

УДК 681.324:354(478)+504.062

НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*Доктора техн. наук, профессора ВОЙТОВ И. В., ГАТИХ М. А.,
кандидаты техн. наук ЛИС Л. С., РЫБАК В. А.*

*Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь,
Белорусский институт системного анализа,
Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси,
Академия управления при Президенте Республики Беларусь*

В настоящее время в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 26 марта 2007 г. № 136 «О государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 годы» и постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 апреля 2007 г. № 523 «Об утверждении Плана реализации Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг.» (ГПИР РБ) в Беларуси реализуется Государственная программа инновационного развития, в основу которой положен План реализации ГПИР РБ на 2007–2010 гг. [1].

Научно-инновационное и научно-техническое обеспечение, разработка инновационных проектов для усовершенствования технологических процессов на основе НИР и НИОКР, научно обоснованная оценка и управление эколого-экономической эффективностью рационального природопользования и охраной окружающей среды (ОС) – один из важных этапов инновационной деятельности и инновационного развития отраслей экономики Республики Беларусь [2, 3].

В данной статье изложены только принципы нового инновационного подхода к проблеме управления качеством природных сред, основанного на структурно-алгоритмическом анализе, оценке управления основными компонентами ОС с достаточным количеством ссылок на научно-техническую литературу, в которой приведено необходимое информационно-аналитическое обеспечение для решения соответ-

ствующих проблемных задач [4–7]. Реализация проекта предполагается научными коллективами Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Белорусского института системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы, Академии управления при Президенте Республики Беларусь, Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь.

Современные тенденции эколого-экономического развития многих стран требуют пристального внимания к проблемам сохранения качества окружающей среды. Одно из важных решений таких задач связано с разработкой методов оценки и управления экологическим состоянием природных компонентов, их возможной трансформации под воздействием все нарастающих технологических нагрузок. В связи с этим в отечественной и зарубежной литературе много работ посвящено вопросам методологии природоохранной деятельности, различающихся как методами анализа и оценок состояния ОС, так и практическими задачами для решения данной глобальной проблемы [4–27].

Одним из первых этапов создания информационной технологии оценки и управления качеством ОС была разработка автоматизированной информационно-аналитической системы (ИАС) формирования и ведения информационного обеспечения в составе кадастровых и других баз данных, отражающих природно-ресурсный потенциал (ПРП) административ-

ных территорий (ИАС «Кадастры»), разработка которых закреплена за Минприроды Республики Беларусь, включая и создание ИАС «Кадастры» [5]. ИАС предназначена только для поддержки принимаемых решений, а само управление должно базироваться с учетом государственных интересов.

На рис. 1 изображена функциональная структура информационно-аналитической системы анализа, оценки и управления качеством основных природных компонентов ОС.

Представленные здесь функциональные блоки осуществляют программно-аналитическую, пользовательскую, методологическую и техническую связь между объектами автоматизации (территории, ПРП) и другими компонентами автоматизированной информационной системы: информационным обеспечением в виде многоцелевой базы данных (МБД), аналитическими блоками, основными подсистемами, пользователями и потребителями результатов создаваемой ИАС.

Программное обеспечение (ПО) для реализации всех функций создаваемой системы сформулировано в виде отдельных подсистем оформленного в виде единой программной среды (пользовательской оболочки) открытого модульного типа. Каждую из подсистем можно дорабатывать, углублять, дополнять отдельными функциями в зависимости от предметного содержания ИО и комплекса решаемых задач. На данном этапе в составе ПО предусмотрены следующие подсистемы:

1) формирования и ведения многоцелевой базы кадастровой, оперативной и другой информации;

2) организации сбора, обработки и управления кадастровой и другой информацией для целей анализа и оценки экологического состояния основных природных сред;

3) формирования и ведения метаданных об источниках информации, организациях – разработчиках кадастров, структуры и состава МБД;

4) многомерного анализа данных для оценки состояния ПРП и поддержки принимаемых решений в области природоохранной деятельности;

5) отображения и выдачи данных о состоянии ПРП в административных регионах на основе ГИС-технологии.

Наиболее важным блоком в составе ИАС является также блок информационно-аналитического обеспечения реализации функций системы. Основные расчетные зависимости для оценки экологического состояния административных районов Республики Беларусь представлены на алгоритмической схеме (рис. 2).

Для широкой проверки и отработки всех показателей в составе индексов $I_{ПЭП}$, $I_{ХО}$, коэффициентов K_p и $m_{ЭС}$ (индекс природно-экологического потенциала, индекс хозяйственной освоенности, коэффициенты экологической раздробленности и меры экологической сопряженности соответственно) были выбраны 12 административных районов в географических регионах Беларуси: юго-западном, северном, центральном и юго-восточном. В качестве техногенных нагрузок учитывались промышленная, сельскохозяйственная, транспортная и демографическая [7].

