

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 324.354(478)+504.062

И. В. Войтов

Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ПРИРОДНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РЕСУРСОБЕСПЕЧЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье кратко изложены анализ и оценки показателей управления экологическим состоянием основных природных ресурсов, используемых в народном хозяйстве Беларуси, расчеты техногенных нагрузок на природные компоненты окружающей среды (атмосферный воздух, почвенный покров, водные ресурсы).

Уделено внимание расчетам транспортной, демографической, сельскохозяйственной, промышленной и других нагрузок на природную окружающую среду. Рассмотрена обобщенная комплексная оценка экологического состояния территорий административных районов.

Ключевые слова: природная окружающая среда, природные ресурсы, техногенная нагрузка.

I. V. Voitau

Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF MANAGEMENT PERFORMANCE EVALUATION METHODS ECOLOGICAL STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT AND RESOURCE SUPPLY MODERN INNOVATIVE INDUSTRIES

The article briefly presents the analysis and evaluation of indicators of environmental management of basic natural resources used in the national economy of Belarus, the calculations of man-made loads on the natural components of the environment (air, soil, water resources).

Attention is paid to the calculations of transport, demographic, agricultural, industrial and other loads on the natural environment. The generalized complex assessment of the ecological state of the territories of administrative regions is considered.

Key words: natural environment, natural resources, technogenic load.

Введение. Современные тенденции развития цивилизации, природопользования и природоохранной деятельности требуют пристального внимания к проблемам сохранения качества окружающей среды (ОС). Одно из важных решений таких задач связано с разработкой методов оценки и управления экологическим состоянием природных компонентов, их возможной трансформацией и сохранением естественных природных показателей под воздействием все нарастающих технологических нагрузок. В связи с этим в отечественной и зарубежной литературе много работ посвящено вопросам методологии природоохранного назначения, различающихся как методами анализа и оценок состояния ОС, так и практическими задачами для решения данной глобальной проблемы.

Основная часть. В Белорусском государственном технологическом университете разработан и научно обоснован вариант решения про-

блемы управления качеством ОС, базирующийся на анализе и оценке экологического состояния основных природных сред (ПС) (водных объектов, атмосферного воздуха, почв и почвенного покрова) и природно-территориальных (природно-техногенных) комплексов (ПТК), с системой природоохранных мероприятий, обеспечивающих заданное воздействие на состояние ПС и ПТК с соблюдением условий биосферно совместимого природопользования, прогрессивного развития природных экосистем и благоприятных условий проживания населения.

Принципиальное отличие предложенного метода состоит в том, что на основании системного подхода обосновано понятие экологического состояния административных территорий в виде двух относительно самостоятельных и одновременно взаимосвязанных, взаимодействующих составляющих. Это, во-первых, природно-экологический потенциал территории (ПЭП),

рассматриваемый нами как экологический актив (позитив) ландшафтов, определяющий важнейшие общесистемные свойства – способность выполнять средоформирующую и ресурсовоспроизводящую функции. Во-вторых, это хозяйственная освоенность территории, оцениваемая нами как экологический негатив, характеризующий в первую очередь интенсивность и масштабы техногенного воздействия на природные среды.

В этом случае задача по оценке экологического состояния в определении важнейших приоритетных признаков, отражающих сущность и степень выявления этих составляющих, заключается в комплексировании таких параметров в критерии, адекватно и полно отражающие их взаимосвязь и взаимовлияние.

В составе природно-ресурсного потенциала (ПРП) нами рассматриваются природные элементы, обладающие репродуктивными способностями и обеспечивающие условия позитивного протекания природных процессов. Это, прежде всего, экологический каркас – пространственная система особо охраняемых природных территорий (ООПТ), а также лесные массивы, болота, естественные кормовые угодья, поверхностные водные пространства, кустарники. Данные образования на оцениваемых территориях создают пространственные зоны экологической стабилизации и ландшафтно-стабилизирующие комплексы, препятствующие развитию негативных процессов. Комплексная характеристика ПЭП ($I_{пэп}$), формируемого из первого блока информации для анализа экологического состояния ПТК, определяется выражением [1]

$$I_{пэп} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{i(мл)} \cdot K_i}{F_{общ}}, \quad (1)$$

где $F_{i(мл)}$ – площадь единичного малоизмененного ландшафта; K_i – показатель степени нарушения контура, рассчитанный или назначенный; $F_{общ}$ – общая площадь оцениваемой территориальной единицы.

Для оценки различий в степени изменений элементов структуры территориального комплекса от техногенных воздействий используется показатель – коэффициент самовосстановления – самоочищения [1]:

$$K_{сам} = f(O_{сл} \cdot O_{гкп} \cdot O_{хпп}), \quad (2)$$

где $O_{сл}$, $O_{гкп}$, $O_{хпп}$ – оценки по блокам параметров структуры ландшафта, гидроклиматического потенциала и характеристик почвенного покрова соответственно.

Первый блок информации для анализа и расчета $I_{пэп}$ и $K_{сам}$ состоит из данных, характеризующих природные комплексы, обеспечи-

вающие выполнение важнейших биосферных функций, определяемых нами как ПЭП:

- малоизмененных ландшафтов (МЛ): заповедники, заказники, национальные парки, лесные массивы, водные пространства, естественные кормовые угодья, болота, кустарники;

- гидроклиматического потенциала (ГКП): уровень грунтовых вод, коэффициент поверхностного стока, соотношение осадков и испарения, количество поглощенной радиации, сумма положительных температур;

- показателей структуры ландшафта (СЛ): полнота составляющих компонентов, ранг господствующего комплекса, вертикальное расчленение, современная нарушенность – доли пашни и мелиорированных земель;

- характеристик почвенного покрова: распределение земель по гранулометрическому составу, содержанию гумуса, контурности, уклону, значению рН, закустаренности.

