

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНОК ТЕХНОГЕННОГО СОСТОЯНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МЕТОДАМИ И СРЕДСТВАМИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

И. В. Войтов,

Председатель ГКНТ, д-р техн. наук, профессор

М. А. Гатих,

главный научный сотрудник ГУ «БелИСА», д-р техн. наук, профессор

Л. С. Лис,

ведущий научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси, канд. техн. наук

В. А. Рыбак,

ведущий научный сотрудник ГУ «БелИСА», канд. техн. наук, доцент

При разработке государственных программ инновационного развития экономики Беларуси в регионах и крупных городах представляет большой практический, научный и информационно-аналитический интерес анализ и оценка их техногенного состояния на момент проектных решений по размещению объектов хозяйствования, например, инновационных производств и экологических последствий их реализации на административных территориях. В этом случае целесообразна комплексная оценка экологического состояния территорий различных уровней иерархии.

Одним из наиболее важных направлений комплексной оценки экологического состояния территорий различных уровней иерархии (ареалы, выделы, районы, области, республика), включая природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы, является разработка в рамках НИР методов и средств геоэкологического районирования территорий по степени экологической напряженности.

Необходимость выполнения указанных работ диктуется в основном рядом социально-эко-

логических проблем развития народного хозяйства и использования для этих целей природных ресурсов и сред. Известно, что природные ландшафты в результате хозяйственной деятельности в ряде регионов Беларуси подверглись существенной антропогенной трансформации, в результате чего сформировались природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы с рядом экологических проблем. Поэтому изучение в таких системах взаимодействия природы и хозяйства, прежде всего методом районирования, представляет большой научный и практический интерес.

Геоэкологическое районирование территорий — одно из направлений исследования экологических проблем, выраженных в виде ранжирования территорий по степени экологической напряженности, экологического риска или бедствия. Его цель — выявление территориальной дифференциации и интеграции отдельных территорий со специфическим взаимодействием природных и социально-экологических факторов. Такое районирование определяется как интегральное. Оно базируется на анализе

и обобщении экологических проблем и их территориальных сочетаний — ситуаций разной степени остроты (напряженности). При этом степень остроты рассматривается с точки зрения условий проживания и состояния здоровья населения, сохранности природно-ресурсного потенциала, а также устойчивости структуры и функционирования ландшафтов, их эстетической целостности.

Важность этой проблемы досконально осознана, изучена и нашла конкретную реализацию в Российской Федерации. Так, по заданию Минприроды РФ были организованы в МГУ на географическом факультете и в Институте географии РАН большие группы сотрудников, которые в рамках ГНТП «Экология России» выполнили научные исследования и экологическое районирование по степени экологической напряженности всей территории России [1–9]. В основу методологии районирования положена комплексная информационно-аналитическая (математическая) оценка различных уровней иерархии территорий, геосистемный анализ ситуации с вариантами ландшафтных и других карт, с ареалами экологических ситуаций с четырьмя категориями остроты: очень острые (катастрофические и кризисные), острые (критические), умеренно острые (напряженные и конфликтные) и условно удовлетворительные. По степени экологической напряженности H_i предложено разделение территорий на природно-ландшафтные регионы с учетом их хозяйственной освоенности и выявленных в их пределах экологических ситуаций разной остроты. В результате на территории России было выделено 56 экологических районов, для которых характерно относительное единство природных условий и типов антропогенного воздействия, а также определенное сочетание (соотношение) экологических ситуаций.

Уровень экологической напряженности H_i для каждого из выделенных районов России, оцениваемый в баллах, с различным рангом экологической напряженности представлен в таблице 1 [1, 2].

При индивидуальной оценке экологической напряженности H_i i -го экологического района используется формула [2]:

$$H_i = (10S_{1i} + 5S_{2i} + 3S_{3i} + 1S_{4i}), \quad (1)$$

где S_{1i} — доля площадей очень острых экологических ситуаций в % от общей площади i -го

Таблица 1

Балльная оценка экологической напряженности для территории России с однородной экологической ситуацией

Экологическая ситуация	Экологическая напряженность (условные единицы)
Очень острая	10
Острая	5
Умеренно острая	3
Условно удовлетворительная	1

района; S_{2i} — доля площадей острых экологических ситуаций в % от общей площади i -го района; S_{3i} — доля площади умеренно острых экологических ситуаций в % от общей площади i -го района; S_{4i} — доля площади условно удовлетворительных экологических ситуаций в % от общей площади i -го района.

В работе [4] предложен метод экологического районирования территорий по степени экологической напряженности, определения ранга экологических проблем и ареалов острых экологических ситуаций. В его основу положен матричный системный анализ, базирующийся на математической статистике. В таблице 2 представлена основная расчетная матрица. Она имеет принципиальное значение для определения остроты экологических ситуаций. Каждая экологическая ситуация (проблема) обозначается буквенным индексом по градации степени (интенсивности) проявления: 1 — слабая, 2 — средняя, 3 — сильная. Кроме того, буквенные индексы ранжированы по последствиям и по степени значимости (весу) для уровня остроты данной ситуации.

Как следует из работ [1–9] и таблицы 2, основными показателями анализа, оценок и районирования административных территорий (АТ) по уровню остроты отдельных проблем рассматриваются: социальные (здоровье человека), истощение и утрата естественных ресурсов, нарушение генетической целостности ландшафта. В качестве естественных природных ресурсов анализируются атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы.

Указанные показатели, безусловно, важны, однако их недостаточно, по мнению авторов, для полноценного геоэкологического районирования территорий. Необходимо учитывать

Матричный метод геоэкологического районирования территорий

Уровень остроты экологической ситуации	Группа проблем, определяемых по показателям, опасным для здоровья человека (А, В, С...)		Группа проблем, определяемых по показателям истощения и утраты естественных ресурсов (L, M, N...)		Группа проблем, определяемых по показателям нарушения генетической целостности ландшафта (X, Y, Z...)		Уровень остроты отдельных проблем
	Степень проявления проблемы	Проблемы (А, В, С...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	Степень проявления проблемы	Проблемы (L, M, N...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	Степень проявления проблемы	Проблемы (X, Y, Z...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	
Очень острая	Сильная	A ³ , B ³ , C ³ ...	Сильная	L ³ , M ³ , N ³ ...	Сильная	X ³ , Y ³ , Z ³ ...	Катастрофический
Острая	Средняя	A ² , B ² , C ² ..	Средняя	L ² , M ² , N ² ...	Средняя	X ² , Y ² , Z ²	Кризисный
Умеренно острая	Слабая	A ¹ , B ¹ , C ¹ ...	Слабая	L ¹ , M ¹ , N ¹ ...	Слабая	X ¹ , Y ¹ , Z ¹ ...	Критический Напряженный Конфликтный

техногенные нагрузки на территории, их природно-ресурсный потенциал, включая биологические ресурсы, экологическое состояние отдельных природных компонентов окружающей среды (ОС), оцениваемое с использованием весовых коэффициентов и др.

