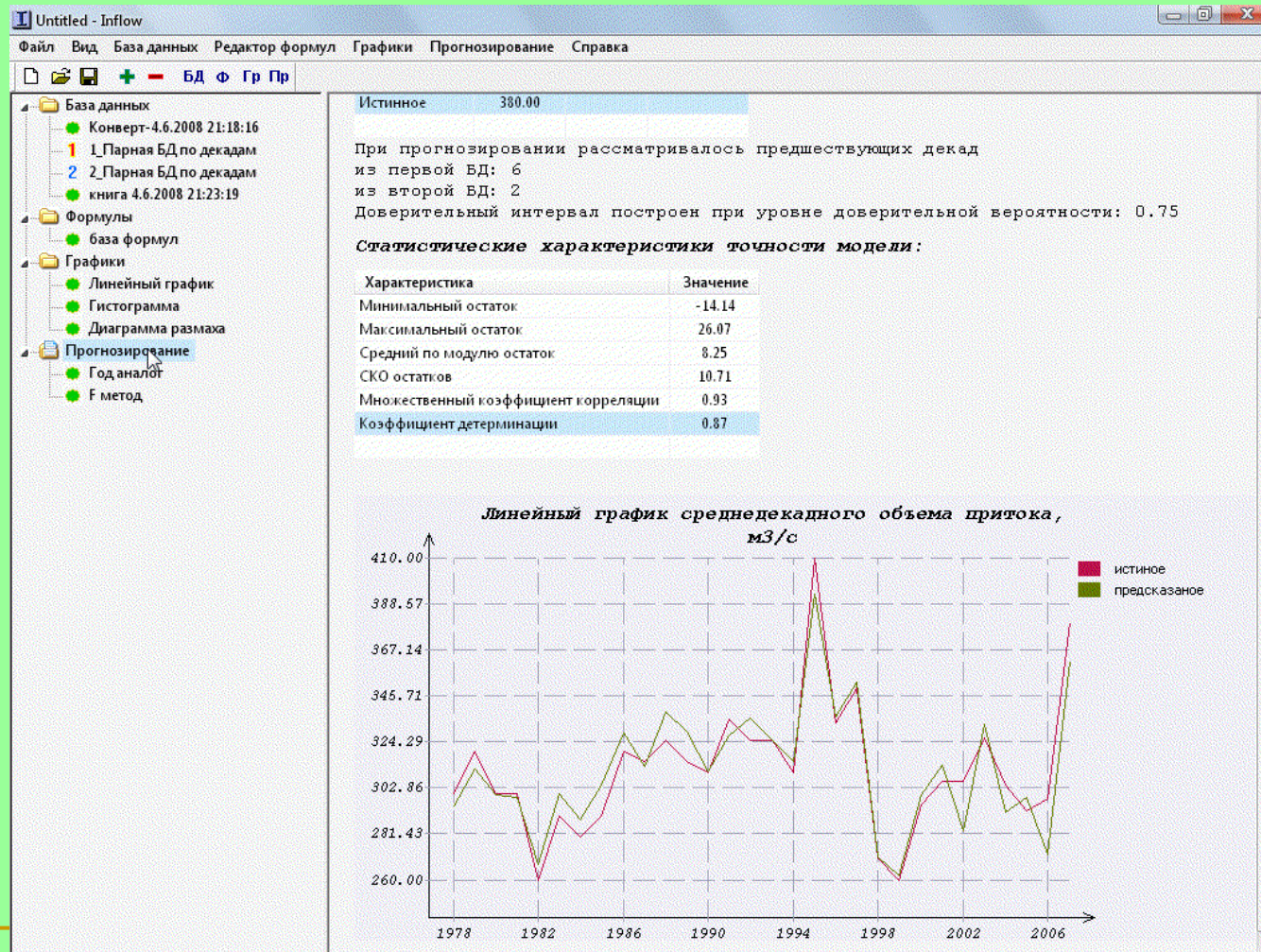
Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Пользовательский интерфейс

Модуль «Редактор прогнозных моделей»:

