

Гидрологический модуль в системе RECASS для оперативного прогноза распространения радиоактивных веществ в поверхностных водах. Гидрологический макет бассейна реки Днепр для сопредельной территории Республики Беларусь и Российской Федерации

В. М. Григорьева;
с.н.с. ФГБУ НПО «Тайфун»;
к.физ.-мат.наук.

А. Ю. Похил;
старший программист ФГБУ НПО «Тайфун».

Введение

Для обеспечения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды созданы современные компьютерные системы информационной поддержки принятия решений в случае радиационных аварий.

В составе ФГБУ НПО Тайфун функционирует Федеральный информационно-аналитический центр (ФИАЦ) Росгидромета по обеспечению оперативной и прогностической информацией в чрезвычайных ситуациях, связанных с аварийным загрязнением окружающей среды. В ФИАЦ Росгидромета разработан программно-технический комплекс - система RECASS (Radioecological Analysis Support System)

, предназначенная для прогноза последствий поступлений загрязняющих веществ в окружающую среду вследствие чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Составной частью системы RECASS является гидрологический модуль, предназначенный для подготовки оперативных прогнозов аварийного загрязнения гидрографической сети в первые несколько суток после аварии.

Гидрологический модуль включает в себя модели переноса радиоактивных веществ в поверхностных водах, а также базу данных о гидрологических характеристиках водных объектов – гидрологический макет, который разрабатывается для территорий, которые могут быть подвергнуты радиоактивному загрязнению в результате аварий на потенциально опасных объектах.

Гидрологический модуль был разработан в 2001 году [1,2] и с этого времени он находится на постоянном дежурстве в составе системы RECASS и принимает участие во всех противоаварийных тренировках, проводимых в России. Расширение перечня решаемых задач определяет необходимость непрерывного развития и модернизации программно-технического комплекса. Гидрологический модуль постоянно совершенствуется, в частности для решения задач трансграничного переноса загрязнений.

Значительная часть речной системы Белоруссии, является продолжением речной системы, расположенной в Смоленской области Российской Федерации. Реки Днепр, Остер, Ипуть, Сож и некоторые другие реки берут начало на территории Смоленской области, а далее они протекают вдоль границы Россия-Беларусь и по территории Республики Беларусь. В случае аварии на радиационно-опасных объектах с выбросом значительного количества радиоактивных веществ в атмосферу возможно их выпадение на поверхность рек и водоемов.

В рамках работы по белорусско-российской программы в области гидрометеорологии на 2017-2021 гг. по мероприятию “Разработка и внедрение в тестовом режиме современных методов, технологий и систем контроля и мониторинга территориального и трансграничного загрязнения окружающей среды” было проведено усовершенствование программного обеспечения блока гидрологических расчетов системы RECASS NT с учетом особенностей гидрографической сети сопредельной части бассейна реки Днепр. Был разработан гидрологический макет для бассейна реки Днепр в его части, протекающей по территориям Российской Федерации и Республики Беларусь.

Место гидрологического модуля в комплексе программных средств RECASS.

Комплекс программных средств RECASS делится на клиентскую и серверную части.

Программное обеспечение серверной части работает непрерывно, обеспечивая загрузку оперативной информации в интегрированный банк данных системы. Все расчеты производятся на сервере и сохраняются в банке данных.

Программное обеспечение клиентской части, установленное на нескольких удаленных компьютерах, обеспечивает управление расчетами, визуализацию оперативных и расчетных данных, предоставление информации в системе ГИС, формирование отчетных материалов.

Для формирования сообщения об аварийном выбросе загрязняющих веществ в окружающую среду и отправления сообщения на сервер расчетов используется подсистема «Terminal RECASS», которая устанавливается на клиентской части системы. При получении сообщения с клиентского места на сервере запускается на выполнение цепочка расчетных модулей. Результаты расчета сохраняются в Базе результатов расчета, входящей в состав интегрированного банка данных.

Для выполнения расчетов по прогнозированию загрязнения гидрографической сети атмосферным источником в системе RECASS NT используется цепочка расчетных модулей, включающая в себя:

- модуль анализа сообщения об аварии
- модуль подготовки сценария и параметров расчета
- цепочка модулей, реализующая расчет рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере и его осаждения на поверхность земли и водных объектов, включающая метеорологический препроцессор, модуль адаптации полей ветра к локальному рельефу и модуль расчета мезомасштабного атмосферного переноса;
- комплекс программ гидрологического модуля, осуществляющих расчет распространения загрязняющих веществ в гидрографической сети.
- блок выработки рекомендаций.

В комплексе программ гидрологического модуля системы RECASS используется информация из гидрологической базы данных, которая является частью интегрированной базы данных системы RECASS NT. Основой этой базы данных являются гидрологические макеты местности.

Гидрологический макет бассейна реки Днепр для сопредельной территории Российской Федерации и Республики Беларусь

Гидрологический макет представляет собой программную реализацию системы гидрологических и гидрометрических данных.

Для создания и редактирования Гидрологического макета разработано специальное программное средство Редактор гидрологического макета [2], с помощью которого создаются базы гидрологических данных для различных территорий и оперативно корректируются существующие.

Основой для подготовки гидрологического макета являются картографические и гидрологические данные региональной гидрографической сети, необходимые для расчета переноса загрязняющих веществ в реках и водоемах.

Гидрографическая сеть в гидрологическом макете представлена набором однородных участков водных объектов, для каждого из которых заданы геометрическое представление, направление течения воды, а также установлены связи между участками. Каждый участок гидрометрической сети считается однородным и описывается средними для всего участка значениями гидрологических и гидрометрических параметров.