В рамках решения проблемы анализа, оценки и управления качеством ОС наиболее значимым является информационно-аналитическое обеспечение эколого-экономической оценки состояния природно-ресурсного потенциала (ЭЭОС ПРП) административных территорий, включающее необходимое количество расчетных уравнений, информацию об источниках воздействия на природные среды и алгоритмическую схему последовательности оценок основных показателей ЭЭОС ПРП. На рис. 3 представлена алгоритмическая схема расчета обобщенных показателей состояния природно-территориальных комплексов (ПТК) административных территорий, включающая в себя ранговые оценки экологического состояния ПТК и расчетные формулы для оценки условий проживания населения на административных территориях (АТ).

Для упрощения управления качеством природных сред должны быть выбраны такие показатели, которые адекватно отображали бы сравнительную оценку их экологического состояния, отличались простотой в измерении и реализации и были общепринятыми в сфере природоохранной деятельности. В качестве таких показателей в [17, 19] рекомендуется индексный подход, который широко используется и оправдал себя, например в Российской Федерации.

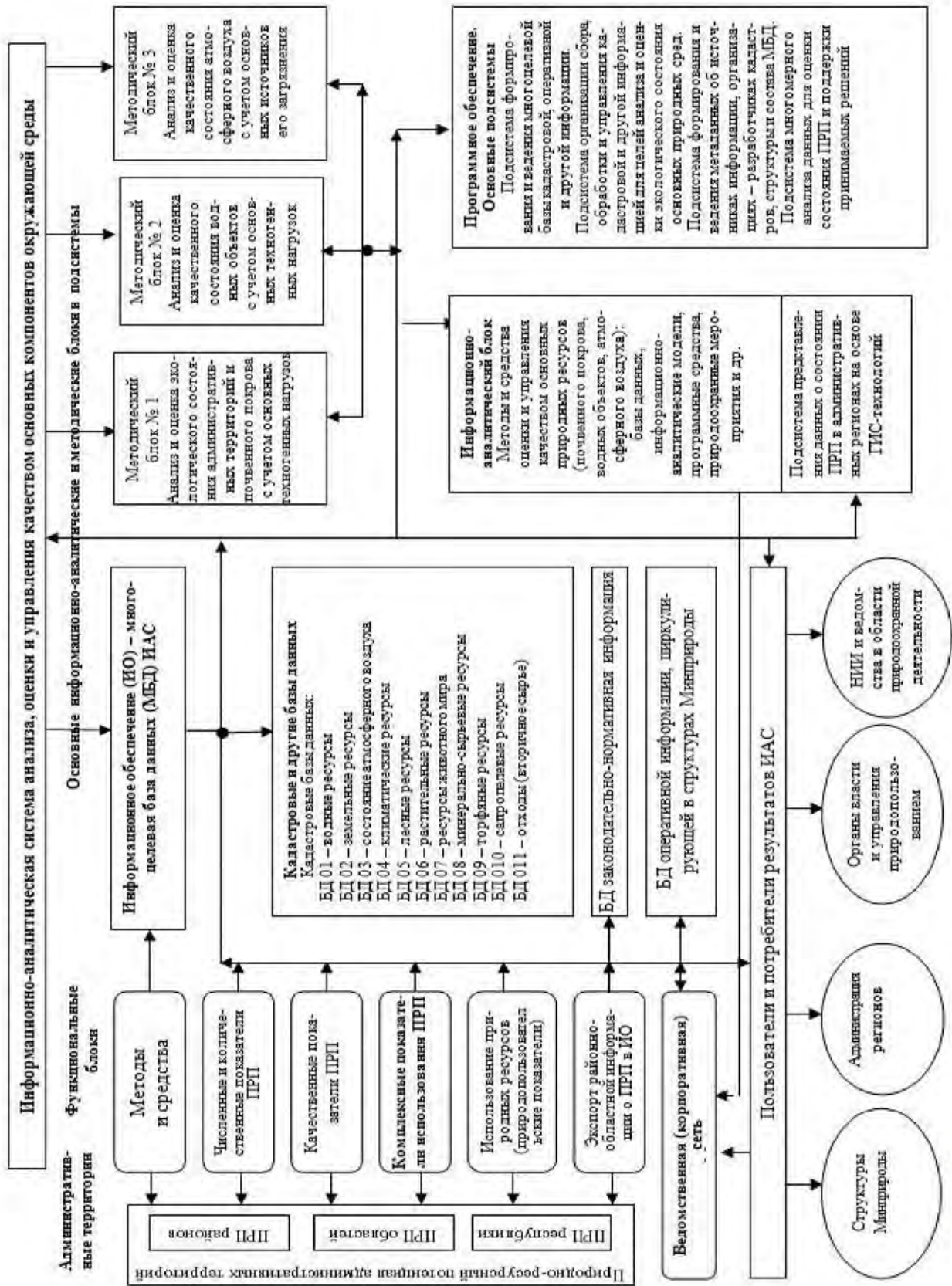


Рис. 1. Функциональная структура автоматизированной системы анализа, оценки и управления качеством основных компонентов окружающей среды

