

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ КСР ПО КУРСУ «ГЕОЭКОЛОГИЯ»

«ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ»

Геоэкологический анализ и оценка состояния территории проводятся с целью организации рационального использования земельных ресурсов, регламентации производственной деятельности, определения необходимости и разработки комплекса природоохранных мер. В настоящее время существует несколько подходов в проведении таких исследований: пофакторная оценка состояния окружающей среды с дальнейшей интеграцией показателей; использование комплексных показателей, характеризующих состояние реципиентов, воспринимающих негативное воздействие факторов окружающей среды; определение и сопоставление ресурсных потенциалов территории с антропогенным давлением [1].

Задание 1. Природно-техногенные геосистемы и их классификация.

Теория и методика.

Развитие человеческого общества привело к тому, что природные геосистемы постепенно вытесняются системами, имеющими техногенную составляющую. Устойчивое функционирование природно-техногенных геосистем возможно только при выполнении принципа сбалансированности: совокупная антропогенная нагрузка, включающая все формы техногенного угнетения природной подсистемы, не должна превышать потенциал самовосстановления последней.

Реальные природно-хозяйственные комплексы могут существенно отличаться от идеальных природно-техногенных геосистем (ПТГ) но взгляд на них с точки зрения соответствия характеристикам ПТГ позволяет наиболее обосновано подходить к регламентации хозяйственной деятельности.

Масштабы и формы производства, их сочетание с природными условиями весьма разнообразны. Это приводит к необходимости классификации ПТГ, основанной на некоторой обобщенной количественной характеристике. Так как вариабельность природно-производственных комплексов в значительной мере определяется, с одной стороны, плотностью населения и техногенной насыщенностью территории, а с другой, - принадлежностью к природной зоне, авторы [2], используя энергетический подход для сравнения природных и производственных потенциалов территории, предлагают в качестве такой характеристики **эргодемографический индекс (ЭДИ)**, рассчитываемый по формуле

$$\text{ЭДИ} = 1 + [(0,01\rho \varepsilon)/(\rho_0 R_c S)] , \quad (1)$$

где ρ - плотность населения территории, чел/км²; ρ_0 - средняя плотность населения страны, чел/км²; R_c - суммарная солнечная радиация на данной территории, ккал/см²год; S - площадь территории, км²; ε - общий расход топлива, горючего и топливных эквивалентов электроэнергии в территории, тут/год (тут - тонна условного топлива, соответствующая примерно количеству тепла, выделяемого при сгорании одной тонны высококачественного каменного угля, 1 тут=29,3·10⁹ Дж); рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = 123Э + 143Т + 0,85У + 1,1Г + 1,55Ж + 0,38Д , \quad (2)$$

где $Э$ - потребление на территории электроэнергии, полученной от местных нетопливных источников (ГЭС, АЭС) или импортированной из соседних территорий (млн. кВт·ч/год); $Т$ - импортированная тепловая энергия (тыс. Гкал/год); $У$ - сжигание угля в топках на территории (т/год); $Г$ - сжигание газа (тыс. м³/год); $Ж$ - сжигание жидкого топлива (мазут, дизтопливо, бензин и др.) стационарными и мобильными потребителями (т/год); $Д$ - сжигание растительного топлива и торфа (т/год).

В зависимости от конкретных условий ЭДИ может варьировать в пределах не-

скольких порядков, что позволяет довольно отчетливо классифицировать различные ПТГ (табл. 1). Разумеется, полная классификация не может ограничиваться только такой обобщенной характеристикой, она должна включать сведения об отраслевой структуре и о качестве техногенных потоков загрязнения среды. Но в этом случае число градаций намного увеличится.

Практическое задание.

Задача 1. Рассчитайте эргодемографический индекс и определите тип природно-антропогенной системы (табл. 1) для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Указание. Принять среднюю плотность населения страны равной $8,5 \text{ чел/км}^2$.

Задание 2. Пофакторная оценка состояния окружающей среды с последующей интеграцией показателей.