Водотоки (реки, ручьи и каналы) хранятся в виде направленных ломаных линий с узлами, направление течения задается от первого узла к последнему. Водоемы (озера, водохранилища, пруды) хранятся в виде замкнутых многоугольников (полигонов).

Основными параметрами, характеризующими однородные участки водотоков являются длина, ширина, глубина, скорость течения и расход воды.

Для водоемов определены расход воды, площадь поверхности, средняя глубина. Скорость течения рассчитывается исходя из значений расхода воды, ширины и глубины участка реки.

По данным многолетних гидрологических наблюдений, а также с помощью эмпирических функциональных зависимостей вычисляются средние характеристики однородных участков водотоков: расход, ширина, глубина, скорость течения. Эти значения вместе со средними характеристиками водоемов (площадь зеркала, глубина и скорость водообмена между соседними участками) заносятся в гидрологический макет.

Реальные характеристики речных объектов на момент расчета определяются в зависимости от текущего значения расходов воды в створах базовых гидрологических постов по эмпирическим соотношениям, устанавливаемым для каждого региона.

Текущие значения ширины, глубины и скорости течения для водотоков рассчитываются по функциональным зависимостям от величины отношения реального расхода воды к среднемуголетнему расходу $K = Q/Q_{ср}$. Эмпирические коэффициенты для этих зависимостей определяются для рассматриваемой гидрографической сети по данным измерений, проведенных на гидрологических постах. Значения коэффициента K берутся из оперативных гидрологических данных для базового гидрологического поста.

При подготовке гидрологического макета для рек бассейна реки Днепр, протекающих на сопредельной территории Российской Федерации и Республики Беларусь использовались режимные гидрологические данные, полученные на российских и белорусских гидрологических постах, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики постов гидрологических наблюдений сопредельной части бассейна реки Днепр

	№ поста	Населенный пункт	Название реки	Расстояние от истока, км	Расстояние до устья, км	Среднегоголетний расход воды, м³/с
Российские гидропосты						
1	79244	Ускосы	Сож	135	513	12.92
2	79261	Красиловка	Хмара	39.0	43.0	3.48
3	79011	Смоленск	Днепр	410	735	91.52
4	79324	Ущерпье	Ипать	304	133	34.37
5	79335	Лопатни	Унеча	68	24	4.83
Белорусские гидропосты						
6	79036	Речица	Днепр	977	1168	357
7	79033	Жлобин	Днепр	860	1285	198
8	79023	Могилев	Днепр	649	1496	152
9	79018	Орша	Днепр	557	1588	132
10	79250	Славгород	Сож	352	296	109
11	79247	Кричев	Сож	236	412	65,9
12	79259	Гомель	Сож	589	105	201
13	79262	Летяги	Вихра	132	26	14.4
14	79278	Каськово	Проня	146	26	26,0
15	79284	Хильковичи	Бася	6.7	0.4	3,48
16	79308	Светловичи	Беседь	216	51	24,3
17	79330	Добруш	Ипать	405	32	49,1
18	79091	Городище	Друть	152	120	14,9
19	79080	Радьков	Ухлясть	30	18	1,22
20	79268	Чигиринская ГЭС	Остер	242	32	20,8
21	79346	Прибор	Уза	65	16	2.55

Для участков речной сети, для которых отсутствуют данные о среднемноголетних расходах, эти значения $Q_{ср}$ оценивались, исходя из уравнений баланса расхода в узлах речной сети с учетом боковых притоков.

На Рисунках 1 и 2 представлен общий вид гидрологического макета для территории Беларуси.