Дерево	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Декады	Январь 1	Январь 2	Январь 3	Февраль 1	Февраль 2	Февраль 3	Март 1	Март 2	Март 3	Апрель 1
1978	420.00	385.00	375.00	365.00	330.00	290.00	300.00	310.00	360.00	865.00
1979	380.00	425.00	360.00	335.00	320.00	320.00	320.00	310.00	305.00	315.00
1980	480.00	430.00	410.00	370.00	330.00	310.00	300.00	300.00	300.00	340.00
1981	430.00	380.00	360.00	340.00	315.00	310.00	300.00	300.00	350.00	765.00
1982	300.00	290.00	280.00	275.00	270.00	265.00	260.00	260.00	260.00	420.00
1983	340.00	340.00	330.00	315.00	310.00	300.00	290.00	290.00	310.00	550.00
1984	400.00	395.00	370.00	340.00	310.00	290.00	280.00	280.00	300.00	530.00
1985	410.00	390.00	380.00	350.00	330.00	305.00	290.00	290.00	260.00	440.00
1986	490.00	460.00	410.00	380.00	360.00	340.00	320.00	300.00	295.00	360.00
1987	370.00	340.00	355.00	340.00	320.00	320.00	315.00	330.00	320.00	330.00
1988	570.00	520.00	480.00	435.00	390.00	350.00	325.00	305.00	305.00	360.00
1989	400.00	390.00	375.00	360.00	345.00	335.00	315.00	310.00	325.00	1325.00
1990	430.00	400.00	370.00	355.00	330.00	320.00	310.00	300.00	365.00	950.00
1991	490.00	450.00	400.00	365.00	350.00	345.00	335.00	320.00	310.00	380.00
1992	390.00	365.00	360.00	360.00	350.00	340.00	325.00	305.00	300.00	350.00
1993	455.00	410.00	390.00	370.00	350.00	335.00	325.00	318.00	325.00	490.00
1994	380.00	355.00	350.00	340.00	330.00	318.00	310.00	300.00	300.00	688.00
1995	470.00	440.00	420.00	412.00	410.00	410.00	410.00	410.00	413.00	1255.00
1996	456.00	424.00	383.00	362.00	355.00	350.00	333.00	314.00	304.00	360.00
1997	476.00	438.00	418.00	400.00	380.00	363.00	349.00	340.00	356.00	1246.00
1998	316.00	308.00	299.00	293.00	275.00	270.00	270.00	270.00	270.00	328.00
1999	350.00	310.00	296.00	283.00	274.00	263.00	260.00	257.00	251.00	335.00
2000	459.00	391.00	268.00	340.00	325.00	310.00	295.00	273.00	297.00	671.00
2001	431.00	387.00	355.00	350.00	337.00	320.00	306.00	292.00	320.00	1085.00
2002	403.00	411.00	429.00	379.00	342.00	258.00	306.00	312.00	567.00	1825.00
2003	428.00	404.00	385.00	375.00	361.00	334.00	326.00	297.00	288.00	468.00
2004	400.00	356.00	330.00	322.00	305.00	300.00	304.00	320.00	376.00	585.00
2005	365.00	346.00	335.00	329.00	314.00	298.00	292.00	283.00	314.00	526.00
2006	374.00	361.00	340.00	292.00	280.00	280.00	298.00	300.00	321.00	408.00
2007	458.00	400.00	370.00	370.00	376.00	380.00	380.00	387.00	396.00	741.00

Система мониторинга и прогнозирования притоков рек. Пользовательский интерфейс

Модуль «Прогнозирование (по пользовательским моделям)»:



Перспективы дальнейших исследований

1. Исследование структуры и закономерностей изменения притоков других рек во времени.
2. Выявление факторов, влияющих (определяющих) объем притока (например, климатических, метеорологических) и количественная оценка степени их влияния.
3. Апробация и адаптация разработанных ранее моделей и методов для прогнозирования объемов притоков других рек, оценка точности прогнозирования при использовании этих методов, включая исследование влияния неточности исходных данных.
4. Разработка новых моделей (в случае необходимости) с учетом особенностей притоков конкретной реки с целью повышения точности и заблаговременности прогнозов.
5. Разработка методики прогнозирования притоков изучаемых рек на основе полученных результатов.
6. Адаптация, доведение, разработка новых модулей программной системы мониторинга и прогнозирования притоков рек с учетом полученных результатов.
7. Адаптация методов и системы к прогнозированию ВР другой природы.

Необходимая информация для проведения работы:

- гидрологические временные ряды объемов притока рек разной дискретности (сутки, декада, месяц, квартал, год) за существующий период наблюдения;
- временные ряды факторов, обуславливающих объем притока, разной дискретности.