В качестве экологического эквивалента воздействий промышленной, сельскохозяйственной, транспортной и демографической видов нагрузки на оцениваемую территорию принят индекс хозяйственной освоенности ($I_{хо}$), выражающий долю суммарной загрязненной территории в общей площади ($F_{общ}$) [1]:

$$I_{хо} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{загр(i)} \cdot K_{сам}}{F_{общ}}, \quad (3)$$

где $F_{загр(i)}$ – хозяйственно освоенные территории, дифференцированные по источникам воздействия (видам техногенных нагрузок).

Второй блок информации, включающий информационное обеспечение для расчетов $I_{хо}$ – индекса хозяйственной освоенности территорий, состоит:

- из промышленной нагрузки: выбросы, классифицированные по группам токсичности (4 гр.), стоки, классифицированные по группам токсичности (4 гр.), значения коэффициентов токсичности по группам;

- транспортной нагрузки: длина дорог (приведенная) с твердым покрытием и грунтовых, интенсивность движения по дорогам (приведенная), количество транспортных узлов и единиц;

- сельскохозяйственной нагрузки: площадь сельхозугодий (приведенная) – пашни, сенокосы, пастбища, количество внесенных веществ, минеральных удобрений, ядохимикатов, количество животноводческих комплексов, количество животных (в условных единицах), распределение земель по агрохимическим показателям;

- демографической нагрузки: количество городов, количество сельских населенных пунк-

тов, численность населения поселений, статус поселений.

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

1) коэффициент раздробленности зон (K_p) с малоизмененным ландшафтом (ПЭП) и ареалов хозяйственной освоенности [1]:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n F_{эл(i)}}{n \cdot F_{общ}}, \quad (4)$$

где $F_{эл(i)}$ – площадь единичного (элементарного) контура малоизмененных (условно ненарушенных $F_{унн}$) или (и) загрязненных ландшафтов ($F_{загр}$); n – количество учитываемых контуров; $F_{общ}$ – общая площадь оцениваемых территорий.

2) коэффициент меры экологической сопряженности ($m_{эс}$), характеризующий степень размежевания (разнесения) контрастных зон [1]:

$$m_{эс} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}, \quad (5)$$

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

При управлении процессом территориальной организации и экологическим состоянием территорий необходимо стремиться к обеспечению условия [1]

$$K_p^{унн} \rightarrow \max; K_p^{загр} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Рассмотренные главные показатели ($I_{пэп}$, $I_{хо}$, $K_{сам}$, K_p , $m_{эс}$) экологического состояния (ЭС) административных территорий разработаны, широко испытаны и опробованы на отдельных примерах анализа и оценок ЭС трех базовых районов Брестской области – Каменецкого, Пружанского и Брестского. Информационное обеспечение, включающее приведенные выше структурные компоненты в составе двух блоков информации, сформированы из данных Брестского областного комитета Минприроды и доступных статистических сборников [1–3].

Следует отметить, что все показатели и расчетные зависимости для анализа и оценки влияния всех видов технической нагрузки на ПТК и природные среды (промышленная, сельскохозяйственная, транспортная и демографи-

ческая) выполнены применительно к балльной системе оценок. Подробное обоснование необходимости применения этой системы, расчетных формул по каждому виду нагрузок, процедур выполнения расчетов и полученных данных, информационного обеспечения используется для дальнейшей реализации аналогичных оценок.

Расчет техногенных нагрузок на природные компоненты окружающей среды. Расчет промышленных нагрузок [1, 2]. Оценка зоны воздействия промышленных производств выполнена с использованием обобщенного показателя – модуля техногенного давления, который сформирован на основе показателей экологической опасности отраслей промышленности.

Экологическая опасность отраслей оценена по санитарно-гигиеническим нормативам основных ингредиентов выбросов (стоков) с учетом совокупности характеристик производств, отражающих важнейшие показатели воздействия: землеемкости, водопотребления, отходов, объемов продукции, численности производственного персонала и т. д. С использованием имеющейся классификации отраслей промышленности по токсичности выбросов и стоков (разработка МГУ) и на основании имеющихся экспертных оценок предложены весовые коэффициенты для каждого класса производств, причем единица присвоена наименее опасной IV группе (табл. 1) [1, 2].

С учетом высокой пространственной мобильности выбросов промышленных производств в атмосферу и существенного их негативного воздействия на все элементы окружающей среды выбросам в атмосферу присвоено приоритетное значение в формировании модуля техногенного давления. Сточные воды производств, характеризующиеся также высокими показателями токсичности, локализуются в водных потоках территории и в этой связи представляют сравнительно меньшую опасность для окружающей среды, что может быть оценено коэффициентом приведения стоков по воздействию, равному 0,3. Таким образом, обобщенный показатель воздействия промышленных производств ($\Pi_{пр}$) представлен в виде [1, 2]

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

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

Таблица 1

Классификация промышленных выбросов и стоков по группам токсичности [1, 2]