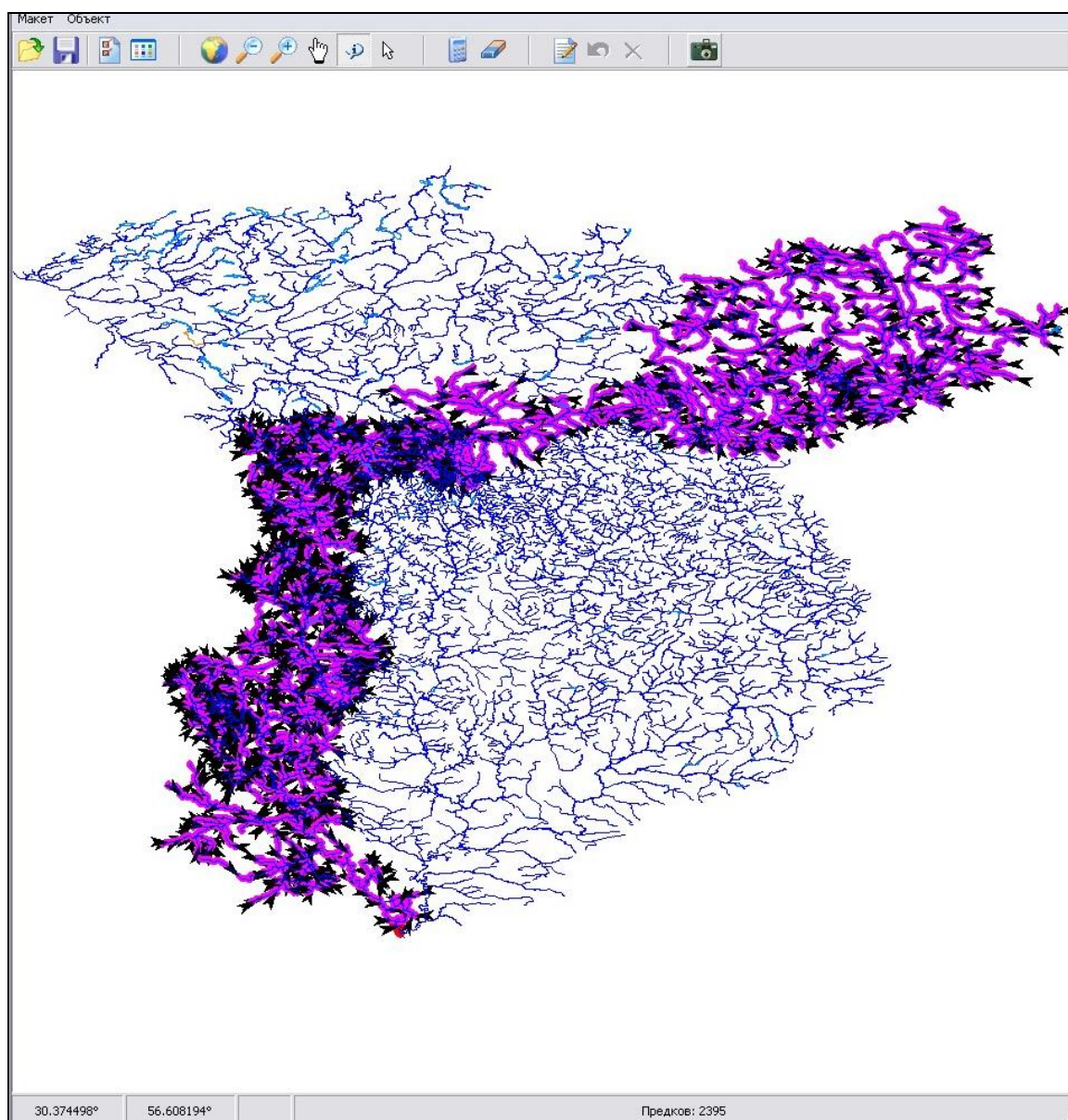


Рисунок 1 - Общий вид гидрологического макета для сопредельной территории Республики Беларусь и европейской территории Российской Федерации. Цветом выделен водосбор реки Днепр (без водосбора реки Сож).

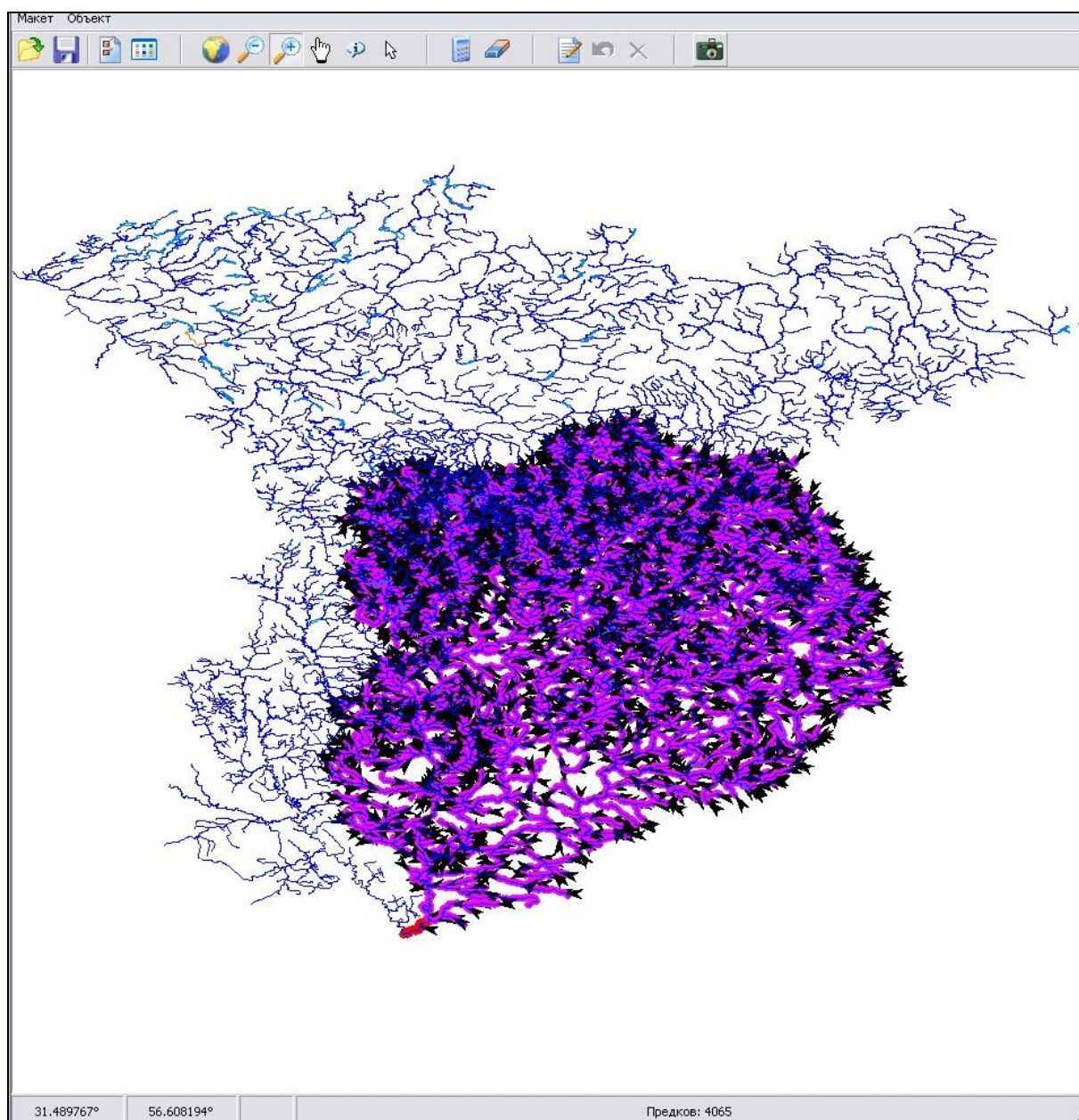


Рисунок 2 - Общий вид гидрологического макета для сопредельной территории Республики Беларусь и европейской территории Российской Федерации. Цветом выделен водосбор реки Сож.