Учитывая современное нормативно-законодательное и методологическое обеспечение рационального природопользования и охраны ОС в Республике Беларусь [10–15], представляется целесообразным выполнять геоэкологическое районирование территории по следующим взаимосвязанным направлениям:

1. Оценка состояния природно-экологического потенциала (ПЭП) и его структурных характеристик на АТ.
2. Оценка хозяйственной освоенности и техногенных нагрузок на природно-территориальные комплексы (ПТК) АТ.
3. Оценка экологического состояния основных природных компонентов ОС: водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного покрова и биологических ресурсов.
4. Ранговые оценки экологического состояния ПТК АТ.
5. Ранговые оценки экологических условий проживания населения на АТ.

Как следует из [14, 15], систему комплексной оценки экологического состояния природно-территориальных единиц составляют два показателя: индекс ПЭП ($I_{ПЭП}$) и индекс хозяй-

ственной освоенности ($I_{ХО}$) — основное звено, а также два производных показателя структурной организации: коэффициент экологической раздробленности ($K_{РАЗ}$) и мера экологической сопряженности ($m_{ЭС}$) — дополнительное звено.

Комплексная характеристика ПЭП состоит из индекса $I_{ПЭП}$ и параметра самовосстановления — очищения [14, 15]:

$$I_{ПЭП} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} F_{охр(i)} K_{1(i)} + \sum_{i=1}^{n_2} F_{лес(i)} K_{2(i)} + \sum_{i=1}^{n_3} F_{бол(i)} K_{3(i)} + \sum_{i=1}^{n_4} F_{вод(i)} K_{4(i)} + \sum_{i=1}^{n_5} F_{(c+n)} K_{5(i)}}{F_{общ}}, \quad (2)$$

где $F_{охр}$, $F_{лес}$, $F_{бол}$, $F_{вод}$, $F_{(c+n)}$ — площади отдельных i -х участков охраняемых территорий, лесных массивов, болотных комплексов, поверхностных водных объектов, естественных сенокосов и пастбищ на оцениваемой территории соответственно; $K_{1-5(i)}$ — коэффициенты экологической значимости для каждого из отдельных участков перечисленных природных компонентов.

Коэффициент экологической значимости (степени нарушенности) отдельных участков по каждому природному массиву рассчитывается по балльной системе на основании осреднения по частным баллам используемых характеристик этих участков и выражается в виде:

$$K_{1-5} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{5n}, \quad (3)$$

где B_i — частные баллы оцениваемого участка (например, лесной массив по возрастному соста-

ву, породному составу, главной лесосеке и т. д.); n — число учитываемых характеристик.

Таким образом, $I_{ПЭП}$ представляет собой долю суммы всех природных образований с учетом их степени нарушенности (трансформации) в общей площади оцениваемой территории.

Параметр самовосстановления—самоочищения, определяемый характеристиками более общего значения (феномена устойчивости территориальных комплексов), рассматривается дальше отдельно.

Для оценки негативных результатов отмеченных воздействий на оцениваемую территорию введен $I_{ХО}$ [3], выражающий долю суммарной загрязненной территории в общей площади ($F_{общ}$) [14, 15]:

$$I_{ХО} = \frac{(F_{загр}^{пр} + F_{загр}^{c/x} + F_{загр}^{тр} + F_{загр}^{дем} + F_{нар})K_{сам}}{F_{общ}}, \quad (4)$$

где $F_{загр}^{пр}$, $F_{загр}^{c/x}$, $F_{загр}^{тр}$, $F_{загр}^{дем}$ — площади земель, загрязненных от воздействия промышленности, сельскохозяйственного производства, транспорта и демографического давления соответственно; $F_{нар}$ — площади, отнесенные к категории загрязненных земель, нарушенных добычей полезных ископаемых, строительных материалов, торфяной продукции; $K_{сам}$ — коэффициент самовосстановления—самоочищения.

Обобщенный показатель воздействия промышленных производств ($\Pi_{пр}$) представлен в виде [14, 15]:

$$\Pi_{пр} = P_{IV} + 1,4P_{III} + 3,3P_{II} + 7P_I + 0,3(Q_{IV} + 1,3Q_{III} + 3,0Q_{II} + 8Q_I), \quad (5)$$

где P_{IV} , P_{III} ... — суммарное количество выбросов промышленных производств по группам токсичности; Q_{IV} , Q_{III} ... — суммарное количество стоков (категория недостаточно очищенных вод) по группам токсичности.

Широкая интенсификация сельскохозяйственного производства, предпринимаемая в прошедшие годы, масштабная мелиорация и широкая химизация наравне с положительными результатами привели в ряде регионов республики к нарушению экологического равновесия в природе, к резкому проявлению негативных процессов [16].

Загрязнение сельскохозяйственных и других угодий происходит вследствие несовершенства физических, химических и механических свойств минеральных удобрений, а также нарушения обоснованных технологий и сроков их внесения. Немаловажное значение при этом имеют условия хранения минеральных удобрений в хозяйствах и величина потерь их на пути к полю. Очень опасно для окружающей среды использование высоких доз минеральных удобрений, особенно азотных.

