

А. Р. Гизатуллин, С. В. Павлов, Р. А. Шкундина

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ЗОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЗИМНЕЙ ОЛИМПИАДЫ 2014 ГОДА

Описывается проблема определения промышленных предприятий, негативно воздействующих на водные объекты в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 г. в городе Сочи. *Распределенная обработка и анализ; пространственные данные; цифровая модель рельефа; зона ответственности поста мониторинга; Олимпиада; водосборный бассейн; геоинформационная система*

Строительство олимпийских объектов, дорог и других объектов инфраструктуры при подготовке и проведении XXII зимних Олимпийских и XI зимних Паралимпийских игр в городе Сочи в 2014 году (далее зимней Олимпиады 2014 г.) может привести к дополнительному промышленному загрязнению и истощению природных и в том числе водных ресурсов.

В связи с тем, что окружающая среда является третьим измерением олимпийского движения [2, 3, 8], наравне со спортом и культурой, комплексный мониторинг состояния водных и других природных объектов, позволяющий повысить их защищенность от отрицательного воздействия существующих и вновь строящихся промышленных и спортивных объектов, является важной и необходимой задачей органов государственной власти различных уровней. Для обеспечения органов государственной власти, осуществляющих контроль состояния окружающей среды, своевременной и качественной информацией о воздействии промышленности на окружающую среду, необходимо создание распределенной многоуровневой автоматизированной информационной системы.

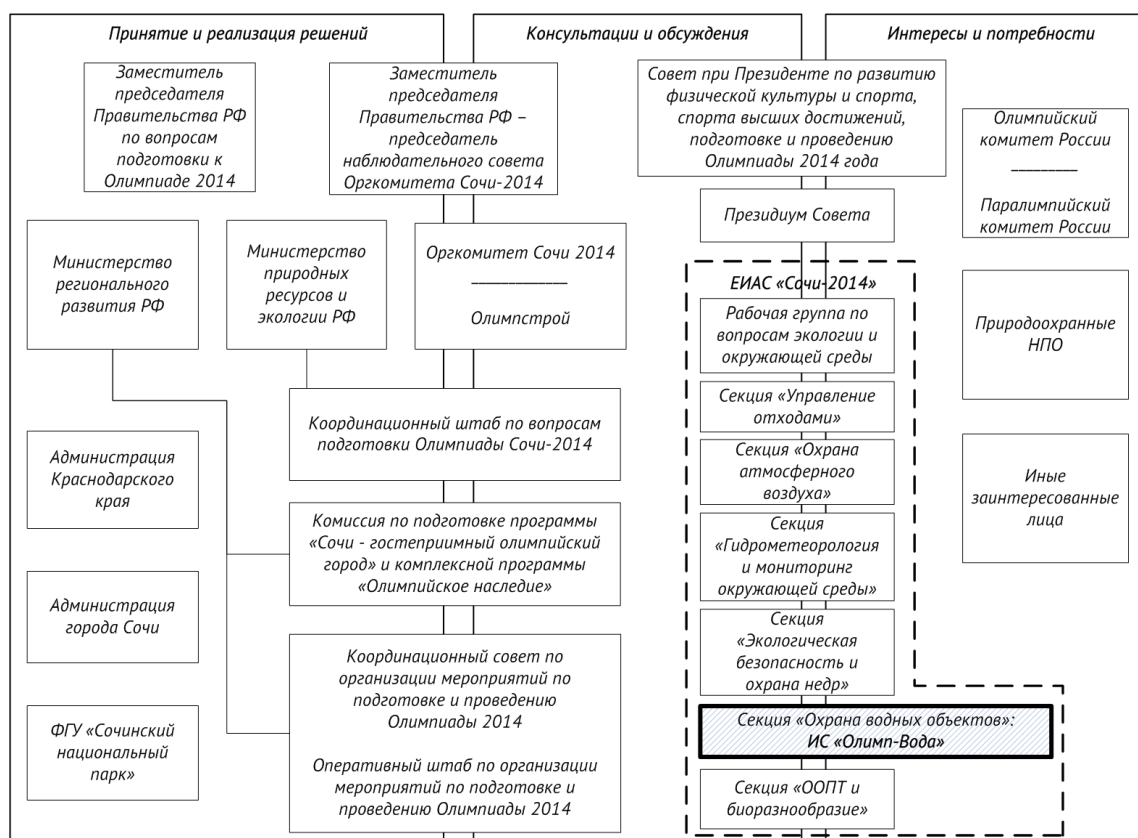
### 1. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЗИМНЕЙ ОЛИМПИАДЫ 2014 Г.