Выбросы (P)				Стоки (Q)			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
Цветная металлургия. Химическая промышленность	Нефтехимическая и микробиологическая промышленность	Черная металлургия и деревообрабатывающая промышленность	Теплоэнергетика, машиностроение, легкая и пищевая промышленность	Микробиологическая промышленность, нефтехимическая, деревообрабатывающая промышленность	Цветная и черная металлургия	Пищевая, топливная промышленность, стройматериалы	Машиностроение, легкая промышленность, стройматериалы
Весовой коэффициент							
7,0	3,3	2,4	1,0	8,0	3,0	1,3	1,0

Расчет сельскохозяйственной нагрузки. Современное сельскохозяйственное производство необходимо рассматривать как комплекс антропогенных факторов, оказывающих многомерное и многоплановое воздействие на все природные среды. По величине отходов, по составу и токсичности загрязняющих веществ, по территориальному охвату оно во многих случаях превосходит промышленность. Для расчета сельскохозяйственной нагрузки $F_{загр}^{c-x}$ (км²) предлагаются зависимости [1, 2]:

$$F_{загр}^{c-x} = (F_{паш} + F_{ку}) \cdot K^{c-x};$$

$$K^{c-x} + 0,0176 \cdot P_{уд} + 1,12 \cdot P_{ях} + 0,0438 \times N_{жив} + 0,0344 \cdot F_{эр}, \quad (8)$$

где $F_{паш}$, $F_{ку}$ – площадь пахотных земель и кормовых угодий (га); K^{c-x} – приведенный коэффициент сельскохозяйственной нагрузки; $P_{уд}$ (кг/га), $P_{ях}$ (кг/га), $N_{жив}$ (усл. ед./га), $F_{эр}$ (%) – количество минеральных удобрений.

Расчет транспортной нагрузки [1, 2]. Среди оцениваемых нами видов загрязнения природной среды транспортная нагрузка в настоящее время в связи с общей в мире тенденцией интенсификации транспортных перемещений является самой значимой. Как свидетельствует мировая статистика, в общем за-

грязнении атмосферы на долю транспорта приходится до 80%, причем основной вред принадлежит автодорожному транспорту. Остальные виды (железнодорожный, воздушный, водный) как по доли перевозимых грузов, так и доли загрязнения окружающей среды составляют незначительные величины [1, 2].

Загрязненную территорию вдоль транспортных сетей (дорог) следует рассчитывать с использованием следующих зависимостей [1, 2]:

$$F_{загр}^{тп} = \sum_{i=1}^n L_i \cdot B_i = 0,126И \cdot 10^{-3}; \quad (9)$$

$$K_{кор} = \frac{75 + 5B_{пн}}{100},$$

где L_i – отдельные участки дорог или дороги, имеющие различную интенсивность движения; B_i – двойная полоса загрязнения дорог (км); $И$ – интенсивность движения транспорта на дорогах (ед./сут); $K_{кор}$ – коэффициент корректировки расчетной ширины загрязненной полосы конкретных участков дорог; $B_{пн}$ – средневзвешенный балл учитываемой дороги, рассчитанный по отдельным ее участкам.

В табл. 2 [1, 2] приведены балльные оценки основных факторов в уравнениях (9).

Таблица 2

Балльные оценки топографических и метеорологических факторов местности [1, 2]

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

Расчет демографической нагрузки. Под демографической нагрузкой мы понимаем непосредственное воздействие населения на природную среду в результате его жизнедеятельности (социальный аспект), а также через хозяйственную деятельность, обеспечивающую индивидуальные интересы (работы на приусадебных и садовых участках, налаживание трудовых и социальных связей, рекреационное воздействие и др.). Сюда относятся воздействия населения на компоненты природной среды, расположенные в непосредственной близости от населенных пунктов (место проживания).

Для расчета демографической нагрузки предлагается система расчетных зависимостей [1, 2]:

$$F_{1загр}^{дем} = \sum_{i=1}^n n \cdot F_{возд};$$

$$F_{возд} = 1,3F_{сельск} + f_n NK; \quad (10)$$

$$K_{кор} = \frac{75 + 5B_{пл}}{100};$$

$$F_{2загр}^{дем} = 1,23 \cdot N_{общ} + 0,84N_{сельск} + 0,084n_{пос}, \quad (11)$$

где $F_{возд}$ – площадь зоны воздействия отдельного поселения (га); f_n – индивидуальный надел земли на одного жителя (0,4 га); N – численность населения (чел.); K – коэффициент сельского уклада жизни ($K1 - 0,5$ (малые города), $K2 - 0,7$ (поселки городского типа), $K3 - 1,0$ (села)); $K_{кор}$ – корректирующий показатель при расчете площади воздействия отдельных поселений; $B_{пл}$ – балл по плотности населения, отнесенный именно к этой зоне; n – количество учитываемых ареалов расселения.

Формула (11) отражает обобщенное регрессионное уравнение, которое может быть использовано для упрощений оценки территориальной единицы ранга административного района и ниже, в котором $N_{общ}$ – общая численность населения (тыс. чел.); $N_{сельск}$ – численность сельских жителей (тыс. чел.); $n_{пос}$ – число поселений (деревень, поселков).

Полученная система комплексной балльной оценки и база данных для их реализации могут быть широко использованы в ряде природоохранных мероприятий, в основе которых лежат контроль и учет всех источников загрязнения ОС, их минимизации с применением законодательных нормативных методов воздействия на природопользователей, оперативных и плановых мероприятий, обеспечивающих уменьшение техногенного влияния на те или иные компоненты природной среды [1, 2].