В итоге расчет производится [14, 15] по формуле:

$$F_{загр}^{c/x} = (F_{паш} + F_{ку})K^{c/x}, \quad (6)$$

где $F_{паш}$, $F_{ку}$ — площадь пахотных и естественных кормовых угодий на оцениваемой территории; $K^{c/x}$ — коэффициент уровня нагрузки, определяемой по приведенному баллу ($B_{пр}$) как среднеарифметическое или средневзвешенное:

$$B_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n (B_{уд} + B_{ях} + B_{эр} + B_{жив})}{4}, \quad (7)$$

где $B_{уд}$, $B_{ях}$, $B_{эр}$, $B_{жив}$ — баллы по минеральным удобрениям, ядохимикатам, доли эродированных (эрозионно опасных) земель, животноводству соответственно. Следовательно:

$$K^{c/x} = \frac{B_{пр}}{5}. \quad (8)$$

Проведенный анализ расчетных показателей сельскохозяйственной нагрузки по расширенному набору административных районов республики позволил получить упрощенное уравнение регрессии для коэффициента этой нагрузки [14, 15]:

$$K^{c/x} = 0,0176P_{уд} + 1,12P_{ях} + 0,0438N_{жив} + 0,0344F_{эр} \quad (\text{км}^2). \quad (9)$$

где $P_{уд}$, $P_{ях}$ — количество внесенных веществ, кг/га; $N_{жив}$ — численность животных, тыс. усл. голов; $F_{эр}$ — площадь эродированных земель (процент от общей площади сельхозугодий).

Транспортная нагрузка характеризуется обобщенным показателем — интенсивностью движения транспорта. В качестве определяющих загрязняющих веществ в выбросах транспорта выбраны самые опасные: соединения свинца и бенз(а)пирен. На основании имеющихся литературных данных [17–19] получена зависимость ширины полосы загрязнения (B) от интенсивности движения (I):

$$B = 0,126I \times 10^{-3} \quad (\text{км}). \quad (10)$$

Условия распространения загрязняющих веществ вдоль дорог (второй этап) определяются количественно-качественными показателями, а их учет целесообразно произвести путем балльной оценки.

Основываясь на имеющихся данных [17–19] и используя смысловую логику, построена балльная шкала оценки важнейших из этих факторов (табл. 3), а их учет произведен путем корректировки расчетной ширины загрязненной полосы конкретных участков дорог по коэффициенту:

$$K_{кор} = \frac{75 + 5B_{np}}{100}, \quad (11)$$

где B_{np} — средневзвешенный балл учитываемой дороги, рассчитанной по отдельным ее участкам, различающимся по топометеорологическим факторам. Корректировка загрязненной территории производится из условия 25% вероятности.

Следовательно, загрязненную территорию вдоль транспортных сетей можно рассчитать следующим образом:

$$F_{загр}^{TP} = \sum_{i=1}^n L_i \times B_i \text{ (км}^2\text{)}, \quad (12)$$

где L_i — отдельные участки или дороги, имеющие различную интенсивность движения; B_i — двойная полоса загрязнения этих дорог.

Таблица 3

Балльные оценки топографических и метеорологических факторов местности

Параметр	Балл оценки
Наличие лесозащитной полосы	1–2
Скорость ветра (м/с): 0–5	2
5–20	3–4
Характер местности: – холмистый	4
– равнинный	5

Под демографической нагрузкой понимается непосредственное воздействие населения на природную среду в результате его жизнедеятельности (социальный аспект), а также через хозяйственную деятельность, обеспечивающую индивидуальные интересы (работы на приусадебных и садоводческих участках, налаживание трудовых и социальных связей, рекреационные

воздействия и др.). Сюда относятся воздействия населения на компоненты природной среды, расположенные в непосредственной близости от населенных пунктов (мест проживания) [20–22].

Оценка этого вида воздействия рассматривается применительно к демографической сети сельских населенных пунктов и поселений, приравненных к ним. Здесь наибольшее воздействие население оказывает непосредственно в самих поселениях, однако оно простирается и за их пределы. Для обоснования метода оценки воздействия демографической нагрузки выделяют три типа поселения: малые города (численность до 30 тыс. чел.), поселки городского типа и села. Именно этой категории поселений в различной степени присущ сельский уклад жизни, состоящий в выделении населению индивидуальных земельных участков для возделывания сельскохозяйственной продукции. На основании анализа материалов земельных кадастров районного уровня определен коэффициент сельского уклада жизни для рассматриваемых типов поселений: малые города — $K_1 = 0,5$; поселки городского типа — $K_2 = 0,7$; села — $K_3 = 1,0$.

Площадь зоны воздействия отдельного поселения ($F_{воз}$) выразим следующим образом [14, 15]:

$$F_{воз} = 1,3F_{сел} + f_n N \times K, \quad (13)$$

где $F_{сел}$ — селитебная площадь поселения (га); f_n — индивидуальный надел земли на 1 жителя (0,4, га); N — численность населения (чел.); K — коэффициент сельского уклада жизни.

Таким образом, общая площадь воздействия демографической нагрузки на оцениваемой территории равна:

$$F_{загр}^{дем} = \sum_{i=1}^n n F_{воз}, \quad (14)$$

где n — количество учитываемых ареалов расселения.

Проведя анализ данных расчета демографической нагрузки по ряду административных районов из различных регионов республики, получили обобщенное регрессионное уравнение, которое может быть использовано для упрощенной оценки территориальной единицы ранга административный район и ниже [14, 15]:

$$F_{загр}^{дем} = 1,23N_{общ} + 0,84N_{сельск} + 0,84n_{нос} \text{ (км}^2\text{)}, \quad (15)$$

где $N_{общ}$ — общая численность населения, тыс. чел.; $N_{сельск}$ — численность сельских жителей, тыс. чел.; $n_{нос}$ — число поселений (деревень, поселков).

В качестве дополнительных оценок экологического состояния территорий предложены структурные характеристики — коэффициенты структурной организации территорий:

1. Коэффициент раздробленности (K_p) зон малоизмененных ландшафтов (ПЭП) и ареалов хозяйственной освоенности [14, 15]:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n F_{эл(i)}}{nF_{общ}}, \quad (16)$$

где $F_{эл(i)}$ — площадь единичного (элементарного) контура малоизмененных или нарушенных ландшафтов; n — количество учитываемых контуров; $F_{общ}$ — общая площадь оцениваемой территории.

2. Коэффициент ($m_{эс}$) меры экологической сопряженности, характеризующий степень размежевания (разнесения) контрастных зон:

$$m_{эс} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}, \quad (17)$$

где L_i — расстояние между центрами единичных полярных зон (условно ненарушенной и загрязненной); n — количество пар таких зон, выделенных на оцениваемой территории.

Обобщенная алгоритмическая схема оценки экологического состояния ПТК, включая оценки ПЭП и хозяйственной освоенности АТ, представлена на рисунке 1.

Для разработки показателя обобщенной оценки экологического состояния АТ приняты четыре качественных уровня экологического состояния последних: напряженное (неудовлетворительное), ниже нормы, нормальное, благоприятное (хорошее), — которые предварительно на первом этапе могут характеризовать это состояние.