Для анализа воздействия подготовки и проведения зимней Олимпиады 2014 г. на окружающую среду в Российской Федерации создается Единая информационно-аналитическая система «Сочи-2014» (ЕИАС «Сочи-2014»), в состав которой входит геоинформационная

система по оценке воздействия объектов промышленности на водные ресурсы «Олимп-Вода» (ИС «Олимп-Вода») (рис. 1) [4, 5, 10], предназначенная для оказания информационной поддержки принятия решений органам государственной власти.

При управлении водными ресурсами и объектами возникают сложные информационные потоки, связывающие объекты и субъекты управления. Объектом управления являются водные объекты и промышленные предприятия в зоне проведения зимней Олимпиады-2014 (рис. 2). Субъектом управления являются органы государственной власти, осуществляющие государственные функции управления водными ресурсами и охраны окружающей среды, на основе информации о состоянии водных ресурсов (стрелка 1) и соответствующих нормативных документов (стрелка 7).

Промышленные предприятия воздействуют на те или иные показатели состояния водных ресурсов и объектов, при этом водные ресурсы в свою очередь, изменяясь под воздействием промышленных предприятий, оказывают на них непосредственное влияние (происходит снижение качества вод, изменяется расход воды в водных объектах, снижается количество поступающих водных ресурсов) (стрелки 3, 4 на рис. 2). Измерение характеристик состояния водных объектов осуществляется на постах мониторинга (гидрологического, гидрохимического или микробиологического), принадлежащих Росгидромету и Кубанскому бассейновому водному управлению (БВУ), и после некоторой обработки передается в ИС «Олимп-Вода» (рис. 3), а затем в ЕИАС «Сочи-2014».



**Рис. 1.** Место ИС «Олимп-Вода» в информационном обеспечении для организации поддержки принятия решений при подготовке и проведении зимней Олимпиады 2014 г.

Лицо, принимающее решение, (субъект управления), использует информацию о состоянии водных объектов в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 и может оценить воздействие промышленных предприятий на водные ресурсы. При ухудшении экологической ситуации субъектом управления может быть принято решение об ограничении доступа промышленных предприятий к водным ресурсам с целью снижения негативного воздействия, также могут быть утверждены и проведены мероприятия, непосредственно воздействующие на водные объекты (такие как очистка дна от отложений, строительство гидротехнических сооружений – ГТС) (стрелки 2, 5, рис. 2). Уполномоченные сотрудники различных ведомств на основе аналитической информации, получаемой из ИС, могут рекомендовать законодательным и исполнительным органам власти внести изменения в нормативно-правовое обеспечение, которое непосредственно затрагивает сферу защиты водных ресурсов в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 г.

Информационная система «Олимп-Вода» используется для оказания информационной поддержки принятия решений сотрудниками

Центрального аппарата Федерального агентства водных ресурсов [6] и Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Кубанского бассейнового водного управления и его территориальных отделов (рис. 4) и позволяет значительно улучшить планирование и деятельность в области экологического сопровождения зимней Олимпиады 2014 г. за счет решения следующих классов задач:

- моделирование природных и техногенных процессов: определение зон затопления при подъеме воды на водных объектах; распространение загрязняющих веществ по водным объектам;
- аналитическая обработка и графическое отображение атрибутивных данных о состоянии водных объектов (гидрологических и гидрохимических характеристик);
- пространственная привязка, обработка и отображение атрибутивных данных: мест возникновения чрезвычайных ситуаций, размещения пунктов мониторинга водных объектов, водопользователей и др.;
- пространственный анализ и обработка картографических данных: построение водосборных бассейнов.