Все основные показатели комплексной оценки и управления качественным состоянием окружающей среды выполнены, как будет показано ниже, в системе количественных оценок.

Система обобщенной (комплексной) оценки экологического состояния территорий административных районов [1, 2]. Вторым не менее важным этапом в разработке методов анализа и управления качеством ОС заключается в обосновании на базе полученных данных на первом этапе исследований критериев и показателей обобщенных оценок с учетом социального аспекта в экологическом состоянии административных территорий. Важным моментом на этом этапе была разработка информации и критериев для практических расчетов ранговой оценки экологического состояния и условий проживания населения на исследуемых территориальных объектах. Распределение этих объектов по ранговым уровням и условиям проживания позволяет выделить территории, на которых эти оценки приближаются или находятся в неблагоприятных границах, что требует принятия определенных управленческих решений по уменьшению влияния выявленных источников неблагоприятия и снижению их воздействия на состояние здоровья населения [1, 2].

В результате выполнения на втором этапе исследований разработана система комплексной количественной оценки экологического состояния территорий локального уровня (отдельные выделы, административные районы и другие территории), которая предназначена для практического использования специалистами природоохранных служб при решении многих задач в области природопользования и охраны окружающей среды.

Первоначально были определены природные объекты и параметры ПЭП, $I_{пэп}$ и $I_{хо}$, сформированы цели исследований, анализа, оценок и последующих расчетов (рис. 1) [1, 2], в перечень которых могут входить:

- общий анализ экологического состояния территориальных единиц преимущественно административной дифференциации;
- сравнительная оценка экологического состояния конкретной территориальной единицы на фоне общих оценок;
- оценка вклада отдельных категорий природных комплексов в общих показателях системы оценки;
- сравнительная оценка воздействия отдельных видов хозяйственной деятельности на общий показатель техногенного воздействия и комплексное состояние окружающей среды;
- геоэкологическое картографирование территории как исходный материал для анализа и принятия решений.

Такие цели исследования необходимы при решении ряда природоохранных практических задач, требующих принятия управленческих решений, а именно [1, 2]:

1) экспертизе новых производственных и социально-экономических проектов различного уровня;

2) распределении финансовых средств на природоохранные мероприятия по административным территориальным единицам;

3) контроле и оценке экологичности используемых технологий ряда отраслей народнохозяйственного комплекса территорий;

4) оценке биосферной совместимости реализуемого на конкретной территориальной единице вида природопользования и др.

Выбор территориальных единиц обосновывается следующими соображениями.

Для сравнительного анализа в географическом аспекте выбраны наиболее важные обобщенные объекты (три соседствующих района), достаточно представительные для Юго-Западного (Брестская область), Северного (Витебская), Центрального (Минская) и Юго-Восточного (Могилевская и Гомельская области) регионов. Всего для обобщенного анализа выбрано 12 административных районов, включая и районы базового региона [1, 2].

В выборе конкретных районов учитывались априори различия в техногенных нагрузках. Так, Брестский район подвержен значительным транспортным нагрузкам, Полоцкий – достаточным выбросам и стокам нефтехимии, обеспечивающим существенное воздействие на водную среду, в Вилейском наблюдается значительный объем промышленных рубок лесов, Пружанский испытывает значительный уровень сельскохозяйственной нагрузки, в Кормянском районе значительная территория загрязнена радионуклидами. Выбор в качестве обобщенных объектов трех соседствующих районов предоставляет больше возможностей в сравнительном анализе. Кроме того, общность территории и незначительная разнесенность в пространстве обеспечивают в определенном смысле постоянство исходных позиций в части природного фона, а выявленные отличия характеризуют уровень организации и функционирования социально-экономической сферы конкретной административной единицы [1, 2].

Для анализа экологического состояния выборочных территориальных единиц также используются показатели основного звена оценки – $I_{пэп}$ и $I_{хо}$. При этом, как было показано ранее, значительный объем информации, обеспечивающей получение обоснованных выводов по конкретным направлениям исследований, заключен

в оценках отдельных составляющих этих комплексных показателей. Для $I_{пэп}$ в проводимом анализе важны как значения площадей категорий природных элементов, так и, в большей степени, коэффициент биосферной значимости $K_{общ}$, отражающий в интегральной форме имеющиеся биотические условия и уровень антропогенного воздействия в конкретной обстановке. При этом данный показатель важен как дифференцированная оценка по отдельным категориям природных зон, так и в обобщенном виде по всему природному резерву. В совокупности с комплексным показателем $I_{пэп}$ важное значение придается коэффициенту самовосстановления – самоочищения, также характеризующему в интегральном виде геологические, геоморфологические и гидроклиматические показатели оцениваемых территориальных единиц [1, 2].

Для второго показателя основного звена $I_{хо}$ важны, в первую очередь, составляющие техногенных нагрузок (промышленной, транспортной, сельскохозяйственной и демографической), а также ступенчатая детализация по уровням формирующих их воздействующих факторов. Именно по оценке анализа последних, представленных автором в данной статье, проводятся реальные мероприятия по улучшению существующего экологического состояния тех объектов, где это состояние оценивается как неблагоприятное.

Наравне с комплексными показателями основного звена оценки в проводимом анализе состояния территорий административных районов в достаточной степени привлечены и показатели структурной организации – K_p и $m_{эс}$, которые определяют общую оценку с меньшими весовыми коэффициентами по сравнению с основным звеном.