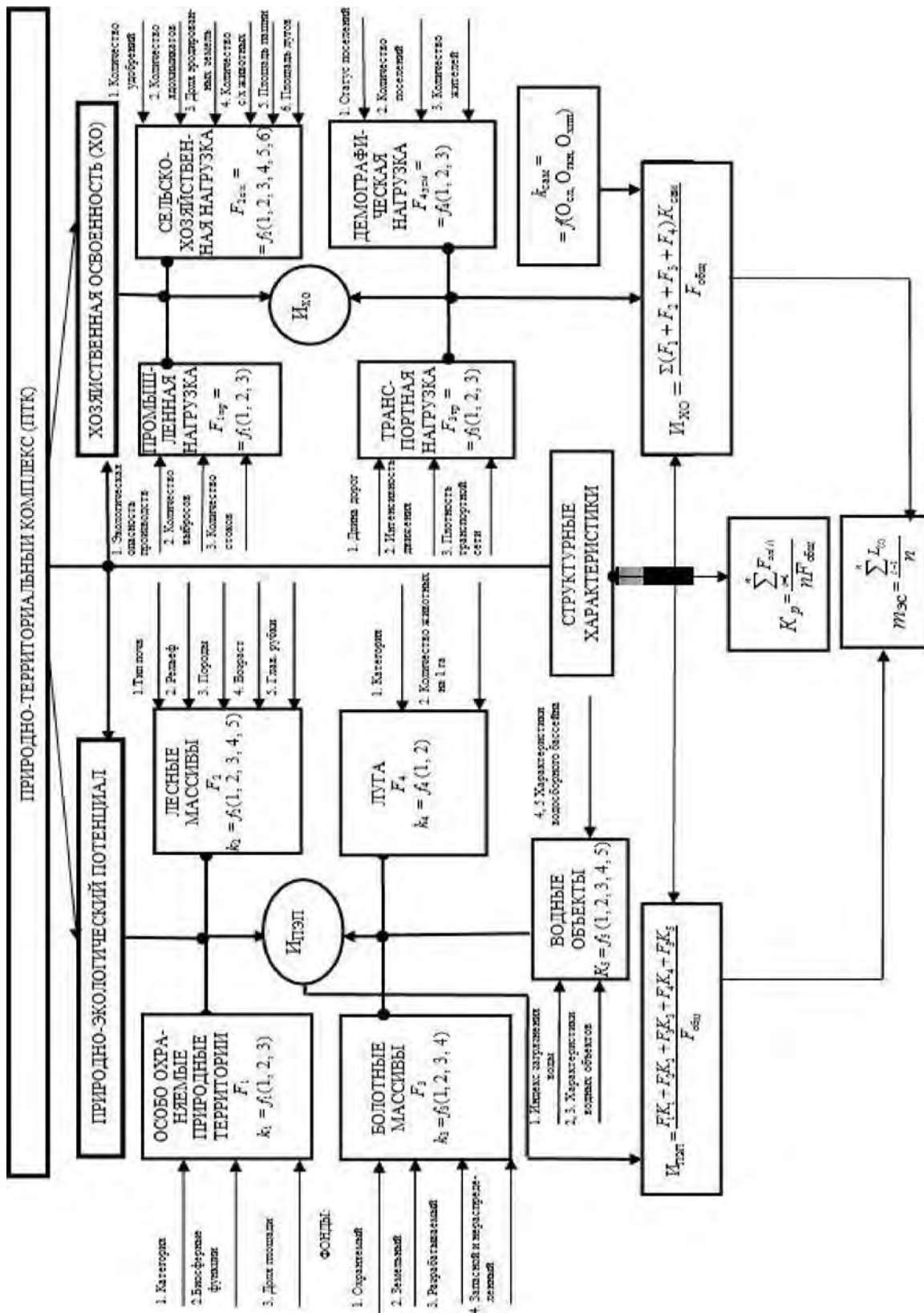


Рис. 2. Алгоритмическая схема оценки экологического состояния административных районов в различных регионах Республики Беларусь