Рис. 2. Схема управления водными ресурсами в Российской Федерации

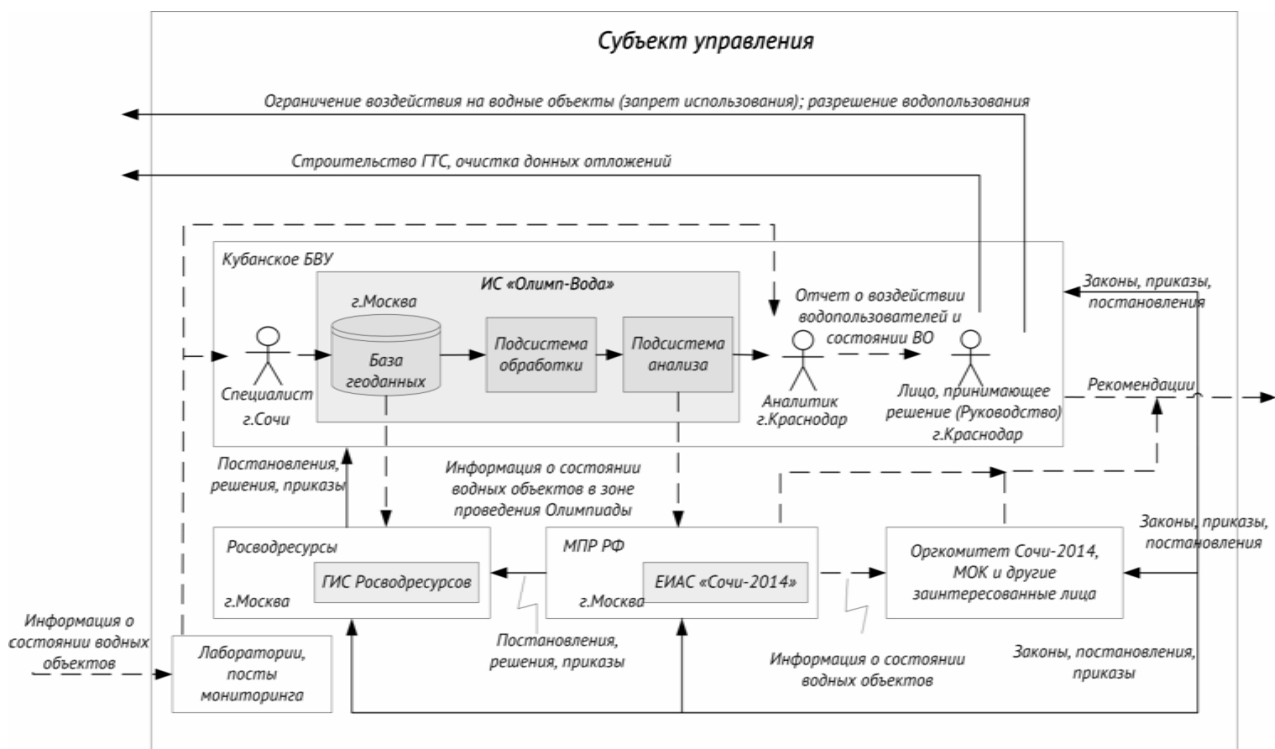


Рис. 3. Детализация функций субъекта управления

Для решения данных задач предлагается метод аналитической обработки, пространственного анализа картографической и атрибутивной информации о воздействии на состояние водных объектов на примере определения промышленных предприятий, негативно воздействующих как на водные ресурсы в целом, так и на водные объекты в частности.