Проведем статистический анализ полученных результатов по выбранным территориальным единицам (12 административных районов).

Полученный комплекс значений $I_{пэп}$, $I_{хо}$, $K_{общ}$, статистические показатели вариаций $I_{хо}$ и составляющих нагрузок по общей выборке представленных административных районов приведены в табл. 3–6 [1, 2].

В табл. 3 и 4 показаны расчетные значения практически всех показателей индексов $I_{пэп}$, $I_{хо}$ и $K_{сам}$, полученных в соответствии со сформированными целями исследований и алгоритмической схемой (рис. 1). В табл. 5 и 6 представлены отдельные статистические показатели вариации и разнообразия индекса хозяйственной освоенности и составляющих выборок нагрузок для административных районов [1, 2].

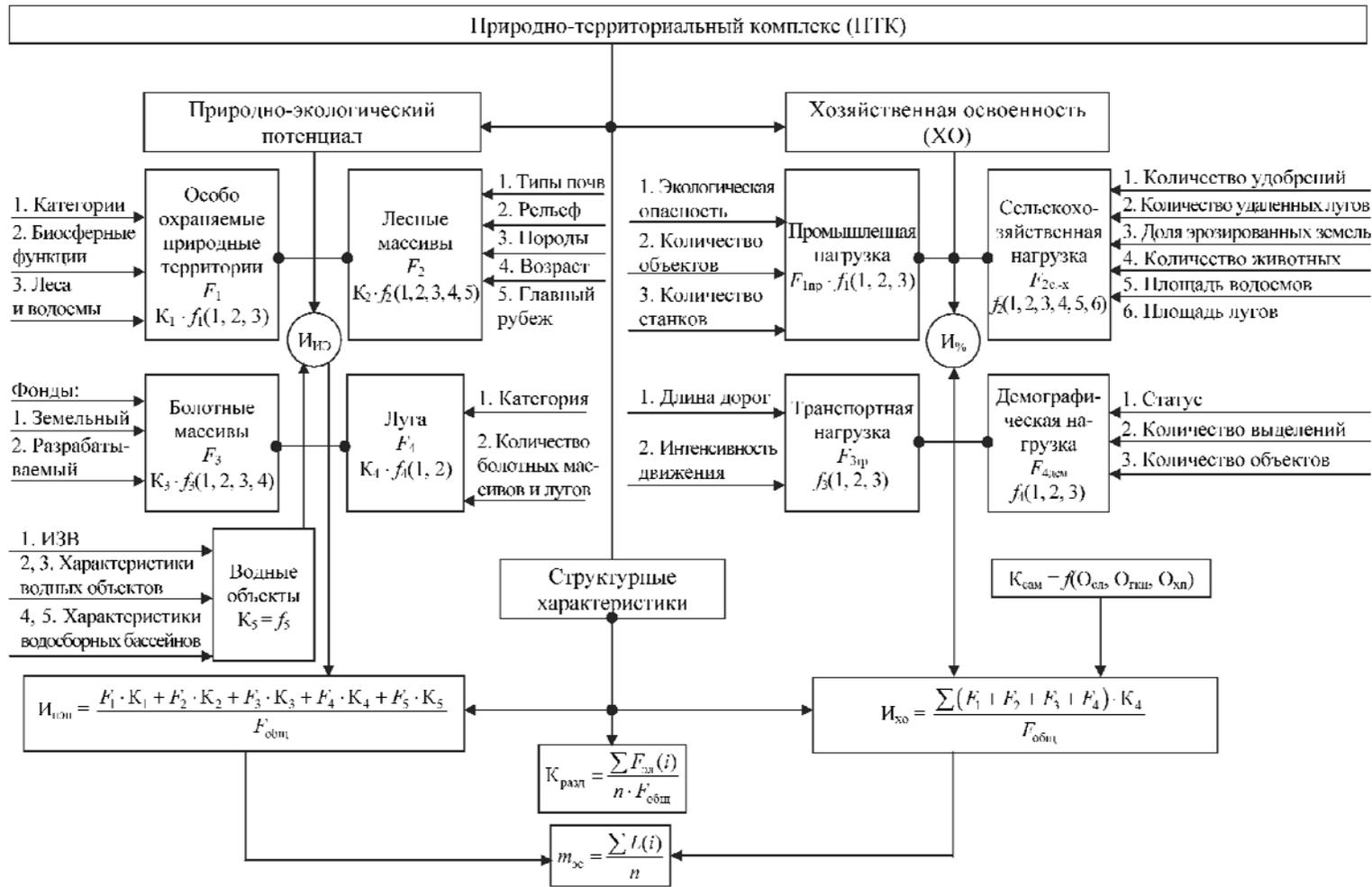


Рис. 1. Алгоритмическая схема экологического состояния административных районов в различных регионах Беларуси [1, 2]

Таблица 3

Значения $I_{пзп}$ и формирующих его показателей для выборки административных районов территории Беларуси [1, 2]