На рисунке 3 показан участок одной из рек в районе. Стрелками показано направление течения на рассматриваемом участке, на предшествующих ему участках рек или водоемов (сиреневые точки) и на следующем участке реки (зеленые точки). В левом окне показаны характеристики отмеченного участка реки.

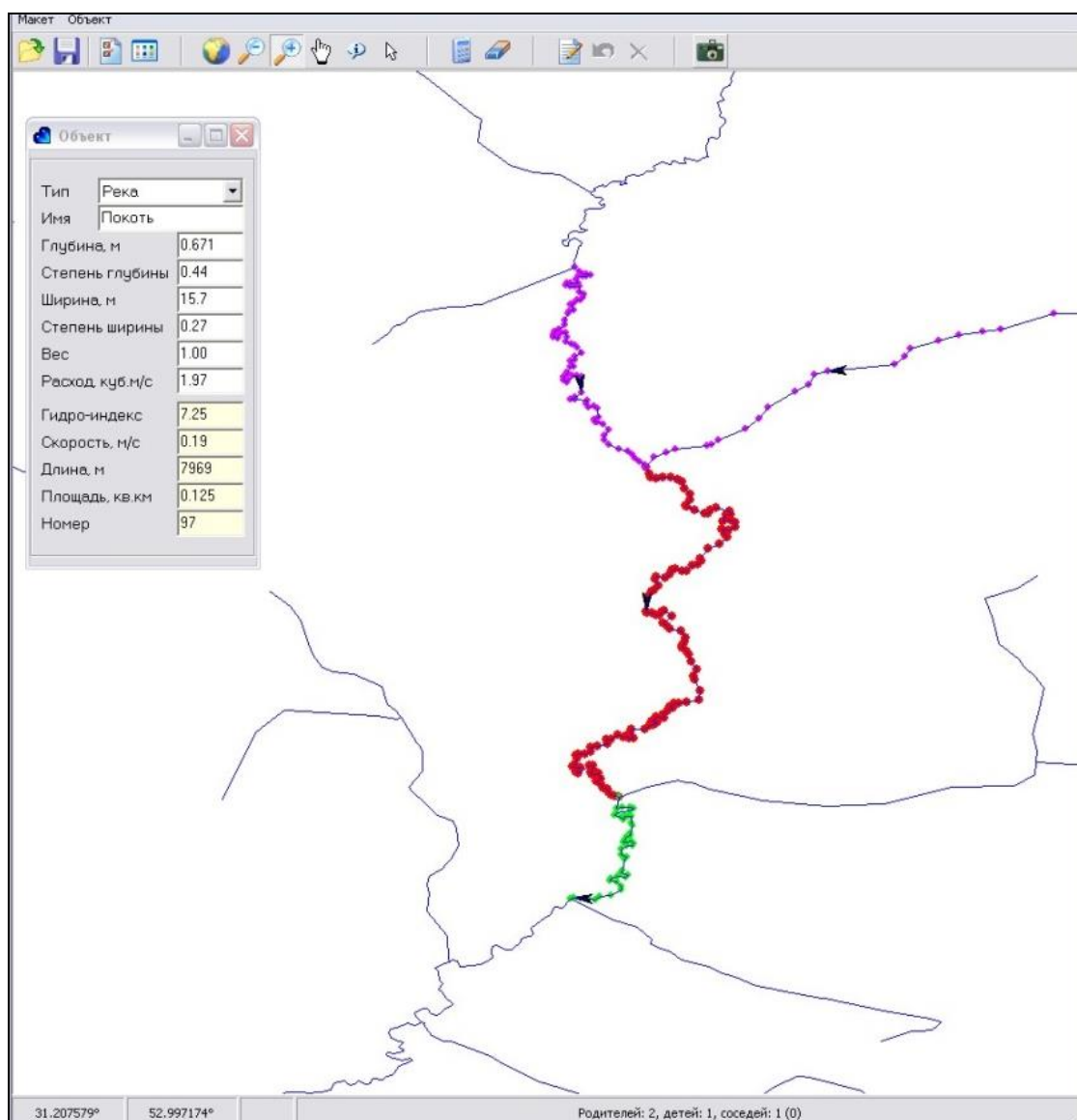


Рисунок 3 – Участок реки Покоть (выделен красными точками). Стрелками показано направление течения. Гидрологические характеристики участка реки приведены в информационном окне слева.

Программа учета оперативных гидрологических данных

Для программ оперативных расчетов аварийных загрязнений поверхностных вод используются данные о текущих расходах или уровнях воды в створах гидрологических постов.

База данных оперативных гидрологических наблюдений "Оперативные Гидрологические данные" (ОГД) создана на основе СУБД Oracle и предназначена для получения и хранения оперативных данных для расчета гидрологических характеристик водных объектов с учетом реальной гидрологической обстановки на момент возможной аварии. Специально разработанная программа производит расшифровку оперативных телеграмм Росгидромета в формате КН-15 и передачу гидрологических данных в ОГД.

ОГД содержит данные о расходах воды, уровнях, гидрометрических и других характеристиках водных объектов. Кроме того, в базу данных заносятся сведения и данные о ледовых явлениях на реках, объемах и уровнях воды в водохранилищах и некоторые другие данные. Все эти данные предполагается использовать в дальнейшем для усовершенствования расчетных программ системы RECASS с целью увеличения достоверности расчетов.