Теория и методика.

Рассматриваемый подход в проведении геоэкологических исследований и оценки состояния территории, как правило, основывается на замерах элементарных поллютометрических показателей, привязанных к определенным координатам и моменту времени. Репрезентативность результатов исследования во многом определяется правильностью выбора точки и момента времени проведения замеров, так как результаты замеров в одной точке распространяются на определенные площади и временные интервалы. Элементарные поллюто-метрические показатели (ЭПП) характеризуют состояние одного компонента среды, в одной точке, по одному из параметров, в единичный момент времени. Их примерами могут быть: данные замеров концентрации поллютантов и уровней физических полей (покомпонентно-поингредиентные показатели), мощности илистых образований и величины смыва почв, оценки состояния единичных биологических объектов и др. За исключением экстремальных значений отдельные ЭПП мало что говорят об геоэкологической обстановке в целом, т.е. являются малоинформативными. Для повышения информативности осуществляется интеграция ЭПП. Проводится она в несколько приемов (рисунок).

Временная интеграция представляет собой операцию осреднения показателей, получения характеристик их динамики и изменчивости. Она может проводиться как для отдельных точек и линий, так и для территориальных единиц. ЭПП, относящиеся к депонирующим компонентам среды, характеризуют геоэкологическую обстановку за некоторый интервал времени: весь период антропогенного воздействия (почвы, донные отложения); ряд лет (кора, древесные ткани), т.е. являются первично интегрированными во временном отношении. Поэтому данный вид интеграции не является неизбежным.

Территориальная интеграция, т.е. переход к средним величинам, характеристикам изменчивости и распределения осуществляется с соблюдением общепринятых процедур по обеспечению репрезентативности: обработка статистически значимых выборок, упорядоченного размещения точек. Данный вид интеграции осуществляется в пределах территориальных единиц, избранных для картографирования в определенных масштабах и, следовательно, выполняется после районирования. Территориальная интеграция, как и временная, не является неизбежной - так характеристики, полученные с помощью дистанционных методов исследования, могут относиться непосредственно к контурам и, следовательно, быть первично интегрированными в пространственном отношении.

Результатами временной и территориальной интеграции являются элементарно обобщенные поллютометрические показатели (ЭОПП), характеризующие состояние среды по одному из параметров за определенный период времени, в точке или в пределах избранной территориальной единицы. Принципиальной разницы между элементарно обобщенными показателями и первично интегрированными показателями, непосредственно относящимися к единицам площади и интервалам времени, нет.