## 2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НЕГАТИВНО ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Рассмотрим промышленные предприятия, негативное воздействие которых на водные объекты в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 года заключается в поверхностном стоке загрязняющих веществ в водные объекты. Обозначим информацию о местах размещения промышленных предприятий на территории города Сочи

$$P = \{p_i\} = \{((x^{p_i}, y^{p_i}), A^{p_i})_i\}, i = \overline{1, n^p}, \quad (1)$$

где  $n^p$  – количество предприятий;  $(x^{p_i}, y^{p_i})$  – координаты, описывающие местоположение  $i$ -го предприятия в пространстве;  $A^{p_i}$  – множество атрибутивных характеристик  $i$ -го предприятия, которое описывается

$$A^{p_i} = \{a_1^{p_i}, a_2^{p_i}, a_3^{p_i}, B^{p_i}\}, \quad (2)$$

где  $a_1^{p_i}$  – наименование  $i$ -го предприятия,  $a_2^{p_i}$  – идентификационный номер налогоплательщика  $i$ -го предприятия,  $a_3^{p_i}$  – ведомственная принадлежность  $i$ -го предприятия,  $B^{p_i} = \{b_n^{p_i}\}$  – множество загрязняющих веществ, которые могут быть сброшены  $i$ -м предприятием в водный объект, при этом  $B^{p_i}$  является подмножеством всех загрязняющих веществ  $B$ .

Контроль состояния водных объектов осуществляется на постах мониторинга, которые можно представить в виде множества пространственных объектов

$$M = \{m_j\} = \{((x^{m_j}, y^{m_j}), A^{m_j})_j\}, j = \overline{1, l}, \quad (3)$$

где  $l$  – количество постов,  $(x^{m_j}, y^{m_j})$  – координаты, описывающие местоположение  $j$ -го поста мониторинга в пространстве;  $A^{m_j}$  – множество атрибутивных характеристик  $j$ -го поста, такое что

$$A^{m_j} = \{a_1^{m_j}, a_2^{m_j}, R^{m_j}\}, \quad (4)$$

где  $a_1^{m_j}$  – наименование  $j$ -го поста мониторинга,  $a_2^{m_j}$  – идентификационный код  $j$ -го поста

мониторинга,  $R^{m_j} = \{r^{m_j}\}$  – все значения измерений всех контролируемых показателей (концентраций загрязняющих веществ) на  $j$ -м посту мониторинга.

Пусть  $r_{kt}^{m_j}$  – значение измерения  $k$ -го показателя в момент времени  $t$  на  $j$ -м посту, тогда

$$r_{kt}^{m_j} = b_k^{m_j}(t_k^{m_j}), \quad (5)$$

где  $b_k^{m_j}$  – контролируемый  $k$ -й показатель ( $k$ -е загрязняющее вещество, которое контролируется на посту мониторинга), при этом  $b_k^{m_j} \in B$ ;  $t_k^{m_j}$  – дата измерения  $k$ -го показателя на  $j$ -м посту.

Для каждого контролируемого показателя имеется нормативное (допустимое) значение (например, предельно допустимая концентрация) –  $\varphi$ , которое не зависит от поста мониторинга и является функцией от загрязняющего вещества:

$$\begin{aligned} \varphi(b_k) &= \varphi(b_k^{m_1}) = \varphi(b_k^{m_2}) = \\ &= \varphi(b_k^{m_{\dots}}) = \varphi(b_k^{m_l}) = \text{const}. \end{aligned} \quad (6)$$

Пусть  $\varepsilon(r_{kt}^{m_j})$  – индикаторная функция превышения значения измерения в момент времени  $t$  показателя  $b_k^{m_j}$  над нормативным (допустимым) значением  $\varphi(b_k)$ :

$$\varepsilon(r_{kt}^{m_j}) = \begin{cases} 1, & \text{если } r_{kt}^{m_j} \geq \varphi(b_k); \\ 1, & \text{если } r_{kt}^{m_j} < \varphi(b_k). \end{cases} \quad (7)$$