В модуле "Оперативные гидрологические данные" (OperHydroData.exe) производится получение из ОГД оперативных гидрологических данных о расходах воды для базового гидрологического поста и определяется коэффициент изменения фактического расхода воды

по сравнению со среднегодовым (Dischardt_Coeff), который используется для определения основных гидрологических характеристик рек на момент аварии.

Входные данные для работы программы берутся из файла RivNet.rtf. Он содержит название базового гидрологического поста, с которого поступают данные о текущих расходах (уровнях) воды, его географические координаты и пятизначный код.

Информация о средних суточных расходах воды для этого поста Q_{cp} содержится в гидрологическом макете региона. Из базы данных ОГД выбираются данные по ежедневным расходам воды Q за некоторый период времени (3-5 дней), предшествующий дате начала расчетов аварийного загрязнения водных объектов, и выбирается ближайший по времени данные. После определения коэффициента пропорциональности $K=Q/Q_{cp}$, его значение вводится в гидрологический макет и происходит перерасчет всех гидрологических характеристик, содержащихся в нем.

Программа расчета переноса загрязняющих веществ по гидрографической сети

Программная реализация модели переноса загрязняющих веществ в поверхностных водах суши представлена в модуле "Перенос по водоемам" (RivNet.exe).

В гидрологическом модуле реализовано два пути поступления загрязняющих веществ в поверхностные воды - выпадения из атмосферы на поверхность водосбора и прямой пролив в русло реки (канала) или водоем (озеро или водохранилище). Соответственно существуют две расчетные цепочки, которые реализуют различные пути поступления загрязняющих веществ в поверхностные воды. В настоящей работе рассматривается первая цепочка, так как в этом случае загрязнению подвергается большое число участков водных объектов.

В случае атмосферного пути поступления радиоактивных веществ непосредственно на поверхность водных объектов в программе RivNet.exe производится расчет концентрации загрязняющих веществ в гидрографической сети для каждого расчетного интервала времени для всех участков гидрографической сети, подвергшихся загрязнению.

Входные параметры для расчета переноса загрязняющих веществ по гидрографической сети берутся из общих для всей цепочки файлов:

- "Выпадения Концентрации" – Пространственно-временные распределения выпадений радиоактивных веществ, полученные в результате работы программ атмосферного переноса и осаждения на поверхность (Contamination.arg);
- "Гидрологический макет";
- (файл RivNet.rtf), в котором определены коэффициент превышения фактического расхода воды над среднегодовым;
- файл Scenario.rtf;
- SysParm.rtf - дата и время начала аварии, временной шаг моделирования, длительность моделирования.

В комплексе программ гидрологического модуля системы RECALL используется одномерная адвекционно-дисперсионная модель переноса загрязняющих веществ по водотокам и водоемам с учетом их естественного распада до нетоксичных соединений в водной среде.

Для однородных участков водных объектов гидрологической сети используется приближение полного перемешивания.

Выходные данные программы представляют собой файл Contamination.rgs, содержащий значения концентрации радиоактивных веществ для всех участков гидрографической сети, подвергшихся загрязнению для всех расчетных временных интервалов.

Программа подготовки рекомендаций по проведению защитных мероприятий для населения

Для подготовки рекомендаций по проведению защитных мероприятий для населения при аварийных ситуациях на потенциально-опасных объектах, при которых происходит загрязнение гидрографической сети, предназначен программный модуль CM_Water.exe.

В качестве исходных данных в программном модуле CM_Water.exe используются:

1. Сценарий аварии;
2. Пространственно-временные распределения прогнозируемых концентраций

загрязняющих веществ в воде рек и водоемов;

3. Гидрологический макет местности, содержащий гидрологические характеристики водных объектов;

4. Данные о населенных пунктах;

5. Критерии принятия решений по защите населения.

Наборы данных 1-3 являются результатами работы предыдущих модулей расчетной цепочки (модулей подготовки сценария, модуля атмосферного рассеяния, модуля переноса загрязненных масс воды по водным объектам). Данные о населенных пунктах хранятся в Базе Системных Данных RECASS NT.

В качестве защитного мероприятия выбирается ограничение водопользования из открытых источников водоснабжения. Критерием выбора водоема и населенного пункта для проведения защитных мероприятий является превышение нормативного уровня (концентрации) загрязнения в воде водных объектов [3-5].

Результатом работы модуля является текстовые документы CounterMeasures.txt с информацией о населенных пунктах, попавших в зону загрязнения и информацией о превышении допустимых уровней и длительности превышения этих уровней для всех водных объектов, подвергшихся загрязнению. Эта информация используется для выработки рекомендаций по защите населения.

Примеры расчетов аварийного загрязнения поверхностных вод в сопредельных территориях Белоруссии в результате условных аварий

В качестве примеров работы гидрологического модуля с использованием разработанного для бассейна реки Днепр гидрологического макета приведены расчеты по сценарию, подготовленному для условной аварии на Смоленской АЭС. Согласно сценарию в атмосферу в течение 6 часов было выброшено $2,6 \cdot 10^{16}$ Бк радионуклида ^{131}I . Атмосферное выпадение радионуклида ^{131}I произошло на поверхность водных объектов в приграничной территории Россия-Беларусь.

На рисунках 4-9 приведены результаты расчетов. Изолиниями на рисунках 4 и 5 показано распределение интегрального выпадения радионуклида на поверхность земли и речных объектов (через 9 и 24 часа после начала условной аварии). На рисунке 6 показано рассчитанное распределение концентрации ^{131}I (Бк/м³) в водных объектах приграничных районов через сутки после начала условной аварии на Смоленской АЭС. На графиках рисунков 8 и 9 приведено изменение концентрации радионуклида в отдельных населенных пунктах в течение 2 дней после начала аварии.