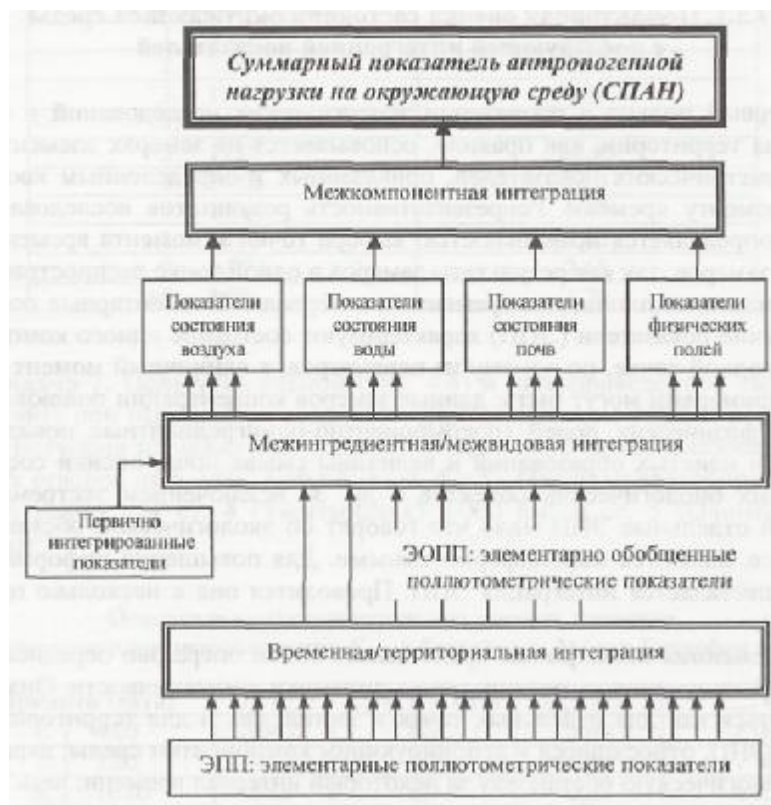


Рис. Схема интеграции показателей геоэкологического состояния территории, по [3]

Межингредиентная интеграция осуществляется с целью получения более или менее полной локальной характеристики состояния одного из компонентов среды. ЭПП или ЭОПП интегрируются в обобщающие показатели через получение относительных (нормированных на гигиенические или экологические нормативы - ПДК, ПДУ, фоновые характеристики) величин и арифметические действия с ними. Примерами межингредиентно интегрированных поллютометрических показателей (МИИПП) являются:

1. Комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА):

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{Gi}}{\text{ПДК}_{c,c,i}} \right)^C, \quad (3)$$

где i - примесь; q_G - среднегодовая концентрация примеси; $\text{ПДК}_{c,c,i}$ - соответствующая среднесуточная предельно допустимая концентрация; C - константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для соответственно I, II, III, IV классов опасности веществ; n - число примесей.

2. Индекс загрязнения воды (ИЗВ):

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right), \quad (4)$$

где n - число веществ, по которым имеют место превышения ПДК; Q - концентрация i -го вещества за соответствующий период осреднения; ПДК_i - предельно допустимая концентрация i -го вещества в воде водоемов.

3. Суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_i - (n - 1), \quad (5)$$

где $K_i = C_i/C_\phi$ (C_i и C_ϕ - фактическая в данной точке и фоновая для типа почв концентрация i -го элемента соответственно); n - число учтенных в данной точке элементов.

4. Интегральные коэффициенты сохранности (ИКС) биоразнообразия:

$$\text{ИКС} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{ij}}{A_{\phi i}} \right), \quad (6)$$

где A_{ij} и $A_{\phi i}$ - фактические и контрольные значения i -го показателя; n - число учетных показателей.

Межкомпонентная интеграция, так же как и межингредиентная, может осуществляться безотносительно к территориальным рамкам. Разнообразие размерностей показателей состояния отдельных компонентов среды приводит к тому, что их интеграция осуществляется на основе квалиметрических оценок с использованием стоимостного, экспертного, вероятностного и смешанного методов. Объектом оценки при этом является относительная значимость отдельных компонентов среды, субъектом оценки - человек, иной биологический вид, экосистема. Такие оценки комплексными названы быть не могут, так как не учитывают взаимосвязей компонентов среды. Весь комплекс воздействий на окружающую среду находит отражение в первично-интегрированных показателях состояния биоиндикаторов. К показателям такого рода относятся характеристики биопродуктивности, распространения индикаторных видов и видового разнообразия.

Межвидовая интеграция пока не вошла в практику. Разные виды антропогенных воздействий обычно рассматриваются отдельно, в рамках разных практических задач и в связи с этим на комплексных геоэкологических картах показываются изолированно. Виды трансформации компонентов среды, не поддающиеся непосредственной гигиенической оценке (нарушение почвенного и растительного покрова; геодинамические процессы и другие факторы риска), в принципе могут быть интегрированы, например, на стоимостной основе.