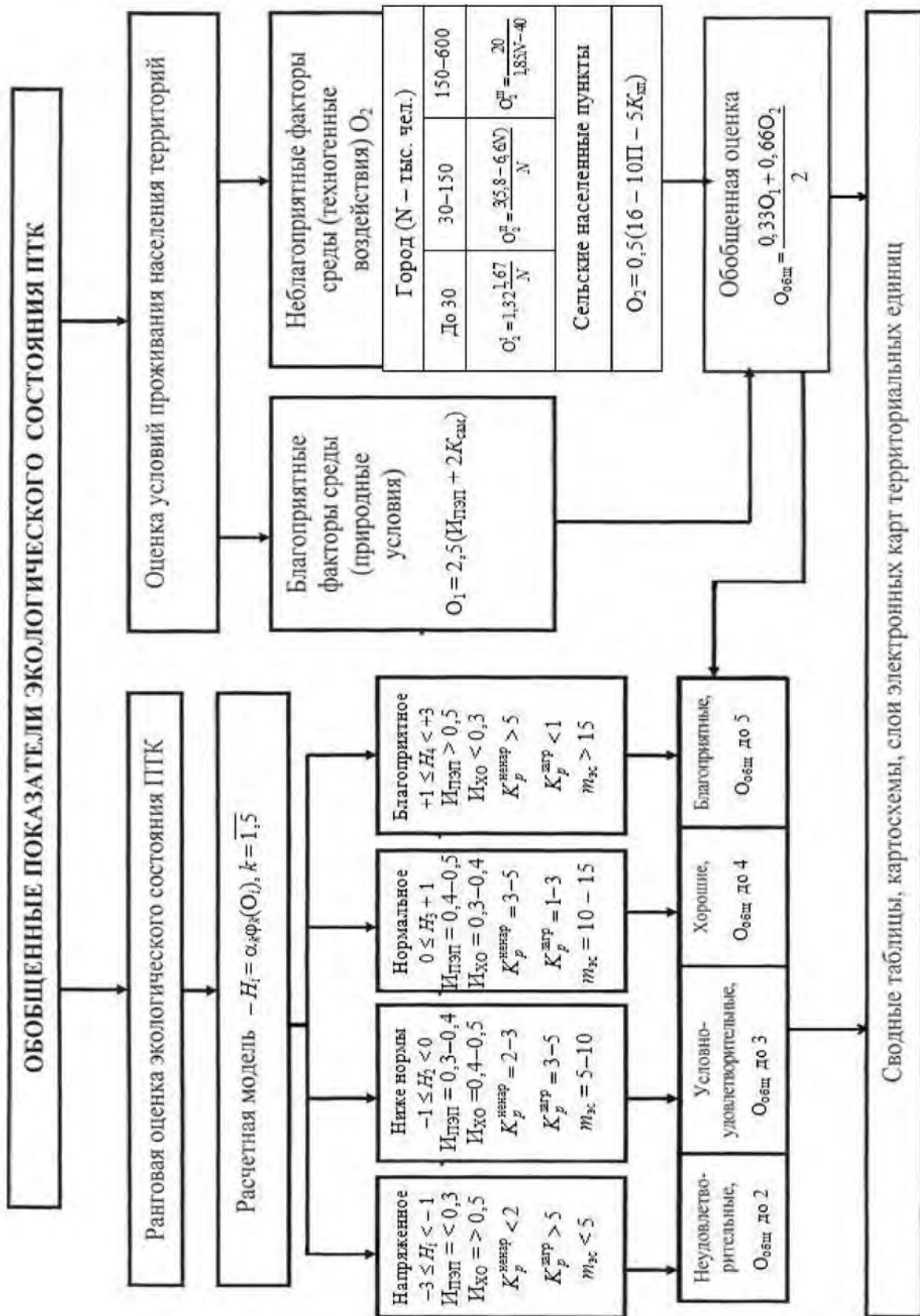


Рис. 3. Алгоритм расчета обобщенных показателей состояния ПТК

Комплексная оценка эколого-экономического состояния ПРП. В [17, 19] комплексную оценку экологического состояния ПРП предлагается выполнять, используя систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P &= f(P_0, P_1, P_2); \\ P^m &= 1 + \sqrt{\sum_{i=1}^{N_1} b_i (R_i^m - 1)^2} - \sqrt{\sum_{i=N_1+1}^N b_i (R_i^m - 1)^2}; \\ i &= \overline{1, N_1} \text{ при } R_i \geq 1; i = \overline{N_1, N} \text{ при } R_i < 1; \end{aligned} \right\} (1)$$

где P – комплексный критерий оценки качества эколого-экономического состояния ПРП; P_0 – стандарт качества; $P_1 = \sqrt{\sum b_i (R_i^m - 1)^2}$ – сигнификатор меры ухудшения ОС для реципиентов m -го вида по отношению к базовому уровню; $P_2 = \sqrt{\sum b_i (R_i^m)^2}$ – допустимый уровень качества ОС для реципиентов m -го вида; R_i^m – индекс ухудшения состояния i -й компоненты для реципиентов m -го вида; b_i – весовой коэффициент для компоненты i -го типа.