Поскольку питание любого водного объекта поверхностными водами осуществляется с ограниченной территории (называемой водосборным бассейном), замкнутой на устье, то непосредственное воздействие на водный объект, связанное с переносом загрязняющих веществ в растворенном виде вместе с поверхностными водами, могут оказывать только те промышленные предприятия, которые расположены в пределах области водосборного бассейна [1]. Однако контроль состояния водных объектов на постах мониторинга осуществляется не в устьях рек, а в некоторых створах, разделяющих бассейн реки на несколько подбассейнов, каждый из которых является «зоной ответственности» конкретного поста мониторинга, поэтому необходимо решить задачу однозначной принадлежности промышленного предприятия определенной «зоне ответственности» конкретного поста мониторинга водного объекта.

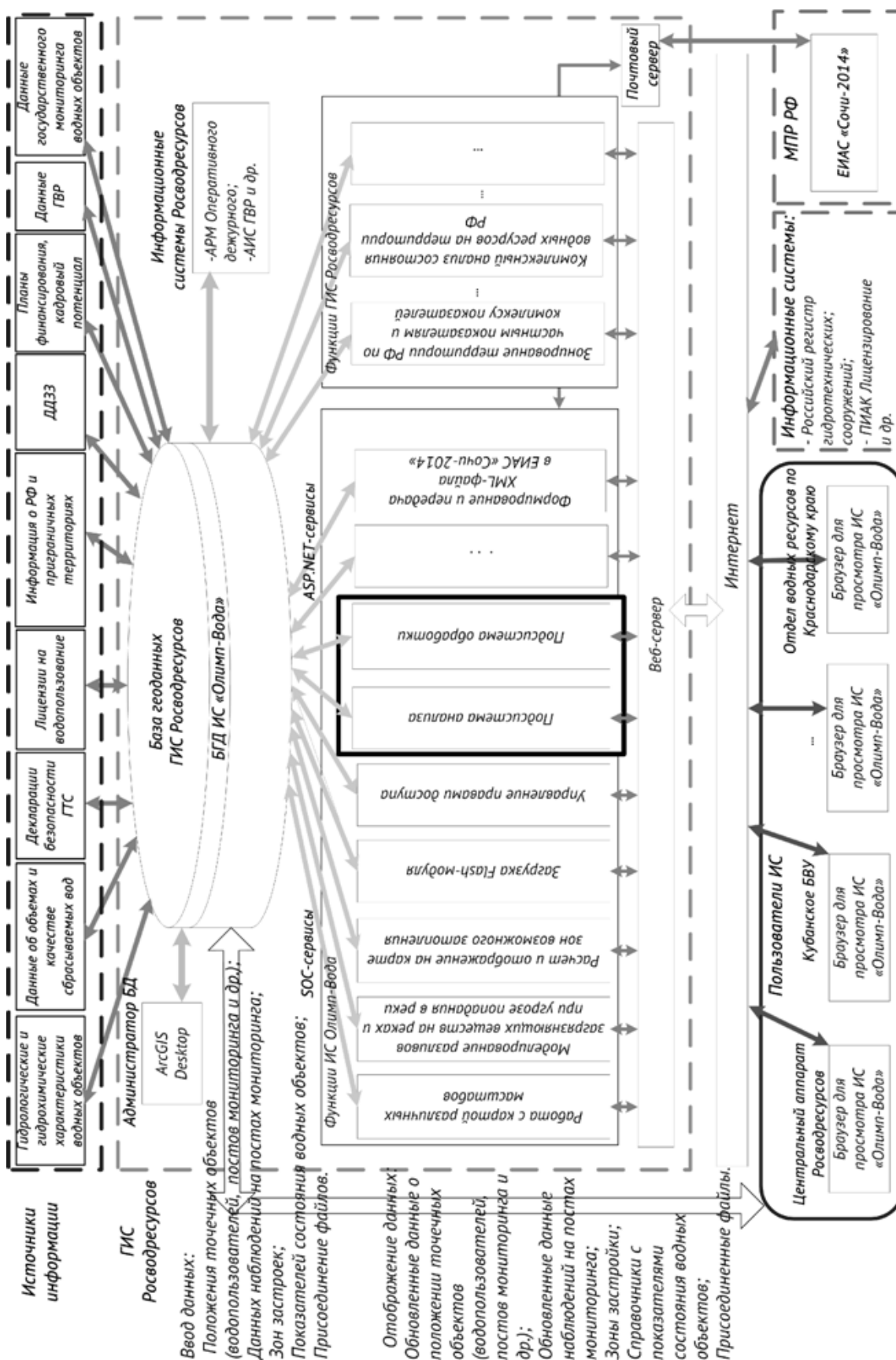
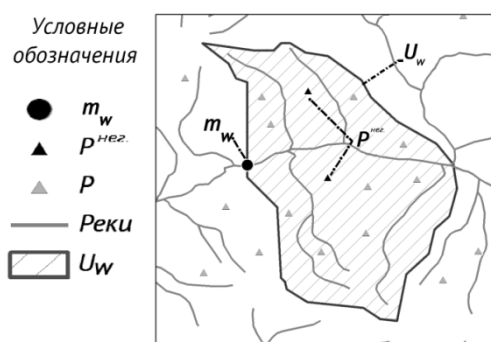