Суммарный показатель антропогенной нагрузки (СПАН). Суммарный показатель антропогенной нагрузки, определяемой с антропоцентрических позиций, может быть реализован на основе оценки воздействия на здоровье человека состояния отдельных компонентов окружающей среды, которое может быть охарактеризовано через показатели, отнесенные к гигиеническим нормативам, с учетом значимости влияния отдельных факторов, определяемого методом экспертных оценок. По данным [1] значимость фактора продолжительного загрязнения воздуха составляет - 0,27; шума - 0,18; химического загрязнения питьевой воды - 0,18; кратковременного загрязнения воздуха - 0,14; бактериального загрязнения питьевой воды - 0,14; ветрового режима территории - 0,09. Учет ветрового режима как самостоятельного фактора можно считать излишним, ввиду того, что пребывание на открытом воздухе вблизи места проживания составляет, как правило, незначительную долю в бюджете времени. С исключением учета ветрового фактора значимость остальных увеличивается пропорционально в 1/0,91 раза, так чтобы их сумма оставалась равной единице, и тогда показатель суммарной антропогенной нагрузки можно представить в виде

$$P_a = 0,30 IZA_{ср.г} + ИЗВ_{хим} + 0,20 (P_{ш}/P_{шпду}) + IZA_{макс} + 0,15 ИЗВ_{бак} \quad (7)$$

где $IZA_{ср.г}$, $IZA_{макс}$ - комплексные индексы загрязнения атмосферы, среднегодовой и максимальный соответственно; $ИЗВ_{хим}$, $ИЗВ_{бак}$ - индексы загрязнения воды, химического и бактериологического соответственно; $P_{ш}$, $P_{шпду}$ - средний и предельно допустимый уровни шума соответственно.

При расчете шумовой нагрузки необходимо учитывать процент населения, проживающего в зоне акустического дискомфорта n и превышение предельно допустимых уровней в ночное и дневное время. Тогда шумовую нагрузку можно оценить как

$$\frac{P_{ш}}{P_{шпду}} = \frac{1}{2} \left(\frac{L_{дн}}{ПВУ_{шдн}} + \frac{L_{н}}{ПВУ_{шн}} \right) \cdot \frac{n}{100}, \quad (8)$$

где $L_{дн}$ и $L_{н}$ - средние значения уровней шума в дневное и ночное время; $ПДУ_{ш дн}$ и $ПДУ_{ш н}$ - их предельно допустимые уровни.

Для полной характеристики воздействия на человека факторов среды явно недостаточно (отсутствует учет физических полей, а также время воздействия), другие виды воздействия могут быть включены после гигиенической оценки их значимости в форме введения новых коэффициентов взвешивания.

Практическое задание.

Задача 2. По данным табл. 3 определите индекс загрязнения атмосферы городов. Постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задача 3. По данным табл. 4 определите индекс загрязнения воды рек. Постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задача 4. Определите суммарный показатель антропогенной нагрузки при следующих исходных данных:

- среднегодовой уровень загрязнения атмосферного воздуха взять из табл. 3;
- город обеспечивается водой централизованно (**ИЗВ** принять равным 0);
- на территориях шумового дискомфорта проживает:
 - в г. N - 36% населения, средние уровни шума в жилых помещениях составляют днем 64 дБА; ночью - 38 дБА;
 - в г. M - 48% населения, средние уровни шума в жилых помещениях составляют днем 72 дБА; ночью - 46 дБА;
 - в г. K - 28% населения, средние уровни шума в жилых помещениях составляют днем 30 дБА; ночью - 20 дБА.

Постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Указание. Предельно допустимые уровни шума в жилых помещениях в дневное время составляют 40 дБА, в ночное - 30 дБА.

Задание 3. Техногенное загрязнение среды.

Теория и методика.

Антропогенное воздействие на воздушный бассейн включает выбросы вредных веществ в атмосферу и изъятие кислорода. Оценку воздействия предлагается проводить с помощью индекса загрязнения воздуха

$$ИЗ_{воз} = 0,001(P_0/V_0 + A/T) \quad (9)$$

где P_0 - энергетическое потребление кислорода в территории (тыс. т/год); V_0 - биопродукция кислорода в территории (тыс. т/год); A - годовая сумма вредных выбросов в атмосферу от стационарных источников (т/год); T - площадь территории (км²).