В этом случае обобщенная оценка i -го территориального выдела будет представлена множеством $O_i = \{O_i(f_k, l_n), (\text{при } f_k \in \overline{1,4}; l_n \in \overline{1,5})\}$, где f_k — оценка по уровням экологического состояния, принятым выше; l_n — оценка по показателям системы оценок.

Раскроем множество по первой оценке [14, 15]:

$$O_i(f) = \begin{cases} O_1, \text{ при } l_1 < f_{1(i)} \leq l_2; \\ O_2, \text{ при } l_2 < f_{2(i)} \leq l_3; \\ O_3, \text{ при } l_3 < f_{3(i)} \leq l_4; \\ O_4, \text{ при } l_4 < f_{4(i)} \leq l_5, \end{cases} \quad (18)$$

где l_1-l_5 — предельные значения оценок по показателям, разбитые на интервалы каждого уров-

ня состояния. Для этого весь диапазон значений каждого показателя для определенной выборки объектов разбивается пропорционально на 4 интервала, в результате чего устанавливаются граничные значения $l_1-l_2, l_2-l_3, l_3-l_4$ и l_4-l_5 . Для формирования критерия обобщенной оценки вводится количественная логическая функция меры:

$$\varphi_k(O_i) = \begin{cases} -3, \text{ если } O_i = O_1; \\ -1, \text{ если } O_i = O_2; \\ +1, \text{ если } O_i = O_3; \\ +3, \text{ если } O_i = O_4. \end{cases} \quad (19)$$

В качестве критерия обобщенной оценки используется линейная взвешенная функция меры:

$$H = \alpha_k \varphi_k(O_i), (K \in \overline{1,4}), \quad (20)$$

где α_k — весовой коэффициент показателя системы оценки, определяющий его значимость в системе.

Согласно обоснованным ранее методическим принципам формирования комплексных показателей экологического состояния, основному звену — $I_{пэп}$ и $I_{хо}$ — придаем весовой коэффициент по 0,3 и дополнительным показателям ($K_{разд}^{мл}, K_{разд}^{загр}, m_{эс}$ — соответственно 0,15; 0,15 и 0,10 (использован принцип нормирования — $\sum_{k=1}^5 \alpha_k = 1$)).

После проведения нормирования весовых коэффициентов критерий обобщенной оценки примет значения введенной логической функции меры с установленными пределами:

для O_1 — экологическое состояние неудовлетворительное (напряженное):

$$-3 \leq H_1 < -1;$$

для O_2 — экологическое состояние ниже нормы: $-1 \leq H_2 < 0$;

для O_3 — экологическое состояние нормальное: $0 < H_3 \leq +1$;

для O_4 — экологическое состояние хорошее (благоприятное): $+1 < H_4 \leq +3$.

Оценка степени благоприятности среды проживания населения может быть выполнена в территориальном разрезе с использованием предложенных количественных оценок экологического состояния. Для этого еще дополнительно привлечены показатели численности населения оцениваемой территориальной единицы, а также плотность населения (Π) и концентрация поселений ($K_{кп}$). В оценках использована балльная шкала с учетом имеющихся санитарно-

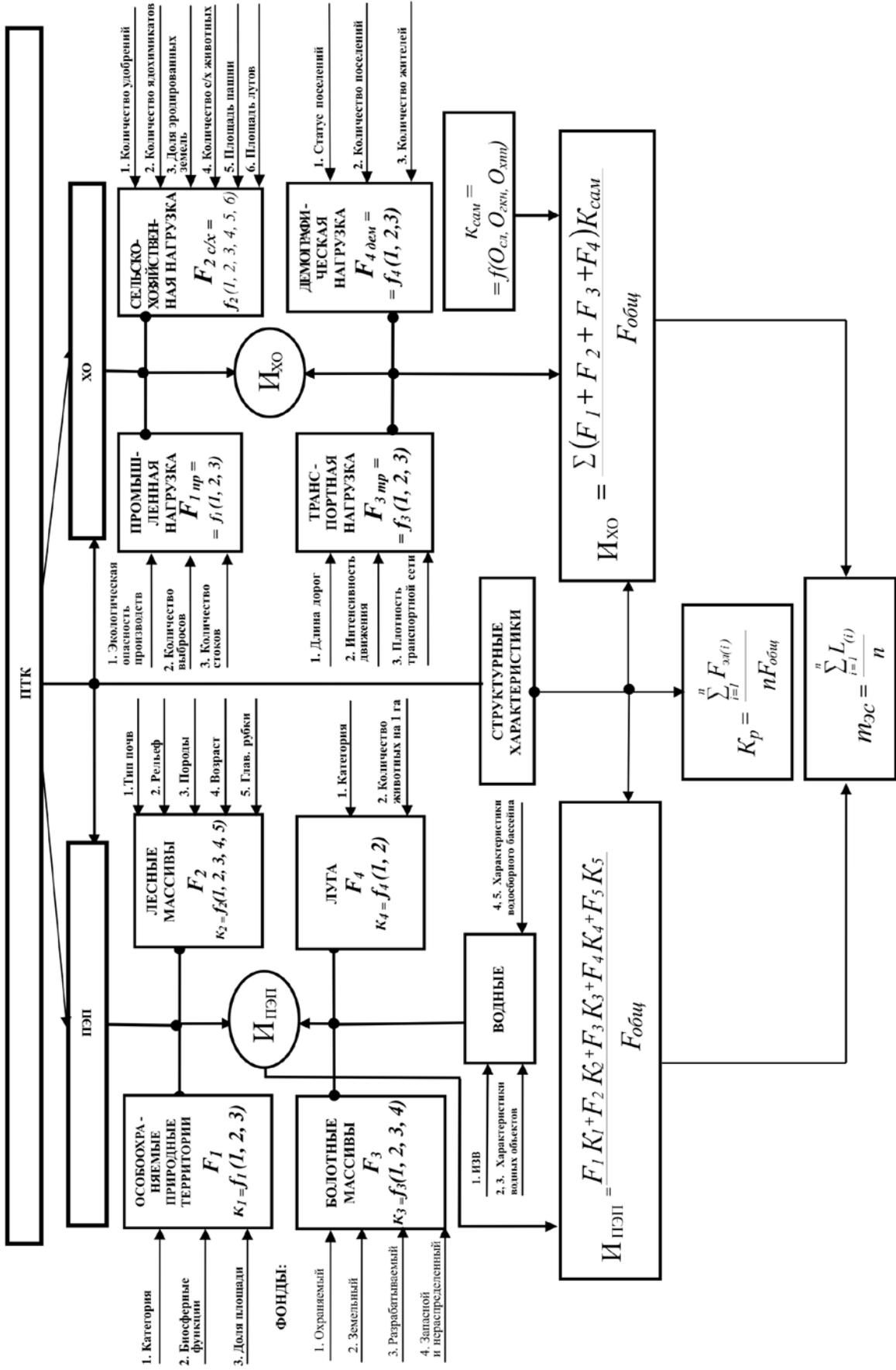


Рис. 1. Алгоритмическая схема оценки экологического состояния административных районов в различных регионах Республики Беларусь