Рис. 4. Архитектура информационной системы «Олимп-Вода»

Обозначим множество «зон ответственности» постов мониторинга  $U = \{U_s\}, s = \overline{1, l}$ , где  $l$  – количество постов. Поскольку каждый бассейн поста мониторинга представляет собой некоторое подмножество точек пространства, представленных в виде пар координат, то  $U_s = \{(x^U, y^U)\}_s$ , следовательно, можно однозначно определить подмножество промышленных предприятий, входящих в «зону ответственности» конкретного поста мониторинга (рис. 5). Таким образом, промышленное предприятие  $p_0$  расположено в «зоне ответственности»  $U_w \subset U$  поста мониторинга  $m_w$ , если выполняется условие  $(x^{p_0}, y^{p_0}) \in U_w$ .



**Рис. 5.** Схема определения принадлежности промышленных предприятий «зоне ответственности» поста мониторинга в картографической форме

Таким образом, подмножество промышленных предприятий  $P^{нег} \subset P$ , которые могли произвести негативное воздействие на водные объекты, путем несанкционированного или аварийного сброса загрязняющего вещества –  $b_k$  (превышение значения которого над нормативным зарегистрировано в момент в времени  $t$  на посту  $m_w$ ), и расположенных в пределах «зоны ответственности»  $w$ -го поста, представляет собой:

$$P^{нег} = \{p_i \mid (b_k^{m_w} \in B^{p_i}) \wedge (\epsilon(r_{kt}^{m_w}) = 1) \wedge \wedge ((x^{p_i}, y^{p_i}) \in U_w)\}. \quad (8)$$

### 3. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕЧНЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОВЕРХНОСТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В «ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ» КОНКРЕТНОГО ПОСТА МОНИТОРИНГА