Экономическая составляющая оценки может быть также выражена через величину предотвращенного ущерба, отражающего улучшение качества окружающей среды административных территорий.

Если для всех N компонентов среды их индексы R качества соответственно равны их стандартам, то принимается $P = P_0$. Если все индексы R всех компонентов не превышают их стандарты ($R_i < P_{0i}$), то принимается $P = P_2$. Если все индексы R всех R_0 компонентов превышают их стандарты ($R_i > P_{0i}$), то принимается $P = P_0 + P_1$.

Контроль качества окружающей среды – одна из важнейших функций инспекционных служб районно-областных и республиканских структур Минприроды. Укрупненную формализацию процесса контроля за загрязнением природных сред – АВ, ВО и ПП можно реализовать следующим образом [27]. Введем обозначения: $X_{ij}^{\text{ПЛЛАВ}}$, $X_{ij}^{\text{ПЛЛВО}}$, $X_{ij}^{\text{ПЛЛПП}}$ – плановое (нормативное) экологическое состояние i -го загрязнителя (ЗВ) j -го реципиента в атмосферном воздухе (АВ), водных объектах (ВО) и поч-

венном покрове (ПП); $X_{ij}^{\Phi.\text{AB}}$, $X_{ij}^{\Phi.\text{BO}}$, $X_{ij}^{\Phi.\text{ПП}}$ – фактическое экологическое состояние i -го загрязнителя (ЗВ) j -го реципиента в АВ, ВО и ПП средах; $X_{ij}^{\text{ПР.АВ}}$, $X_{ij}^{\text{ПР.ВО}}$, $X_{ij}^{\text{ПР.ПП}}$ – проектные решения по экологическим показателям i -го загрязнителя j -го реципиента в АВ, ВО и ПП средах и конкретных проектах, подлежащих экспертизе в системе Минприроды; E_{ij}^{AB} , E_{ij}^{BO} , $E_{ij}^{\text{ПП}}$ – критические (предельные) значения i -х загрязнителей j -х реципиентов в АВ, ВО и ПП средах, при обнаружении которых необходимо принимать решения для ликвидации проблемной ситуации.

С учетом приведенных обозначений контрольные функции за экологическим состоянием $X_{\text{ПРП}}$ ПРП можно описать следующей системой аналитических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} X_{\text{ПРП}} &= X_{\text{AB}} + X_{\text{ВО}} + X_{\text{ПП}}; \\ X_{\text{AB}} &= f_1(X_{ij}^{\text{ПЛЛАВ}}, X_{ij}^{\Phi.\text{AB}}, X_{ij}^{\text{ПР.АВ}}, E_{ij}^{\text{AB}}); \\ X_{\text{ВО}} &= f_2(X_{ij}^{\text{ПЛЛВО}}, X_{ij}^{\Phi.\text{ВО}}, X_{ij}^{\text{ПР.ВО}}, E_{ij}^{\text{BO}}); \\ X_{\text{ПП}} &= f_3(X_{ij}^{\text{ПЛЛПП}}, X_{ij}^{\Phi.\text{ПП}}, X_{ij}^{\text{ПР.ПП}}, E_{ij}^{\text{ПП}}); \\ (X_{ij}^{\text{ПЛЛАВ}} - X_{ij}^{\Phi.\text{AB}}) &= \Delta X_{ij}^{\text{AB}} \leq E_{ij}^{\text{AB}}; i = \overline{1, N_1}, j = \overline{1, N_1}; \\ (X_{ij}^{\text{ПЛЛВО}} - X_{ij}^{\Phi.\text{BO}}) &= \Delta X_{ij}^{\text{BO}} \leq E_{ij}^{\text{BO}}; i = \overline{1, N_1}, j = \overline{1, N_1}; \\ (X_{ij}^{\text{ПЛЛПП}} - X_{ij}^{\Phi.\text{ПП}}) &= \Delta X_{ij}^{\text{ПП}} \leq E_{ij}^{\text{ПП}}; i = \overline{1, N_1}, j = \overline{1, N_1}; \\ \Delta X_{\text{AB}} &= f_4 \left(\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\text{ПЛЛАВ}} - \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\Phi.\text{AB}} \right); \\ \Delta X_{\text{ВО}} &= f_5 \left(\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\text{ПЛЛВО}} - \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\Phi.\text{BO}} \right); \\ \Delta X_{\text{ПП}} &= f_6 \left(\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\text{ПЛЛПП}} - \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} X_{ij}^{\Phi.\text{ПП}} \right); \end{aligned} \right\} (2)$$

где $\Delta X_{ij}^{\text{AB}}$, $\Delta X_{ij}^{\text{BO}}$, $\Delta X_{ij}^{\text{ПП}}$ – значения отклонений фактических концентраций от плановых (нормативных) i -х загрязнителей j -х реципиентов, полученных при их измерении в АВ, ВО и ПП средах; ΔX_{AB} , $\Delta X_{\text{ВО}}$, $\Delta X_{\text{ПП}}$ – значения суммарных отклонений концентраций ЗВ от их плановых значений в АВ, ВО и ПП средах; f_1 – f_6 – соответствующие функционалы аналитических выражений.