Административный район	Составляющая $I_{пзп}$, га				Коэффициент биосферной значимости природных комплексов (левый столбец) и их доля в значении $I_{пзп}$ (правый)									$I_{пзп}$	$K_{сам}$
	$F_{лес + О_{хр}}$	$F_{с+п}$	$F_{во}$	$F_{б}$	лесные массивы и особоохраняемые территории $F_{лес + О_{хр}}$		сенокосы и пастбища $F_{с+п}$		поверхностные водные объекты $F_{во}$		болотные экосистемы $F_{б}$		$K_{общ}$		
Брестский	46 860	16 470	2 800	1 260	0,76	0,59	0,73	0,05	0,80	0,04	0,29	0,02	0,79	0,42	0,88
Каменецкий	38 600	21 860	1 360	3 520	0,76	0,59	0,76	0,33	0,62	0,03	0,33	0,05	0,62	0,39	0,91
Пружанский	94 400	39 110	2 400	15 760	0,76	0,62	0,85	0,26	0,63	0,02	0,42	0,10	0,72	0,54	0,88
Городокский	119 860	13 025	5 360	27 550	0,69	0,72	0,57	0,08	0,47	0,03	0,85	0,17	0,72	0,55	0,74
Верхнедвинский	53 740	10 980	6 660	6 720	0,58	0,69	0,61	0,14	0,60	0,09	0,48	0,09	0,56	0,37	0,78
Полоцкий	111 785	12 195	5 760	26 630	0,58	0,72	0,87	0,08	0,40	0,06	0,84	0,17	0,54	0,44	0,77
Логойский	90 060	13 170	1 600	8 270	0,70	0,79	0,62	0,12	0,76	0,01	0,39	0,07	0,69	0,48	0,70
Вилейский	72 090	20 970	9 600	19 240	0,70	0,59	0,91	0,17	0,87	0,08	0,59	0,16	0,72	0,50	0,73
Молодечненский	31 880	13 005	1 290	8 150	0,71	0,59	0,81	0,24	0,68	0,02	0,43	0,15	0,66	0,40	0,73
Костюковичский	31 535	14 400	1 200	1 960	0,65	0,64	0,52	0,29	0,80	0,02	0,52	0,04	0,89	0,33	0,76
Краснопольский	35 170	12 700	640	2 580	0,70	0,69	0,58	0,25	0,80	0,01	0,77	0,05	0,76	0,42	0,74
Кормянский	16 650	7 745	1 050	1 310	0,67	0,62	0,79	0,29	0,70	0,04	0,58	0,05	0,72	0,28	0,84

**Значения основных показателей хозяйственной нагрузки исследуемых административных районов
и итоговый индекс хозяйственной освоенности [1, 2]**

Администра- тивный район	Вид нагрузки															Индекс хозяйственной освоенности $I_{хо}$	
	промышленная				сельскохозяйственная				транспортная				демографическая				
	выбросы, т/год	стоки, млн. м ³	$F_{пр. загр.}$ га	процент территории	$F_{пашни + корм. уголья,}$ га	$K_{пр}$	$F_{с.-х. загр.}$ га	процент территории	приведенная длина дорог, км	интенсивность движения, машин/сут	$F_{тр. загр.}$ га	процент территории	в т. ч. сельских, тыс. чел. (всего / работающ.)	сельских насел. пунктов, ед.	$F_{дем. загр.}$ га		процент территории
Брестский	911,0	3,46	3616	2,24	55 200	0,822	45 405	28,08	890	6 270	25 220	15,60	41,5/28,6	142	8 698	5,38	0,513
Каменецкий	700,0	4,01	3 026	1,79	8 690	0,705	6 126	36,32	950	1 290	5 784	3,43	52,2/35,0	237	11 350	6,73	0,483
Пружанский	1477,3	2,86	5 326	1,88	112 500	0,647	72 788	25,68	1 125	1 840	9 770	3,45	64,3/38,6	245	13 210	4366	03357
Городокский	990,0	1,91	4 351	1,45	70 200	0,544	38 190	12,69	1 040	2 960	14 530	4,83	36,5/19,7	399	9 497	3,16	0,221
Верхнедвинский	835,0	1,20	2 786	1,30	67 600	0,509	34 410	16,09	880	2 110	8 764	4,10	18,9/14,7	307	6 140	2,87	0,244
Полоцкий	56934,0	1,60	182 342	19,36	57 900	0,513	29 700	9,45	1 440	2 050	13 930	5,89	33,8/28,7	434	10 215	3,25	0,546
Логойский	961,9	1,97	3 287	1,39	66 300	0,625	41 440	17,51	1 280	2 720	16 433	6,95	43,5/25,7	325	10 240	4,33	0,302
Вилейский	2255,9	2,68	7 815	3,18	85 200	0,626	53 335	21,73	1 610	2 200	16 720	6,81	37,6/21,1	427	9 984	4302	0,357
Молодечненский	2148,1	5,25	7 951	5,82	58 800	0,845	49 685	36,40	950	2 320	10 400	7,62	50,1/41,0	289	12 034	8,82	0,587
Костюковичский	4515,0	1,70	14 949	10,03	50 400	0,548	27620	18,54	640	960	2 900	1,95	46,0/21,6	187	9 043	6,07	0,366
Краснопольский	145,8	0,34	536	0,44	31 500	0,780	24 570	20,01	590	990	2 757	2,24	13,6/7,6	174	3 775	3,07	0,258
Кормянский	1914,0	0,94	4 490	4,7	40 300	0,551	22 205	23,42	680	900	2 890	2,35	18,3/13,4	101	4 225	4,46	0,347

Таблица 5

**Статистические показатели вариации индекса хозяйственной освоенности
и составляющих нагрузок по общей выборке
представленных административных районов Беларуси [1, 2]**

Хозяйственная нагрузка	Размах	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
Промышленная	18,92	5,40	121* (90,1)
Сельскохозяйственная	26,87	7,68	35,4
Транспортная	13,65	3,75	69,1
Демографическая	5,95	1,77	37,3
Индекс хозяйственной освоенности $I_{хо}$	0,325	0,215	57,0

* В скобках приводится значение без учета Полоцкого района.