$ИЗ_{воз}$ используется обычно для сравнения территорий.

Воздействие на водные объекты оценивается с помощью индекса техногенной нагрузки на водные ресурсы ($ИН_{вод}$):

$$ИН_{вод} = 0,059 \cdot K \cdot M, \quad (10)$$

где K - доля изъятия при водозаборе годового дебита природных вод территории - речного стока и протока (в долях единицы); M - годовой объем загрязненных стоков (млн. м³).

Практическое задание.

Задача 5. Рассчитайте индекс загрязнения воздуха ($ИЗ_{воз}$) для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, построьте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задача 6. Рассчитайте индекс техногенной нагрузки на водные ресурсы ($ИН_{вод}$) для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, построьте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задание 4. Комплексные показатели воздействия на окружающую среду и ее состояние.

Теория и методика.

Для сравнительного анализа геоэкологического состояния среды и силы антропогенного воздействия на нее часто пользуются комплексными показателями, характеризующими ее отдельные блоки: население, производственный потенциал, экосистемы, антропогенное воздействие.

Эти показатели могут иметь самостоятельное значение и вместе с тем связаны между собой. Мощность техногенных потоков влияет на здоровье населения и состояние экосистем, а объем затрат на геоэкологическую безопасность непосредственно связан с численностью населения и производственным потенциалом территории и т.д. Таким образом, указанные показатели находятся в одном информационном поле и допускают перекрестный контроль состояния территории. Применение этих показателей оценки позволяет определить основные направления экологической политики. Примером разработки таких показателей являются работы [1, 4-6 и др.].

Количественное выражение *плотности и состояния здоровья населения на определенной территории* осуществляется с помощью нескольких известных показателей и их относительной значимости. Численные значения (коэффициенты) эмпирически подобраны на основании сопоставления демографических характеристик и заболеваемости в нескольких контрастных по этим параметрам территориях. Для количественных расчетов критерий обозначен как *индекс демографической напряженности* (ИДН). Фактическая величина ИДН для конкретной территории рассчитывается по формуле

$$\text{ИДН} = Y \cdot \lg \rho (0,1Z - 2P + C) \cdot C_d^2 \cdot \mu, \quad (11)$$

где Y - степень урбанизации территории: доля площади территории (от 0 до 1), занятая застройкой городского типа, промышленными объектами и коммуникациями; ρ - плотность населения, чел. /км²; Z - общая годовая заболеваемость населения (на 1000); P - рождаемость (на 1000); C - общая смертность (на 1000); C_d - детская смертность (на 1000); $\mu = 10^4$, масштабный множитель, при котором ИДН = 1.

Если сравниваемые территории характеризуются близкими значениями плотности населения, общей заболеваемости и степени урбанизации можно пользоваться для расчета ИДН упрощенной формулой

$$\text{ИДН} = (16 - 2P + C)/5000 \cdot C_d^2 \quad (12)$$

Производственный потенциал территории можно оценить путем расчета индекса промышленной нагрузки (ИПН), выраженного через годовой объем производства Π , среднегодовые основные производственные фонды промышленности Φ и площадь урбанизированной территории T_y .

$$\text{ИПН} = (\Pi + \Phi)/T_y \quad (13)$$

Устойчивость экосистем сопряжена с климатическими факторами и водным режимом территории. Энергетическое выражение индекса устойчивости экосистем (ИУЭ) рассчитывается по формуле

$$\text{ИУЭ} = \text{ПБМ}_y \cdot \text{УБП}_y / R_n \quad (14)$$

где ПБМ_y - энергетическое выражение плотности размещения биомассы; УБП_y - энергетическое выражение удельной биопродуктивности; R_n - энергия поглощенной радиации. Перевод значений сухого вещества фитомассы и ее продукции в энергетические единицы осуществляется путем умножения на коэффициент 15275 МДж/т (1т сухого вещества фитомассы соответствует в среднем 15275 МДж).