В случае неравнозначного влияния результирующих показатели ΔX_{ij}^{AB} , ΔX_{ij}^{BO} , $\Delta X_{ij}^{ПП}$, ΔX_{AB} , ΔX_{BO} , $\Delta X_{ПП}$ на оценку экологического состояния природных сред их значения могут быть представлены в виде взвешенных сумм отдельных составляющих. Методы и алгоритмы решения подобных задач широко представлены в технической литературе [10–26].

Определяющим принципом контроля и управления состоянием окружающей среды является обеспечение (сохранение) существующего экологического ранга территории, если он удовлетворительный, и планирование курса на его улучшение.

Исходным материалом для принятия решений в задачах планового управления народно-хозяйственным развитием территориальных комплексов является получение полного набора оценок экологического состояния конкретной территории и выполненный сравнительный анализ их уровней и взаимосвязей с существующими здесь реальными условиями, при этом приоритетными должны быть оценки условий проживания населения. Алгоритмическая схема для решения задач управления представлена на рис. 4.

Соблюдение определяющего принципа управления для конкретной территориальной единицы обеспечивается адекватной компенсацией планируемого приращения техногенных нагрузок за счет увеличения природного потенциала территориальных комплексов. Для расчетов значений дополнительных техногенных нагрузок при планировании развития хозяйственной деятельности нами предложен показатель дифференциальной чувствительности индекса $I_{ХО}$, характеризующий величину его приращения при увеличении значений по каждому виду техногенных нагрузок на определенную единицу: $S(I_{ХО}) = \frac{\Delta I_{ХО}}{\Delta F_i}$, где ΔF_i – приращение площади воздействия техногенных нагрузок: промышленной, сельскохозяйственной, транспортной и демографической, %.

Для расчетов значений увеличения природного потенциала за счет реализации природоохранных мероприятий предложен показатель чувствительности по индексу $I_{ПЭП}$: $S(I_{ПЭП}) =$

$$= \frac{\Delta I_{ПЭП}}{\Delta F_k}, \text{ где } \Delta F_k \text{ – приращение площади при-}$$

родных комплексов (лесных болотных, водных, луговых), %

На основании полученных и статистически обработанных данных по всей выборке исследуемых административных районов установлено, что введенные показатели зависят от значений существующего уровня значений составляющих $I_{ПЭП}$ и $I_{ХО}$, а также получены уравнения регрессии определения значений $\Delta(I_{ХО})$ и $\Delta(I_{ПЭП})$:

$$\Delta(I_{ХО}) = a_1 + b_1 X_1(\%), \quad \Delta(I_{ПЭП}) = a_2 X_2^{b_2}(\%), \quad (3)$$

где X_1 , X_2 – соответствующие значения ΔF_i и ΔF_k .

В табл. 1 приведены значения коэффициентов для (3), рассчитанных в результате регрессионного анализа для всех исследованных районов.

Таблица 1
Значения коэффициентов уравнений (3)

Вид хозяйственной нагрузки	Значение		Категория природных комплексов	Значение	
	a_1	b_1		a_2	b_2
Промышленная	11,0	-2,50	Леса + ООПТ	16,7	-0,80
Сельскохозяйственная	12,2	-0,36	Болотные массивы	14,8	-0,14
Транспортная	7,9	-1,46	Луга	12,6	-1,00
Демографическая	5,7	-0,81	Водные объекты	12,0	-1,02

ВЫВОД

Предложенные научно-инновационный подход и механизм расчетов позволяют получать необходимые оценки по любому варианту планирования хозяйственной деятельности на конкретной территории, сравнивать экологичность разноотраслевых проектов, а также подобрать вариант возможной частичной компенсации дополнительных нагрузок за счет набора природоохранных мероприятий или уменьшения техногенных нагрузок. При этом в таком выборе следует учесть предложенные коэффициенты адекватной компенсации техногенных нагрузок реализацией природоохранных мероприятий.