Таблица 6

**Статистические показатели разнообразия индекса хозяйственной освоенности
и составляющих нагрузок для выборки географических регионов [1, 2]**

Географический регион	Вид нагрузки и индекс хозяйственной освоенности V , %				
	промышленная	сельскохозяйственная	транспортная	демографическая	$I_{хо}$
Юго-Западный	9,8	15,2	76,5	15,0	14,9
Северный	115,2	21,3	14,8	5,2	43,9
Центральный	52,9	23,8	5,0	38,3	29,8
Юго-Восточный	77,5	10,0	7,8	27,2	14,5

Вся выборка значений $I_{пэп}$ близка к нормальному распределению и имеет общие статистические показатели: математическое ожидание $M = 0,425$, коэффициент вариации 19%, среднеквадратичное отклонение $\sigma = \pm 0,81$. Такие статистические характеристики свидетельствуют о существенных различиях анализируемого показателя, что подтверждает достаточную его чувствительность в сформированном виде к специфическим местным условиям конкретного объекта.

Интересно было установить, какими параметрами обусловлены выявленные различия. Основными параметрами, формирующими комплексный показатель $I_{пэп}$, являются площади малоизмененных природных зон и в первую очередь, как следует из полученных коэффициентов уравнений регрессии [1, 2], площади лесных и охраняемых массивов и, в меньшей степени, бо-

лотных экосистем и лугов. Решающее значение в расчете этого индекса принадлежит показателям биосферной значимости природных зон (коэффициент биосферной значимости), которые определяются большим набором характеристик названных объектов. Для лесных массивов – это породный и возрастной состав, преобладающий вид лесных почв, уровень главных рубок; для болотных экосистем этими показателями являются степени осушения и использования таких территорий; для луговых угодий – соотношение улучшенных и естественных лугов и нагрузка от животноводства.

Прежде всего, проанализируем степень разнообразия полученных значений $I_{пэп}$ и показателя биосферной значимости природных образований на уровне зональных группировок административных районов (табл. 7) [1, 2].

Таблица 7

**Статистические показатели разнообразия индекса потенциала ($I_{пэп}$)
и коэффициента биосферной значимости ($K_{общ}$) для географических регионов [1, 2]**

Географический регион	Среднеквадратичное отклонение				Коэффициент вариации			
	$I_{пэп}$	$K_{общ}$	$I_{пэп}$	$K_{общ}$	$I_{пэп}$	$K_{общ}$	$I_{пэп}$	$K_{общ}$
Юго-Западный	0,0154	0,0370	0,0462	0,0688	17,5	5,0	19,2	9,8
Северный	0,0198	0,0271			15,1	4,5		
Центральный	0,071	0,0229			11,6	3,3		
Юго-Восточный	0,0114	0,0732			27,3	9,2		

Полученные результаты свидетельствуют о достаточной дифференциации показателя $I_{\text{пэп}}$ в разрезе выборок по зонам, а общий коэффициент вариации ($V = 19,2\%$) относится к среднему уровню изменений. Значения коэффициента вариации в пределах административных районов значительно выше общего значения, что свидетельствует о сглаживании различий, формирующих показатель объединенной выборки. Наибольшее варьирование ($V = 27,3\%$) наблюдается у объединенной выборки Юго-Восточного региона.

Представляет интерес анализ коэффициента биосферной значимости по отдельным составляющим $I_{\text{пэп}}$. По лесным массивам в целом этот показатель наименее варьирован по всем обследованным районам (коэффициент вариации составляет $9,0\%$). Здесь низкие значения отмечаются для Верхнедвинского и Полоцкого районов в основном за счет высоких объемов промышленных рубок. Высокие значения присущи трем районам Юго-Западного региона ввиду сравнительно меньших объемов рубки и более благоприятного породного состава.

По кормовым угодьям в целом вариации коэффициента биосферной значимости более значительны и попадают в градацию средних изменений ($V = 17,8\%$). Максимальное значение коэффициента биосферной значимости по лугам приходится на Юго-Западный регион (Брестский, Каменецкий и Пружанский районы), Юго-Восточный (Кормянский) и Центральный (Вилейский и Молодечненский районы). В полученных результатах (табл. 7) обобщенный коэффициент биосферной значимости характеризует комплексное техногенное воздействие на природные образования. Проведенные расчеты этого показателя, а он представлен как средневзвешенный по наличествующим площадям, существенно снивелировали верхние его значения на уровне $0,7-0,8$, но и выделили два района с низкими значениями – Верхнедвинский ($0,556$) и Полоцкий ($0,537$).

Представляет интерес взаимосвязь рассчитанных значений $I_{\text{пэп}}$ с географическим положением (долготой и широтой) объединенных групп объектов. Полученные графические зависимости не выявили каких-то определенных закономерностей. В этой связи нами была сформирована задача об установлении статистической связи с помощью дисперсионного анализа. Сюда же присовокуплена задача о взаимосвязи значений $I_{\text{пэп}}$ с принадлежностью к выбранным регионам. При этом предварительный анализ показал, что приоритетной в данном случае является первая задача, а вторая может быть объединена с ней, что позволяет свести дисперсионный анализ к двухфакторной задаче.