гигиенических нормативов. Общая оценка осуществлена по двум частным показателям: позитивным — ПЭП (O_1) и негативным — ХО (O_2) Каждый из них имеет свой весовой коэффициент.

Для практических расчетов в [14] предложена система уравнений, полученных в результате статистической обработки материалов по конкретным территориальным единицам:

$$O_1 = 2,5(I_{\text{ПЭП}} + 2K_{\text{САМ}}),$$

$$O_2 = 0,5(16 - 10П - 5K_{\text{КП}}),$$

$$O_{\text{Общ}} = (0,33O_1 + 0,66O_2) / 2.$$

Уровень загрязнения и массу выбросов ЗВ в атмосферу, знание которой необходимо для многих расчетов в экологии, приведенную к одному классу опасности, можно рассчитать с помощью показателя КОГ (критерия опасности для города) по формуле [23]:

$$\text{КОГ} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{ij}}{\text{ПДК}_{\text{cci}}} \right)^\alpha, \quad (21)$$

где m — количество предприятий в городе, выбрасывающих вредные вещества в атмосферу; M_{ij} — масса выброса i -го вещества, т/год; ПДК_{cci} — среднесуточная предельно допустимая концентрация i -го вещества, мг/м³; n — количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями; α — безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью сернистого газа (третий класс опасности). Значения α для веществ 1, 2, 3 и 4-го классов опасности равны соответственно 1,7; 1,3; 1,0; 0,9. Физический смысл величины показателя КОГ заключается в том, что она показывает некоторый условный объем загрязненного воздуха для всех предприятий города или крупного промышленного центра, разбавленный до санитарно-гигиенических критериев и приведенный к одной токсичности.

Показатель КОГ позволяет рассчитывать не только загрязнение территорий городов и крупных промышленных центров, что важно с позиций ранжирования их по степени экологической напряженности, но и определять ареалы активного загрязнения отдельных городских участков с оценкой их влияния на здоровье населения и принятия на этой основе мер по уменьшению уровня их загрязнения и планирования градостроения.

Отдельные попытки решения проблемы загрязнения ОС на основе учета загрязняющих веществ известны из научно-технической лите-

ратуры. Так, в [24] предложен простой индекс загрязнения природной среды (ПС), отражающий общее поступление ЗВ в ОС и представленный в виде:

$$I = \sum_{i=1}^n D_i / \sum_{i=1}^m P_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (22)$$

где D_i — фактическая доза (тыс. т/год) i -го вещества; P_i — допустимая норма i -го вещества, нормированная по ПДК; n — количество веществ, одновременно присутствующих в ПС, поступивших от различных источников загрязнения (выбросов, стоков, сбросов, отходов).

Линейный (абсолютный) уровень и эффект в результате загрязнения ОС выражается разностью показателей [24]:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n b_i \times D_i - \sum_{i=1}^n b_i \times P_i; \quad b_i = \frac{P_i}{\sum P_i}; \quad b_i = 1; \quad i = \overline{1, n}, \quad (23)$$

где b_i — вес примесей (ингредиентов) в составе ЗВ.

С учетом зависимостей уравнений 21 и 22 сформирован взвешенный агрегатный индекс опасности загрязнения ОС, в котором вес для каждой примеси зафиксирован на уровне норматива (ПДК):

$$I_m = \sum_{i=1}^n b_i \times D_i / B_i \times P_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (24)$$

При этом числитель показывает фактическую загрязненность ОС, а знаменатель — условно суммарную загрязненность примесями смеси того же состава при их нормативных уровнях. Иными словами, знаменатель — это условная величина, показывающая какой уровень загрязнения имел бы место, если бы масса каждой примеси сохранялась на уровне ее регламента.

Уравнения 21–23 отражают общие принципы формализации оценок по загрязнению окружающей среды с использованием фактических количественных показателей (масс, объемов) загрязняющих веществ D_i , поступающих в ее природные компоненты от различных источников загрязнения, и допустимых норм P_i , регламентируемых значениями ПДК_{*i*} для каждой компоненты.

Конечный вариант комплексного взвешенного агрегатного индекса для анализа и оценок экологического состояния природной ОС с использованием массовых показателей D_i и P_i должен содержать в их составе все оценочные структурные элементы (взвешенные агрегатные индексы) для расчетов экологического состоя-

ния водных объектов I_{az}^{6M} , атмосферного воздуха I_{az}^{aM} , почвенного покрова I_{az}^{nM} и биоресурсов I_{az}^{6M} , которые рекомендуется использовать в виде:

$$I_{az}^{6M} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^6 \times D_{ij}^6}{b_i^6 \times P_i^6} \times A_i; \quad b_i^6 = \sum \frac{A_i \times P_i^6}{P_i^6 \times A_i}; \quad b^6 = 1; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$I_{az}^{aM} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^a \times D_{ij}^a}{b_i^a \times P_i^a} \times A_i; \quad b_i^a = \sum \frac{A_i \times P_i^a}{P_i^a \times A_i}; \quad b^a = 1; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (26)$$

$$I_{az}^{nM} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^{nm} \times D_{ij}^{nm}}{b_i^{nm} \times P_i^{nm}} \times A_i; \quad b_i^{nm} = \sum \frac{A_i \times P_i^{nm}}{P_i^{nm} \times A_i}; \quad b^{nm} = 1; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (27)$$

$$I_{az}^{6M} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^6 \times D_{ij}^6}{b_i^6 \times P_i^6} \times A_i; \quad b_i^6 = \sum \frac{A_i \times P_i^6}{P_i^6 \times A_i}; \quad b^6 = 1; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (28)$$

где $D_{ij}^6, D_{ij}^a, D_{ij}^{nm}, D_{ij}^6$ — фактические весовые (массовые) дозы i -х загрязнителей от j -х источников, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; $P_i^6, P_i^a, P_i^{nm}, P_i^6$ — допустимые (регламентированные) нормы i -х загрязнителей, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; n и m — количество загрязнителей и источников загрязнения основных природных компонентов ОС; $b_i^6, b_i^a, b_i^{nm}, b_i^6$ — весовые коэффициенты загрязнителей, поступивших в указанные выше природные компоненты ОС.