Практическое задание.

Задача 7. Рассчитайте индекс демографической напряженности (ИДН) для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задача 8. Рассчитайте индекс устойчивости экосистем (ИУЭ) для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Задание 5. Оценка геоэкологической емкости территории.

Теория и методика.

Понятие емкости территории [1, 4, 7] используется при проектировании хозяйственно-го освоения и заселения территорий, для регламентации хозяйственной деятельности с целью обеспечения совместимости ее с окружающей средой (геоэкологического равновесия).

Геоэкологическое равновесие наблюдается в том случае, если соблюдаются предельно допустимые антропогенные нагрузки на окружающую природную среду, которые устанавливаются через емкость территории.

Полная геоэкологическая емкость территории - это способность ПТГ удовлетворять потребности населенных мест без нарушения экологического равновесия. Она определяется, во-первых, объемами основных природных резервуаров - воздушного бассейна, совокупностью водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны, во-вторых, мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного атмосферного газообмена, пополнением объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивности биоты.

В геоэкологическую емкость территории входят демографическая емкость, репродуктивный потенциал биоты, экологическая техноемкость территории.

Демографическая емкость территории - максимальное количество жителей, которые могут проживать на определенной территории при условии обеспечения потребностей населения и сохранения экологического равновесия. Демографическая емкость оценивается по наличию земель, пригодных для промышленного и гражданского строительства, водных и рекреационных ресурсов, по условиям организации пригородной агропромышленной базы.

Демографическая емкость определяется исходя из наименьшего значения частных демографических емкостей:

- **по наличию территории:**

$$D_{T1} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot 1000}{H}, \quad (15)$$

где D_{m1} - частная демографическая емкость; S_i - территория, имеющая наиболее благоприятные условия для проживания, га; H - потребность в территории 1000 жителей в зависимости от характера производственной базы (для сельскохозяйственных зон с высокой потребностью в частных наделах она составляет 30-40 га, для промышленных районов H - 20-30 га);

- **по обеспеченности водными ресурсами D_w** (складывается из запасов подземных и поверхностных вод):

$$D_w = D_2 + D_3, \quad (16)$$

где D_2 - частная демографическая емкость по запасам поверхностных вод, чел.; D_3 - то же по запасам подземных.

$$D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i K \cdot 1000}{B_{\text{пов.}}}, \quad (17)$$

$$D_3 = \sum_{i=1}^n \frac{E_i S_i \cdot 1000}{B_{\text{подз.}}}, \quad (18)$$

Где Q - сумма расходов воды в водотоках на входе в территорию, м³/сут., K - коэффициент разбавления сточных вод водой (для северных районов - 0,1, для южных - 0,25; $B_{\text{пов.}}$ - нормативная обеспеченность водой поверхностных источников 1 тыс. жителей в сутки на бытовые, производственные и рекреационные цели, принимается в пределах 1000-2000 м³/сут. (в сельскохозяйственных районах с большим числом индивидуальных хозяйств $B = 2000$ м³/сут.); E - эксплуатационный модуль подземного стока, м³/(сут.га); S - площадь территории, га; $B_{\text{подз.}}$ - нормативная водообеспеченность подземными водами 1 тыс. жителей в экстремальных ситуациях (40 м³/сут.) или 0,04 м³/(сут.чел.);

• **по рекреационным ресурсам.** Определяется из статистически установленных показателей, при которых максимальная численность отдыхающих (40% отдыхающих) в зависимости от климатических условий распределяется следующим образом: в районах с умеренным климатом: в лесу - 75%; у воды - 25%, в районах с жарким климатом: в лесу - 25%; у воды - 75%.

Демографическая емкость по организации отдыха в лесу

$$D_4 = (1000 S F K_{3,3}) / (H M) \quad (19)$$

где S - территория района, га; F - лесистость района в долях от общей площади; $K_{3,3}$ - коэффициент, учитывающий зеленые зоны городов (может варьироваться от 0,1 до 0,8); H - ориентировочный норматив потребности 1 тыс. жителей в рекреации (при средней допустимой нагрузке 5 чел./га принимается равным 2 км²); M - коэффициент распределения отдыхающих в лесу и у воды (в умеренном климате $M = 0,3$, в жарком $M = 0,1$).