В результате проведенного расчета получены значения дисперсий: общей (θ), фактори-

альной (θ_1, θ_2) и случайной (θ_3), что позволило определить наименьшую существенную разность (НСР) [1, 2]:

$$\text{НСР} = t_{\tau} \cdot m_d = 2,18 - 0,238 = 0,519, \quad (12)$$

где t_{τ} – табличное значение критерия Стьюдента; m_d – ошибка разности средних значений $I_{\text{пэп}}$.

Полученное значение НСР значительно превышает разницу между средними значениями анализируемого фактора $I_{\text{пэп}}$, что позволяет сделать вывод при 95% достоверности о том, что значения комплексного параметра $I_{\text{пэп}}$ не связаны с географическим положением изучаемых объектов, а также не выявляется их принадлежность к регионам. Аналогичные результаты получены по широте исследуемых объектов.

Такое заключение, на первый взгляд, может показаться противоречивым, так как распределение природных комплексов (лесов, болотных массивов, лугов, водных объектов), а также ряд их индивидуальных характеристик подчиняются зональным закономерностям. Но в этом случае следует иметь в виду, что на значения $I_{\text{пэп}}$, а именно на коэффициент биосферной значимости, оказывают влияние техногенные воздействия, возникающие на оцениваемой территории, что в общем итоге и затушевывает зональные закономерности. Ведь случайная дисперсия, определяющая влияние случайных неучитываемых факторов, по величине составляет более половины общей дисперсии.

Промышленная нагрузка на территории анализируемых районов – достаточно вариативный показатель. В разрезе выборок по регионам (табл. 5 и 6) аномально высокий коэффициент вариации приходится на Северный ($115,2\%$), достаточно высок он для Центрального и Юго-Восточного регионов.

Демографическая нагрузка в выборках по Центральному и Юго-Восточному регионам проявляет среднее и превышающее среднее варьирование из-за различий в количествах сельских населенных пунктов (Центральный) и доли сельского населения (Юго-Восточный).

Предварительный анализ результатов иллюстрирует, что итоговый показатель хозяйственной нагрузки $I_{\text{хо}}$ обнаруживает определенную степень разнообразия в разрезе выборки районов Беларуси. К достаточно напряженным в отношении общей нагрузки на территориальные комплексы мы относим Брестский, Полоцкий и Молодечненский районы, каждый из которых отличается одним из видов максимальной нагрузки и достаточным уровнем остальных. К выделенной группе примыкает Каменецкий район, имеющий самую максимальную сельскохозяйственную нагрузку из всех районов. Достаточно компактную группу

по общей нагрузке составили Пружанский, Вилейский, Костюковичский и Кормянский районы, в них среднее значение $I_{x_0} = 0,360$, а различия находятся в пределах ошибки расчета. Эти районы относятся к средней степени напряженности хозяйственных нагрузок. И, наконец, к низкой степени напряженности принадлежат районы, у которых значение I_{x_0} составляет менее 0,3 – это Городокский, Верхнедвинский, Логойский и Краснопольский. Все они имеют низкий уровень промышленной и демографической нагрузки [1, 2].

Заключение. Выполненный в статье анализ основных комплексных показателей системы

оценки экологического состояния ПТК позволил произвести отдельную классификацию выбранных районов по благополучию природного фона – запасам малоизмененных природных образований и по напряженности хозяйственных нагрузок на оцениваемой территории. Обобщенная оценка этих показателей позволяет выявить более точные ранги их экологического состояния в конкретном территориальном пространстве и избавиться от возникающей неопределенности, когда по одному из комплексных показателей конкретная территориальная единица относится к классу наилучшей, а по другому – наихудшей.

Литература

1. Войтов И. В. Научные основы анализа и прогнозных оценок состояния природопользования и охраны окружающей среды как основных функций экологически безопасной «зеленой» экономики. Минск: БГТУ, 2017. 578 с.
2. Лис Л. С. Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов. Минск: ИПИПРЭ НАН Беларуси, 2004. 109 с.
3. Гатих М. А., Рыбак В. А., Дрожжа Л. Ч. Научно-методические основы формирования и формализации управленческих решений по совершенствованию и развитию высокотехнологических и наукоемких отраслей экономики в Республике Беларусь // *Новости науки и технологий*. 2014. № 1. С. 17–29.

References

1. Voitau I. V. *Nauchnyye osnovy analiza i prognoznykh otsenok sostoyaniya prirodopol'zovaniya i okhrany okruzhayshchey sredy kak osnovnykh funktsiy ekologobezopasnoy «zelenoy» ekonomiki* [Scientific bases of the analysis and forecast estimations of a condition of nature management and environmental protection as the main functions of ecologic safe land economy]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 578 p.
2. Lis L. S. *Otsenka ekologicheskogo sostoyeniya prirodno-territorial'nykh kompleksov* [Assessment of ecological state of natural-territorial complexes]. Minsk, IPIPRE NAN Belarusi Publ., 2004. 109 p.
3. Gatikh M. A., Rybak V. A., Drojja L. Ch. Scientific-methodical bases of formation and formalization of the office of administrative decisions on improvement and development of technology-intensive industries in the Republic of Belarus // *Novosti nauki i tekhnologiy* [News of science and technologies], 2014, no 1, pp. 17–29 (In Russian).

Информация об авторе

Войтов Игорь Витальевич – доктор технических наук, доцент, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rector@belstu.by

Information about the author

Voitau Ihar Vital'evich – DSc (Engineering), Associate Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rector@belstu.by

Поступила 13.08.2018