Общая масса загрязняющих веществ, поступившая в ОС, может быть определена по формуле:

$$D_{ij}^{OC} = \sum_{i=1}^n D_{ij}^6 + \sum_{i=1}^n D_{ij}^a + \sum_{i=1}^n D_{ij}^{nm} + \sum_{i=1}^n D_{ij}^6. \quad (29)$$

Комплексный взвешенный агрегатный индекс для весового ранжирования территорий в рамках городов, крупных промышленных центров, административных районов, регионов и республики в целом предлагается осуществлять по формуле:

$$I_{az}^{KM} = I_{az}^{6M} + I_{az}^{aM} + I_{az}^{nM} + I_{az}^{6M}. \quad (30)$$

Для практической реализации данного индекса необходимо, наряду с применением приведенных выше материалов и расчетных зависимостей, иметь достаточный набор расчетных формул для определения валовых (годовых) выбросов M_{ij} (тыс. т/год) по всем ЗВ и источникам загрязнения (выбросам, стокам и сбросам) основных ПС (водных объектов, атмосферно-

го воздуха, почвенного покрова и биоресурсов). Практически все необходимые формулы для получения данных показателей имеются в [25–29]. Эти сведения также находятся в статотчетных материалах по вопросам контроля и оценок экологического состояния природных ресурсов и сред в стране.

Располагая приведенными выше основными расчетными показателями по всем направлениям анализа и комплексных оценок, весового геоэкологического ранжирования административных территорий по степени экологической напряженности и условиям проживания на них населения, представляется возможным сформировать универсальные научно-инновационные принципы геоэкологического районирования АТ с использованием обобщенной структурно-алгоритмической схемы, представленной на рисунке 2.

Разработанные научно-инновационные принципы геоэкологического районирования АТ достаточно отработаны на нескольких административных районах Беларуси. Районы выбирались с таким расчетом, чтобы были учтены наиболее характерные техногенные нагрузки в рамках всей страны, характеризуемые I_{XO} , и природно-экологические условия, характеризуемые $I_{ПЭП}$ АТ. Все расчеты производились по алгоритмической схеме (см. рис. 1). Для этих целей были выбраны 12 районов: Брестский ($I_{XO} = 0,513$; $I_{ПЭП} = 0,42$), Каменецкий ($I_{XO} = 0,483$; $I_{ПЭП} = 0,39$), Пружанский ($I_{XO} = 0,337$; $I_{ПЭП} = 0,54$), Городокский ($I_{XO} = 0,221$; $I_{ПЭП} = 0,55$), Верхнедвинский ($I_{XO} = 0,244$; $I_{ПЭП} = 0,37$), Полоцкий ($I_{XO} = 0,546$; $I_{ПЭП} = 0,44$), Логойский ($I_{XO} = 0,302$; $I_{ПЭП} = 0,48$), Вилейский ($I_{XO} = 0,337$; $I_{ПЭП} = 0,50$), Молодеченский ($I_{XO} = 0,587$; $I_{ПЭП} = 0,40$), Костюковичский ($I_{XO} = 0,366$; $I_{ПЭП} = 0,33$), Краснопольский ($I_{XO} = 0,258$; $I_{ПЭП} = 0,42$), Кормянский ($I_{XO} = 0,397$; $I_{ПЭП} = 0,28$) [14, 15]. Подробный анализ вариации I_{XO} и $I_{ПЭП}$ приведен в [14, 15].

Расчет всех параметров и показателей геоэкологического районирования АТ по всем пяти приведенным выше взаимоувязанным направлениям выполнен на основе обобщенной структурно-алгоритмической схемы (см. рис. 2) на примере Пружанского района Брестской области [15]. В расчетах учтены практически все параметры и показатели, приведенные на схеме (см. рис. 2), включая необходимые сведения и источники информации для выполнения расчетов с использованием формул 1–29.