Для определения перечня промышленных предприятий, осуществляющих поверхностное загрязнение водных объектов в «зоне ответственности» конкретного поста мониторинга, необходима обработка и анализ пространственных данных: цифровой модели рельефа, множества картографических объектов – постов мониторинга, информации о показателях загрязнения водных объектов, включающей нормированные значения (например, предельно допустимые концентрации), атрибутивных данных о промышленных предприятиях (координаты, названия предприятий, идентификационные номера налогоплательщиков, ведомственная принадлежность, перечень загрязняющих веществ, которые могут быть выброшены в водные объекты), а также информации о текущем состоянии водных объектов с постов мониторинга [7, 9]. В начале алгоритма из атрибутивных данных, представленных в виде таблицы, формируются географические объекты – промышленные предприятия (используя имеющуюся информацию в виде пространственных координат долготы и широты). Затем на основе анализа цифровой модели рельефа производится выделение «зон ответственности» постов мониторинга, после чего определяются загрязняющие вещества, значения измерений которых вышли за пределы допустимых. Далее формируется перечень промышленных предприятий, которые могли воздействовать на превышение нормативного значения показателей в «зоне ответственности» конкретного поста мониторинга, то есть предприятия, оказывающие негативное воздействие на водные объекты. На основе данного алгоритма, представленного на рис. 6, разработано программное обеспечение, реализующее расчет и представление в картографической форме промышленных предприятий, осуществляющих поверхностное загрязнение водных объектов в «зоне ответственности» конкретного поста мониторинга.