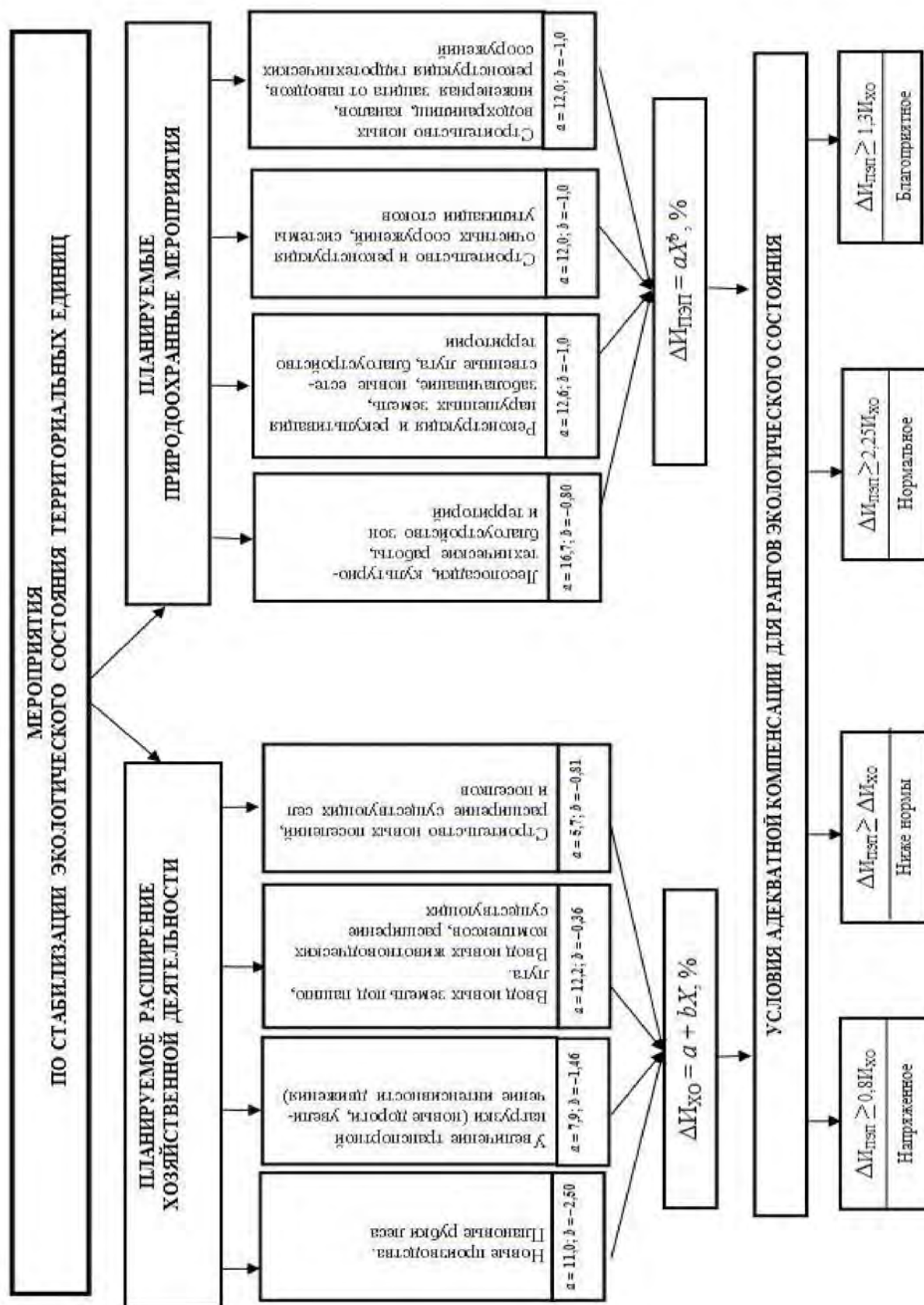


Рис. 4. Алгоритмическая схема для решения задач по управлению качеством (экологическим состоянием) окружающей среды