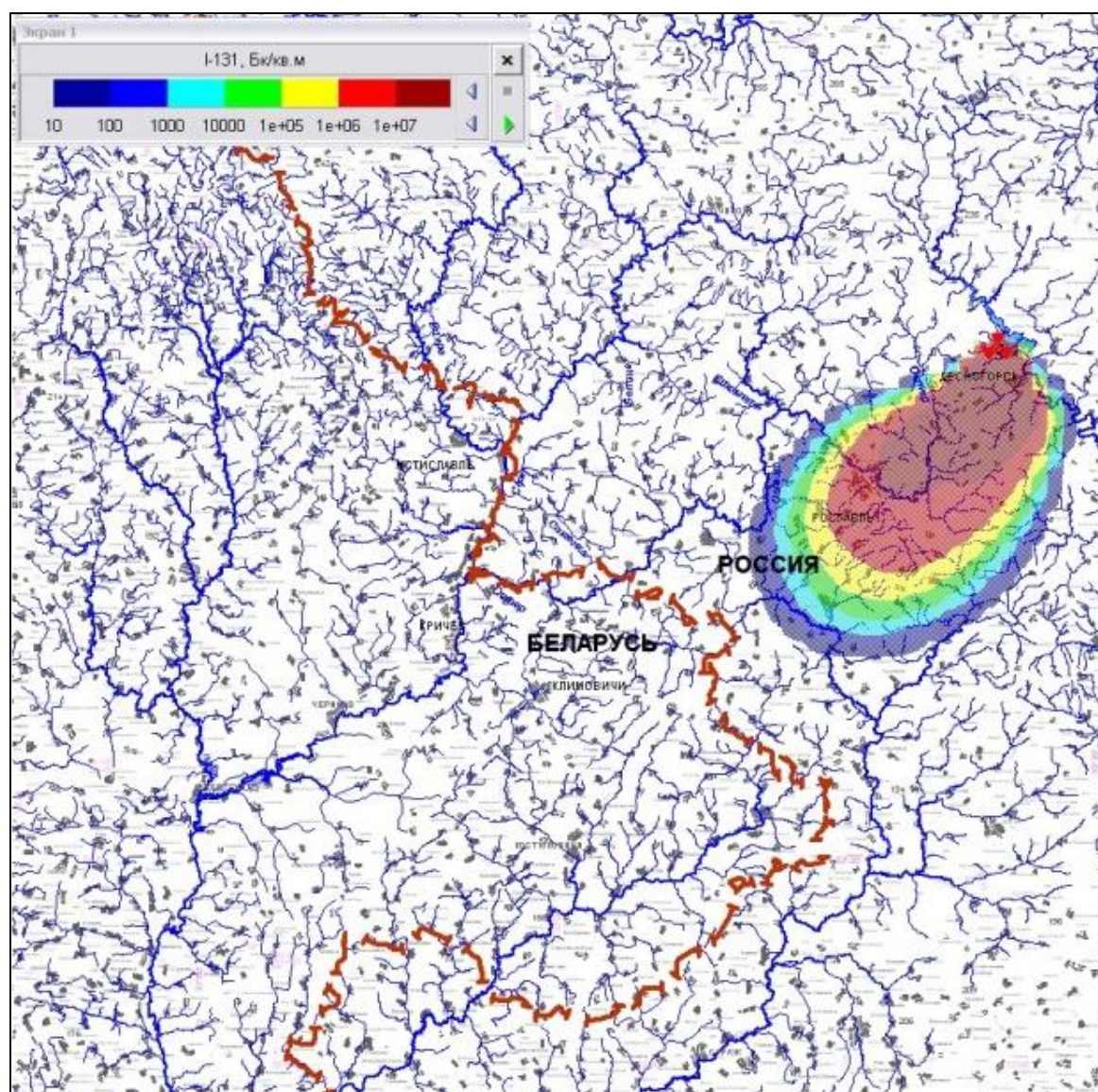


Рисунок 4 - Поверхностная плотность выпадений ^{131}I (Бк/м²) через 9 часов после начала условной аварии на Смоленской АЭС