АТ Республики Беларусь

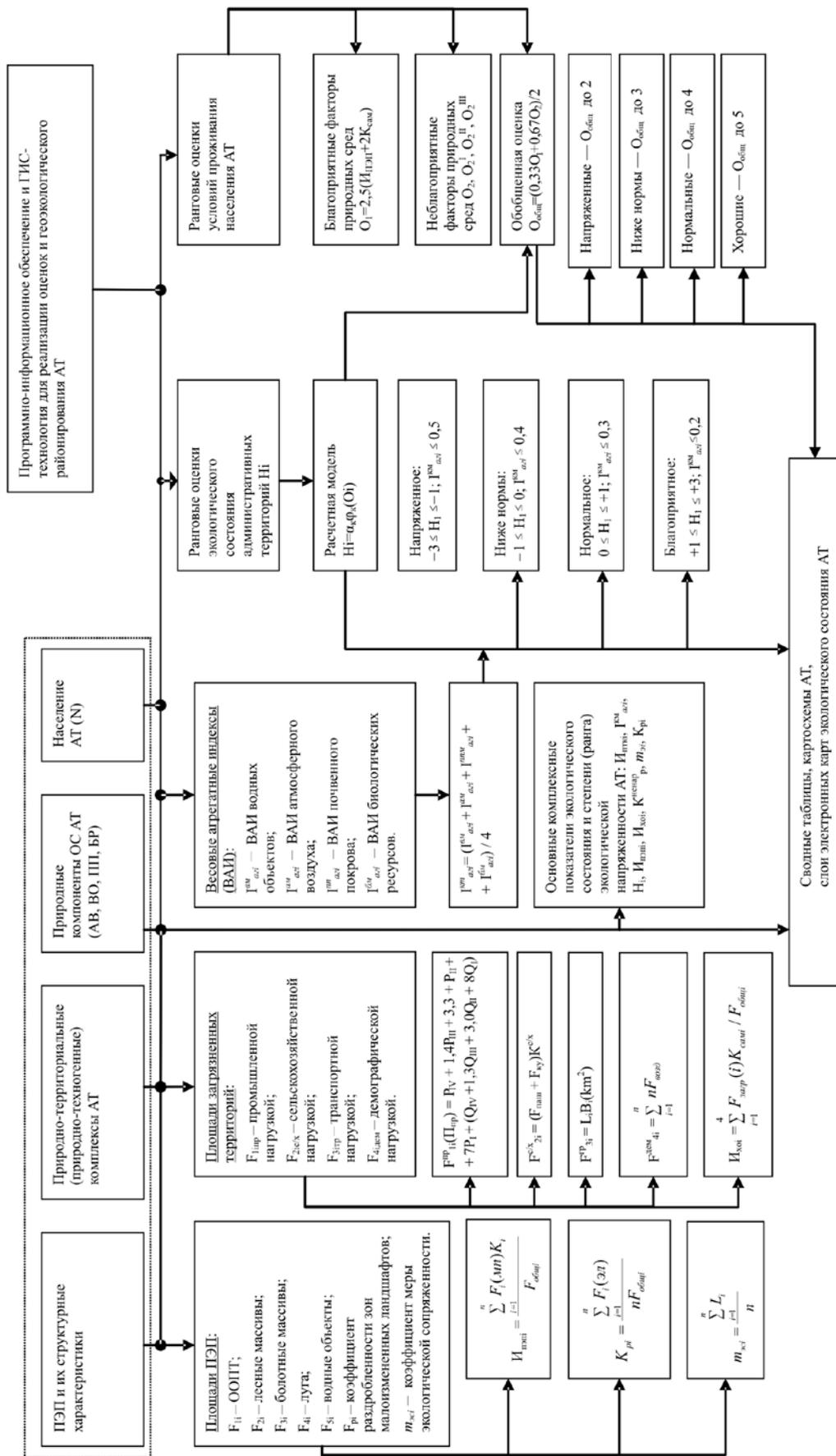


Рис. 2. Обобщенная структурно-алгоритмическая схема комплексной оценки и геологического районирования АТ по степени экологической напряженности

На рисунке 3 показана для примера картосхема Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечетные номера) и загрязненными (четные номера) зонами, а в таблице 4 приведены исходные расчетные данные для построения картосхемы и формулы, по которым производились расчеты. Для построения картосхем использовались ГИС ArcView.

Приведенные выше расчетно-аналитические показатели и примеры расчетов для построения картосхем позволяют обоснованно выполнять весь комплекс аналитических и практических задач в области геоэкологического районирования АТ для решения таких важных проблемных вопросов, как:

1. Разработать географическую карту Республики Беларусь применительно к геоэкологическому районированию АТ по степени их экологической напряженности, ХО территорий с учетом природно-ресурсного потенциала регионов.

2. Использовать для научного обоснования размещения промышленных объектов и агропромышленных комплексов в агрогородках и свободных экономических зонах республики с учетом их природно-промышленного потенциала и ХО территорий, а также с необходимостью сохранения целостности природных ландшафтов и соблюдения благоприятных условий проживания населения.

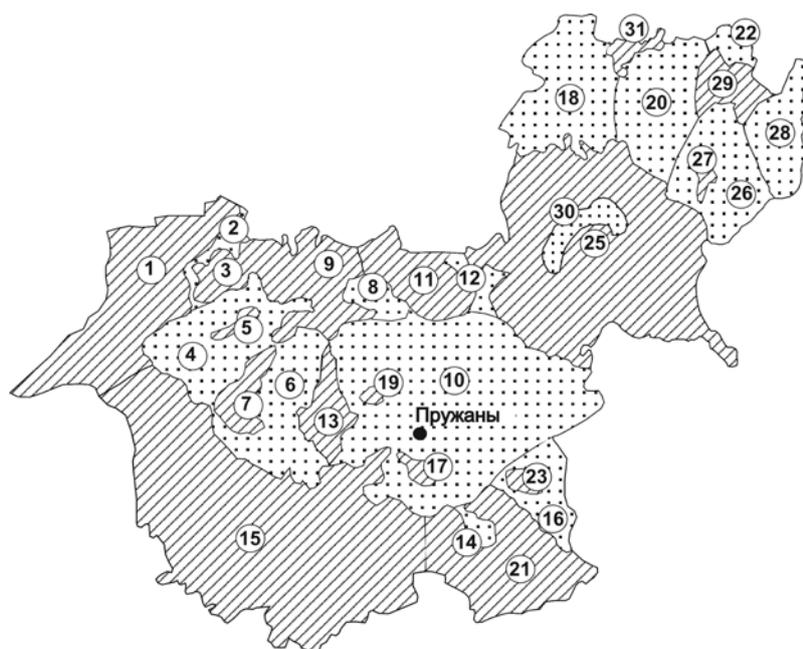


Рис. 3. Картосхема Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечетные номера) и загрязненными (четные номера) зонами

3. Научно обосновать реализацию инновационных проектов в составе Государственной программы инновационного развития страны и инфраструктуры технологических процессов промышленных производств, реализуемых в рамках АТ районного и регионального (областного) уровней.

Литература:

1. Белоцерковский, М. Ю. Районирование России по степени экологической напряженности / М. Ю. Белоцерковский [и др.] // Вести Моск. ун-та. Серия 5. География. — 1993. — № 6. — С. 22–30.
2. Кочуров, Б. И. Районирование территории России по степени экологической напряженности / Б. И. Кочуров [и др.]. — М.: Ин-т географии, РАН, 1993. — С. 119–125.
3. Блануца, В. И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В. И. Блануца. — Новосибирск: Наука, 1993. — 195 с.
4. Кочуров, Б. И. Принципы и критерии определения территорий экологического бедствия / Б. И. Кочуров, Л. Л. Розанов, А. В. Назаревский // Изв. РАН, сер. географ. — 1993. — № 3. — С. 67–75.
5. Кочуров, Б. И. Экологический риск и возникновение острых экологических ситуаций / Б. И. Кочуров // Изв. РАН, сер. географ. — 1992. — № 3. — С. 112–122.
6. Оценка состояния и устойчивости систем. — М.: ВНИИ природа, 1992. — 127 с.
7. Шестаков, А. С. Принципы классификации экологогеографических ситуаций / А. С. Шестаков // Изв. РГО, 1992. — Т. 124. — вып. 3. — С. 241–249.
8. Михайлов, А. Классификация чрезвычайных ситуаций / А. Михайлов, А. Пашенко. — М.: Информационный центр ГКЧС России, 1995. — 7 с.
9. Пиничин, М. А. Гигиенические основы оценки суммарного загрязнения воздуха населенных мест / М. А. Пиничин // Гигиена и санитария. — 1985. — № 1. — С. 66–69.
10. Методика экологической и социально-экономической оценки природных ресурсов как составной части национального богатства. — Мн.: НИЭИ, 1998. — 116 с.
11. Закон Республики Беларусь об охране окружающей среды. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2002. — 80 с.
12. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 39. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2002. — 222 с.