ЛИТЕРАТУРА

1. **План** реализации Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 годы. – Минск: ГУ «БелИСА», 2007. – 400 с.
2. **Войтов, И. В.** Стратегия устойчивого развития Республики Беларусь и Государственная программа инновационного развития на 2007–2010 годы. Республика Беларусь: инновационная экономика – конкурентоспособность – безопасность / И. В. Войтов // ТИБО-2007: сб. докл. XIV Белорусского конгресса по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям / под ред. Е. П. Сапелькина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2007. – 236 с.
3. **Недилько, В. Н.** О механизме государственной поддержки науки и инноваций: сб. науч. тр. / В. Н. Недилько, А. Н. Коршунов, И. В. Хартонин; под ред. В. Н. Недилько. – Минск: ГУ «БелИСА», 2004. – 164 с.
4. **Гатих, М. А.** Концепция развития информационной технологии формирования и управления информацией о состоянии и использовании природно-ресурсного потенциала регионов в Республике Беларусь / М. А. Гатих, О. А. Белый, И. И. Касьяненко; Минприроды Республики Беларусь, РУП «БелНИЦ “Экология”». – Минск: «БелНИЦ “Экология”», 2004. – 42 с.
5. **Разработать** и внедрить автоматизированную информационную систему формирования и управления кадастровой информацией о состоянии и использовании природных ресурсов Республики Беларусь: отчет о НИР (заключ.), науч. рук. М. А. Гатих / РУП «БелНИЦ “Экология”». – Минск, 2005. – 139 с. – № ГР 20043036.
6. **Лис, Л. С.** Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов / Л. С. Лис. – Минск: ИПИРЭ НАНБ, 2004. – 109 с.
7. **Лис, Л. С.** Методические рекомендации по количественной оценке экологического состояния природно-территориальных комплексов / Л. С. Лис; Мин-во природн. ресурсов и охраны охр. среды, НАН Беларуси. – Минск: Принтгруп, 2004. – 94 с.
8. **Методические** указания по контролю данных гидрохимических анализов сточных и поверхностных вод // Сборник норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 2004. – Вып. 47. – С. 152.
9. **Разработать** научные рекомендации по оценке и обеспечению экологической безопасности производств химической промышленности: отчет о НИР (заключ.) / РУП «БелНИЦ “Экология”». – Минск, 2002. – 61 с. – № ГР 200114792.
10. **Методика** расчета концентрации в атмосферном воздухе веществ, содержащихся в выбросах предприятий: [Текст] / ОНД-86: Госгидромет. – Л.: Гидрометиздат, 1987. – 92 с.
11. **Рекомендации** по категориям опасности источников и вредных веществ, в том числе подлежащих картированию. – СПб., 2000. – 107 с.
12. **Перечень** и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 1995. – Вып. 9. – 162 с.
13. **Методические** рекомендации по гигиенической оценке качества атмосферного воздуха и эколого-эпидемиологической оценке риска для здоровья населения. – Минск: Минздрав, 1998. – 48 с.
14. **Методика** расчета приземных концентраций загрязняющих веществ разных периодов осреднения применительно к крупным точечным источникам // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Вып. 30. – Минск: Минприроды, 2001. – С. 35–60.
15. **Временные** инструктивно-методические указания по оценке состояния загрязнения атмосферного воздуха // НИИ ОК им. А. И. Сыгина. – М., 1977. – 28 с.
16. **Войтов, И. В.** Научные основы рационального управления и охраны водных ресурсов трансграничных рек для достижения устойчивого развития и эколого-безопасного водоснабжения Беларуси / И. В. Войтов. – Минск: Современное слово, 2000. – 476 с.
17. **Рыбалов, А. А.** Качество окружающей среды: методы и подходы оценки / А. А. Рыбалов // Экологическая экспертиза. – М.: ВИНТИ, 2001. – С. 12–67.
18. **Сборник** нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 1992. – Ч. IV. – 159 с.
19. **Рыбалов, А. А.** Математическое обоснование комплексного показателя оценки качества окружающей среды / А. А. Рыбалов, Е. М. Чернов // Гигиена жилой среды. – Минск, 1987. – С. 135–140.
20. **Новый** подход к определению интегральных показателей качества воды / И. В. Войтов [и др.] // Водные ресурсы. – Минск: Минприроды РБ, ЦНИИКИВР. – 1999. – № 7. – С. 92–106.
21. **Кадастр** использования водных ресурсов / под общ. ред. А. В. Колобаева. – Минск: Минприроды РБ, 1997. – 209 с.
22. **Методика** и результаты экономической оценки от загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов / С. Б. Качановский [и др.] // Природные ресурсы. – 2000. – № 3. – С. 55–68.
23. **Сборник** нормативных документов по гигиенической оценке почвы населенных мест / [Инструкция 2.1.7.11-12-5 2004. Гигиеническая оценка почв населенных пунктов]. – Минск: Минздрав, 2004. – 96 с.
24. **Охрана** природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ: ГОСТ 17.4.3.06–86. – М.: Госстандарт, 1987. – 5 с.
25. **Охрана** природы. Почвы. Паспорт почв: ГОСТ 17.4.2.03–86. – М.: Госстандарт, 1987. – 4 с.
26. **Научно-методические** рекомендации по решению проблемы анализа, оценке и управления качеством окружающей среды / М. А. Гатих [и др.]. – Минск: «БелНИЦ “Экология”», 2005. – 40 с.
27. **Войтов, И. В.** Методы формирования решения задач при реализации функций управления природопользованием и охраной окружающей среды / И. В. Войтов, М. А. Гатих, Т. Н. Козловская // Природные ресурсы. – 2000. – № 3. – С. 43–55.

Поступила 30.05.2008