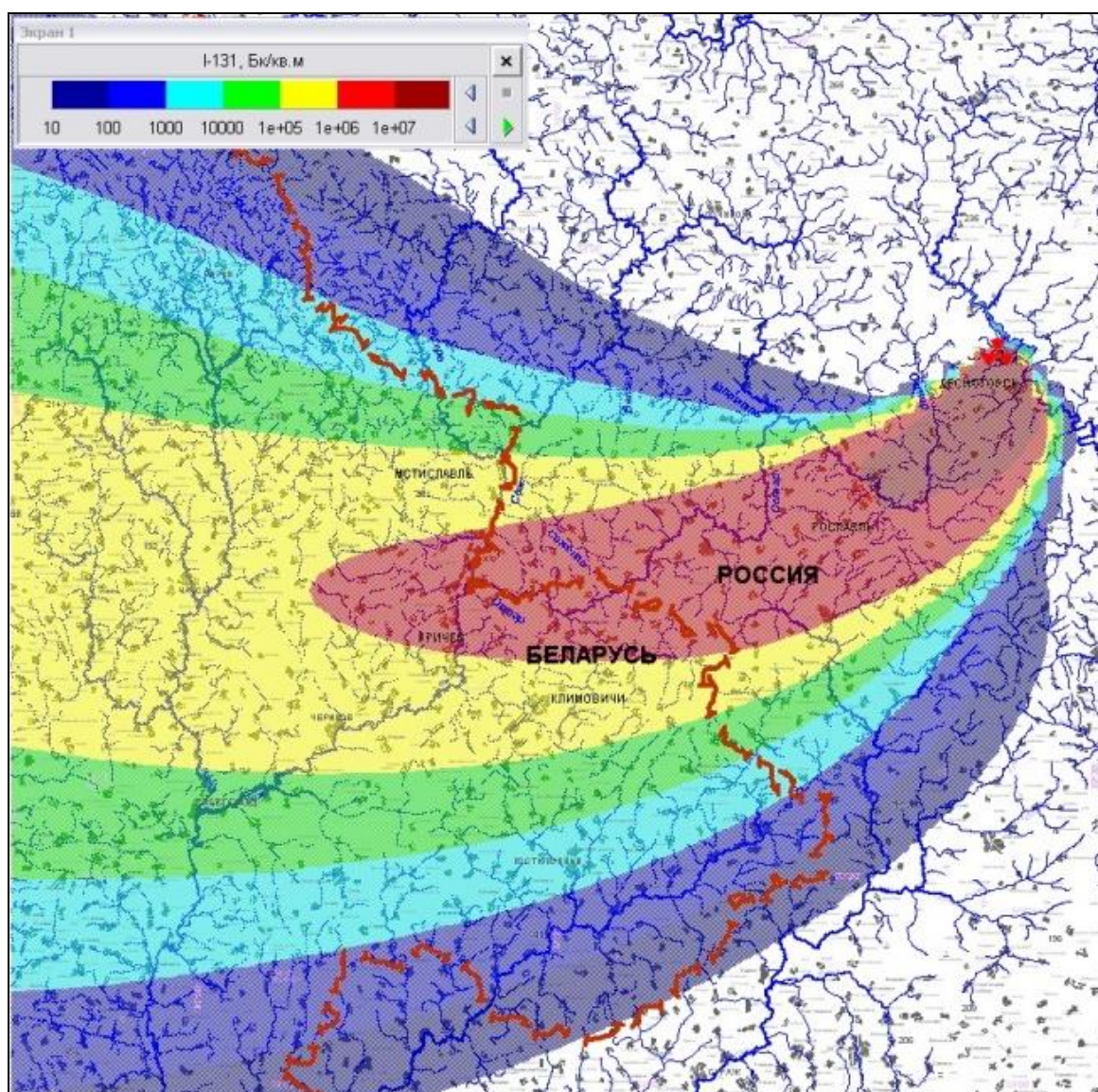


Рисунок 5 - Поверхностная плотность выпадений ^{131}I (Бк/м²) в Смоленской области и в приграничных районах Беларуси через сутки после начала условной аварии.

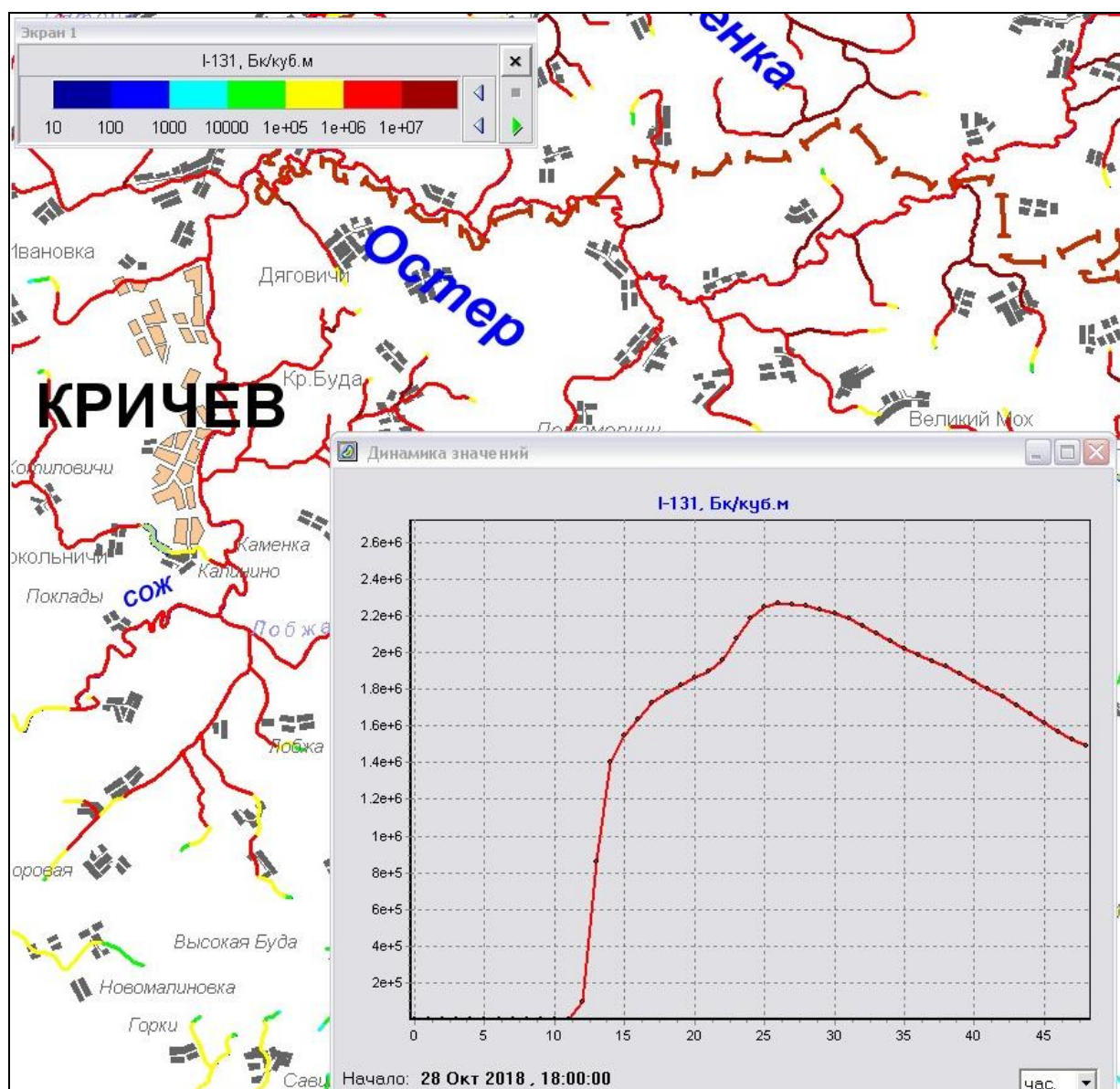


Рисунок 7 - Изменение концентрации ^{131}I в реке Сож в районе г. Кричева.