Таблица 4

Исходные данные для расчета структурных показателей территории

Условно ненарушенные зоны		Загрязненные зоны		Сопряженные зоны	
номер зоны	площадь, га	номер зоны	площадь, га	номер зоны	расстояние, км
1	15 600	2	1808	1-2	8,6
3	2400	4	11700	1-4	10
5	49 572	6	11360	2-3	3
7	2448	8	1700	3-4	8,2
9	7672	10	35748	4-5	3,4
11	5980	12	2016	4-7	6,8
13	3520	14	1000	6-9	14,4
15	38 760	16	5040	7-6	4,6
17	576	18	11164	6-15	13,8
19	416	20	8400	6-13	4,6
21	14 884	22	1740	9-8	6,4
23	644	24	9000	8-11	5,4
25	41 600	26	5600	19-10	9,4
27	512	Ср. знач.	8175	17-10	8
29	3328			14-23	7
31	1120			14-21	4,2
Ср. знач.	11 814			21-16	8,2
				23-16	3
				10-25	2,3
				18-25	17,5
				25-24	16
				18-31	7
				31-20	6,4
				20-29	8
				24-29	9,2
				29-26	7,8
				Ср. знач.	7,8

Расчет:

$$K_p^{\text{ненар}} = \frac{F_{\text{усл. нен}}}{F_{\text{общ}}} = 0,0417 \quad m_{\text{эс}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i = 7,8 \text{ км}$$

$$K_p^{\text{загр}} = \frac{F_{\text{загр}}}{F_{\text{общ}}} = 0,0288$$

13. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 8. — Минск: БелНИЦ «Экология», 1999. — С. 76–152.

14. Гатих, М. А. Научно-методические рекомендации по решению проблем анализа, оценки и управления качеством окружающей среды / М. А. Гатих [и др.]. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2005. — 40 с.

15. Лис, Л. С. Методические рекомендации по количественной оценке экологического состояния природно-территориальных комплексов / Л. С. Лис. — Мн.: ООО «Принтгрупп», 2004. — 94 с.

16. Богдевич, И. М. Экологические аспекты применения удобрений в Белорусской ССР / И. М. Богдевич [и др.] // Экологические проблемы химизации в интенсивном земледелии: Тр. ВИАУ. — М., 1990. — С. 51–55.

17. Повороженко, В. В. Транспорт и охрана окружающей среды / В. В. Повороженко, С. Н. Резер,

Ю. К. Казаров // Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. — М., 1980. — Т. 7. — С. 114–119.

18. Воздействие выбросов транспорта на природную среду / Тр. Ин-та биологии АН Латв. ССР. — Рига, 1989.

19. Никифорова, Е. М. Органические загрязнители в почвах придорожных экосистем / Е. М. Никифорова, Т. А. Теплицкая // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем. — М., 1981. — С. 210–220.

20. Канцеровская, И. В. Изучение расселения как фактор воздействия на среду / И. В. Канцеровская, М. П. Крылов // Географические аспекты взаимодействия в системе «человек – природа». — М., 1978. — С. 90–106.

21. Кочетков, А. В. Учет требований сохранения и улучшения окружающей среды при формирова-

нии системы населенных мест. Градостроительство / А. В. Кочетков, В. В. Владимиров. — Киев, 1977.

22. Пучкаева, Т. М. Развитие сети населенных мест Белорусской ССР / Т. М. Пучкаева; обзор. информация. БелНИИНТИ. — Мн., 1979.

23. Войтов, И. В. Основы информационного обеспечения природоохранной деятельности / И. В. Войтов, М. А. Гатих. — Мн.: БГУ, 2004. — 460 с.

24. Рыбалов, А. А. Качество окружающей среды: методы и подходы оценки / А. А. Рыбалов // Экологическая экспертиза. — М.: ВИНТИ, 2001. — С. 12–67.

25. Методика расчета выбросов окислов азота из вагранок. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при неконтролируемом сжигании нефти и нефтепродуктов // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 27. — Мн.: Минприроды, 2001. — 200 с.

26. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ из резервуаров // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 20. — Мн.: Минприроды, 1997. — 124 с.

27. Методика определения валовых газовыделений при изготовлении литейных песчаных стержней в нагреваемой оснастке // Сборник нормативных до-

кументов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 21. — Мн.: Минприроды, 1998. — 166 с.

28. Методика расчета выбросов ЗВ в атмосферный воздух при использовании лакокрасочных материалов. Методика расчетно-аналитического определения выделений и выбросов ЗВ в атмосферный воздух при производстве готовых лекарственных форм. Методика инструментально-расчетного определения выбросов ЗВ в атмосферный воздух от неорганизованных источников аппаратных дворов технологических производств. Методика инструментально-расчетного определения выбросов с поверхностей выделения загрязняющих атмосферу веществ // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 33. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2001. — 202 с.

29. Расчет выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных источников автотранспортных предприятий при горячей обработке металлов, при использовании лакокрасочных материалов, от неорганизованных источников выделения пыли на зерноперерабатывающих предприятиях и элеваторах // Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды, вып. 39. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2002. — 222 с.

Summary

I. Voitov, M. Gatih, L. Lis, V. Rybak

SCIENTIFICALLY-METHODICAL PRINCIPLES OF THE ANALYSIS AND ESTIMATIONS OF A TECHNOGENIC CONDITION OF ADMINISTRATIVE TERRITORIES BY METHODS AND MEANS OF GEOECOLOGICAL DIVISION INTO DISTRICTS

The new scientifically proved innovative principles of geoecological division into districts of administrative territories of Belarus on a degree of ecological intensity in which basis are put interconnected ecological, landscape and resource factors with the technogenic loadings expressed in the form of economic освоенности of territories are offered.