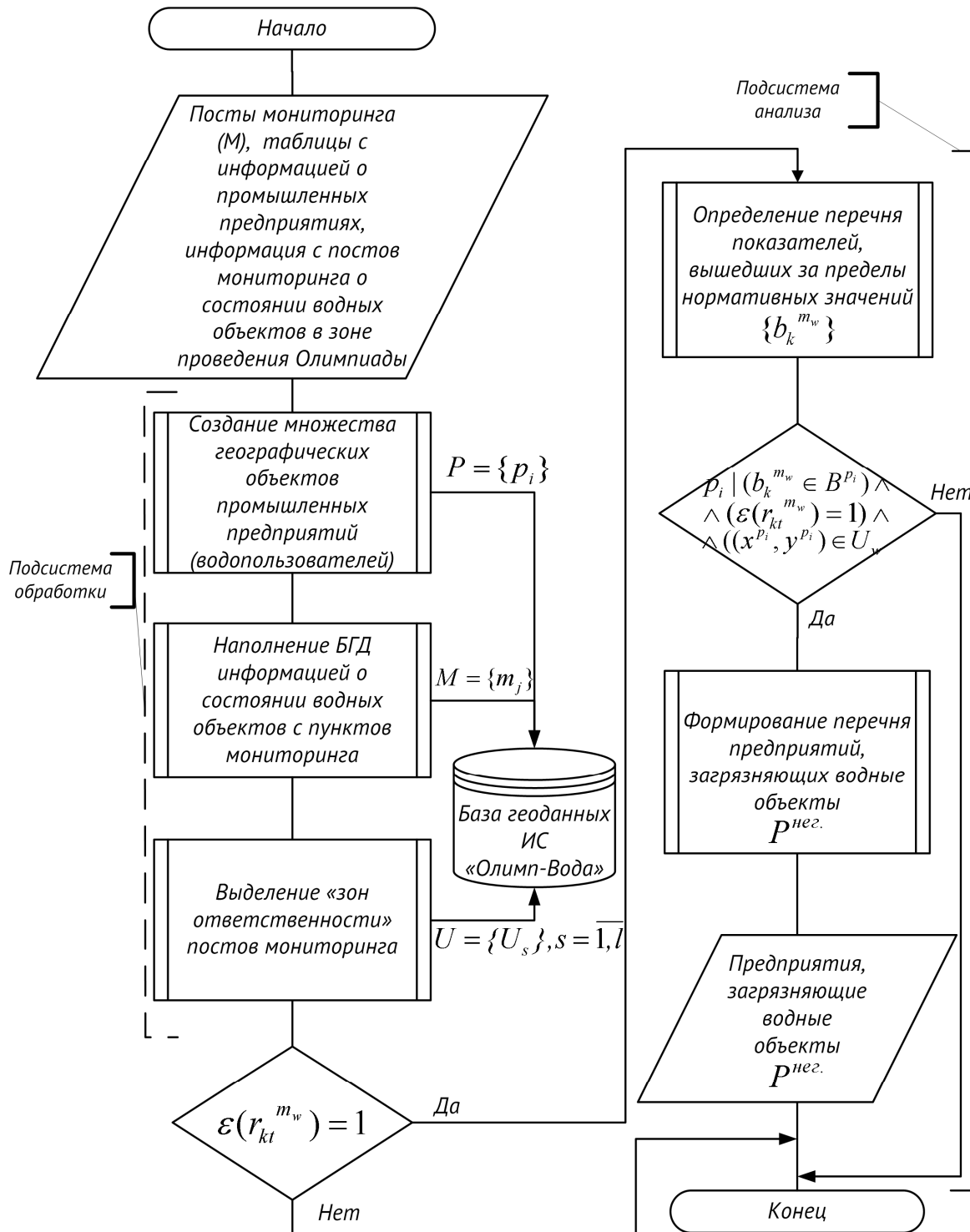


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения промышленных объектов, воздействующих на водные объекты в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье решена задача определения промышленных предприятий, негативно воздействующих на водные объекты в зоне проведения зимней Олимпиады 2014 г., на основе распределенной обработки и анализа информации о местах размещения и характеристиках предприятий. Для этого предложен метод, основанный на идентификации предприятий, которые сбрасывают загрязняющие вещества в водные объекты в «зоне ответственности» конкретного поста мониторинга, разработаны алгоритм и программное обеспечение для реализации предложенного метода, которые составляют основу представления сведений о состоянии водных ресурсов в зоне проведения Олимпийских игр Сочи-2014 – ИС «Олимп-Вода».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гизатуллин А. Р.** Построение водосборных бассейнов рек Республики Башкортостан // Информатика, управление и компьютерные науки. Т. 1. Сб. ст. 3-й Всерос. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых, 20–23 февраля 2008. Уфа: Диалог, 2008. С.394-398.
2. Олимпийская хартия. Международный олимпийский комитет. Лозанна, Швейцария – 2007 г.
3. Официальный сайт оргкомитета XX олимпийских зимних игр в Турине 2006 г. [Электронный ресурс] (<http://www.torino2006.it>).
4. Официальный сайт оргкомитета XXII Олимпийских и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в городе Сочи. [Электронный ресурс] (<http://www.sochi2014.com>).
5. **Павлов С. В., Гизатуллин А. Р., Шкундина Р. А.** Применение ГИС-технологий для мониторинга состояния водных объектов в зоне проведения Олимпиады Сочи-2014 (на примере ИС «Олимп-Вода») // Материалы XV конференции пользователей ESRI в России и странах СНГ, Москва [Электронный ресурс] 1 электрон. опт. диск. 2009.
6. **Павлов С. В., Хамитов Р. З., Никитин А. Б.** Создание геоинформационной системы Федерального агентства водных ресурсов // ArcReview «Современные геоинформационные технологии». М., 2005. С. 6–7.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.04.2007 г. № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра».
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2007 г. № 991 (ред. от 26.02.2009) «О программе строительства олимпий-

ских объектов и развития города Сочи как горно-климатического курорта».

9. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 22.08.2007 г. № 216 «Об утверждении правил оформления государственной регистрации в государственном водном реестре договоров водопользования, решений о предоставлении водных объектов в пользование, перехода прав и обязанностей по договорам водопользования, прекращения договоров водопользования».

10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.10.2008 г. № 1485-р «О программе мероприятий по экологическому сопровождению подготовки и проведения XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в г. Сочи».

## ОБ АВТОРАХ



**Гизатуллин Артур Римович**, асп. каф. геоинф. систем. Дипл. инж. по инф. системам и технологиям (УГАТУ, 2007).



**Павлов Сергей Владимирович**, проф., зав. той же каф. Дипл. математик по вычисл. матем. (БГУ, 1977). Д-р техн. наук (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. обработки пространств. данных.



**Шкундина Роза Александровна**, доц. той же каф. Дипл. магистр по инф. сист. в экономике (УГАТУ, 2002). Канд. техн. наук по сист. анализу, управл. и обраб. инф. (УГАТУ, 2006).