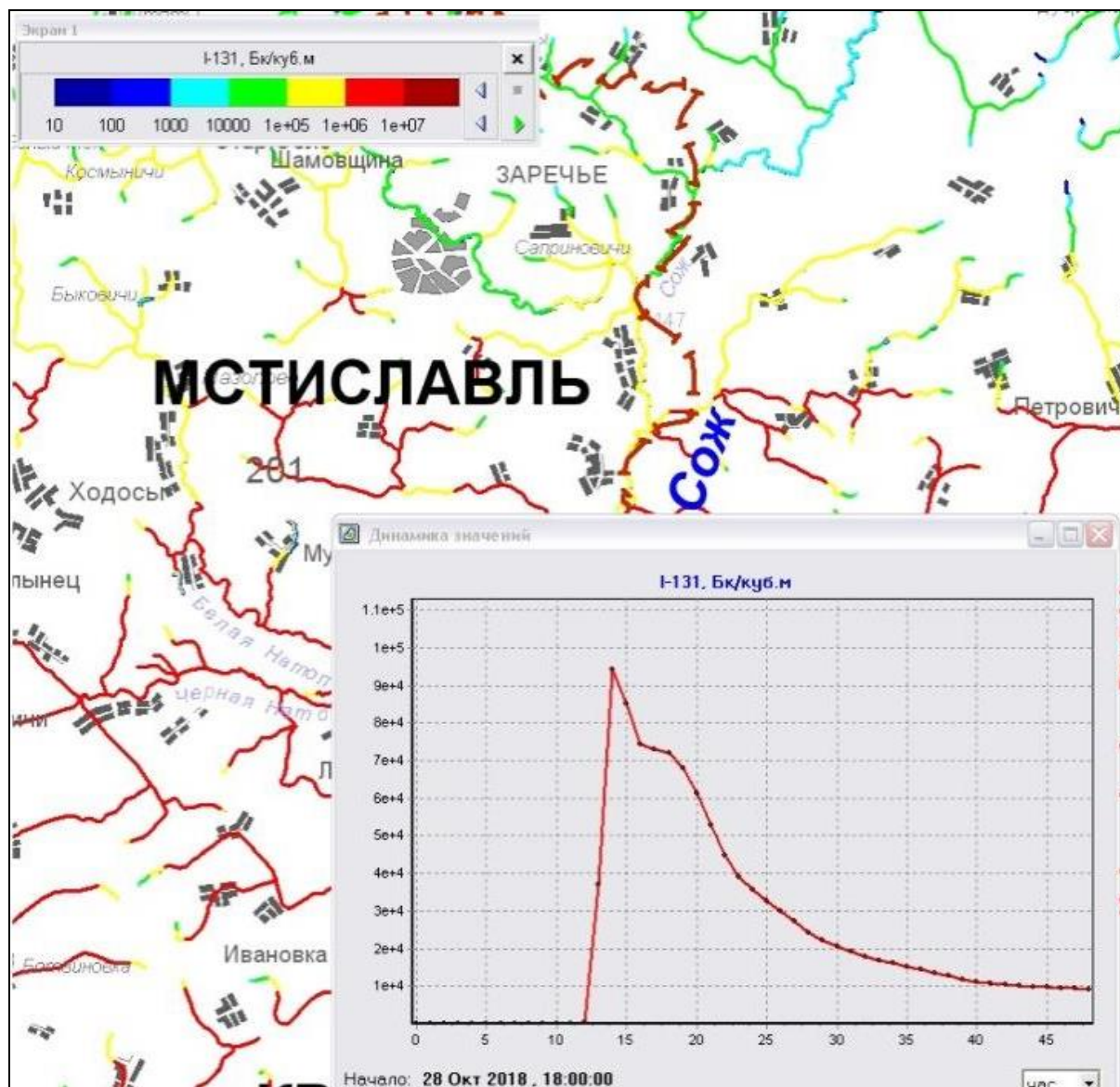


Рисунок 8 - Изменение концентрации ^{131}I в реке Вихра в районе г. Мстиславль (Беларусь).

Список использованных источников

1. Григорьева В.М., Коломеев М.П., Похил А.Ю. Модуль RIVNET системы RECASS для оценки переноса радионуклидов по речной сети. / В сб. Всероссийской научно-практической конференции "Состояние и развитие Единой Государственной Автоматизированной Системы Контроля Радиационной Обстановки на территории Российской Федерации. Обнинск: НПО "Тайфун", 23-25 мая 2001. – 328 с.
2. Система информационной поддержки принятия решений в случае аварийных ситуаций на радиационно и химически опасных объектах, RECASS NT. HydroEditor: Редактор гидрологического макета местности Руководство пользователя, Обнинск, 2004.
3. Производные уровни вмешательства в случае аварий на атомных станциях, методические указания МУ 2.6.1.047-08.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523 – 09.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03.