Демографическая емкость по организации отдыха у воды

$$D_5 = (2LC 1000) / (K_n M) \quad (20)$$

где L - протяженность водотоков, пригодных для купания, км; C - коэффициент, учитывающий возможность организации пляжей (в лесной зоне - 0,5, в степной - 0,3); K_n - средний норматив потребностей 1000 жителей в пляжах (принимается равным 0,5), км; M - коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в лесу и у воды (умеренный климат 0,1-0,15; жаркий, сухой - 0,3-0,4);

• **по условиям организации пригородной сельскохозяйственной базы**

$$D_5 = (S_s E 1000) / P \quad (21)$$

где S_s - площадь территорий, благоприятных или ограниченно благоприятных для ведения сельского хозяйства, га; E - коэффициент, учитывающий возможность использования сельскохозяйственных угодий под пригородную базу (0,1-1,0); P - показатель ориентировочной потребности 1 тыс. жителей в землях пригородной сельскохозяйственной базы, га (500-2000 га).

Сравнив соотношение частных демографических емкостей территории (D_1 - D_6), определяют наименьшую из них, являющуюся лимитирующей, значение которой определяет геоэкологически оптимальное число жителей для данной территории.

Репродукционный потенциал территории.

Репродуктивный потенциал определяется способностью территории воспроизводить свои основные компоненты - кислород, водные ресурсы, почвенно-растительный покров и т.д.

Репродуктивная способность территории по кислороду определяется через биологическое производство органического вещества растительных сообществ

$$П_k = \sum_{i=1}^n C_i S_i K_1, \quad (22)$$

где C_i - ежегодное производство органического вещества i -м растительным сообществом (принимается равным: для смешанного леса - 1,0-1,5, пашни - 0,5-0,6, пастбища - 0,4-0,5, зеленых зон населенных мест - 0,08-0,1 тыс.т/км²; K_j - коэффициент перехода от биологической продуктивности к свободному кислороду (принимается равным 1,45).

Репродуктивная способность по водным ресурсам определяется по формуле:

$$П_b = \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i K_2, \quad (23)$$

где S_i - площадь территории, занимаемая участками с известными модулями стока, км ; λ_i - модуль поверхностного стока данного участка, тыс.м³/км²; K_2 - коэффициент неравномерности стока (в зависимости от конкретных условий от 0,1 до 1,0).

Для определения репродуктивной способности подземных вод вместо K_2 подставляют коэффициент фильтрации и учитывают возможный водозабор.

Репродуктивную способность почвенного покрова определяют косвенно через показатели эродированности и распаханности почв, залесенности, а также биохимической активности.

Экологическая техноёмкость территории.

Экологическая техноёмкость территории (ЭТТ) - это обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

Расчет превышения ЭТТ сводится к определению фактической интегральной техногенной нагрузки на определенную территорию или совокупность реципиентов и сопоставлению ее с предельно допустимой техногенной нагрузкой на эту территорию. Расчет ЭТТ основан на эмпирически подтвержденном допущении, согласно которому ЭТТ составляет долю общей геоэкологической емкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеризуемого состояния среды от естественного уровня и его колебаний. Превышение этого уровня изменчивости приписывается антропогенным воздействиям, достигшим предела устойчивости природного комплекса территории.

Если трем компонентам среды обитания - воздуху, воде и земле (включая биоту экосистем и совокупность реципиентов) приписывать индексы соответственно 1, 2 и 3, то ЭТТ может быть приближенно вычислена по формуле

$$H_T = \sum_{i=1}^3 \mathcal{E}_i X_i A_i, \quad (24)$$

где H_m - оценка ЭТТ, выраженная в единицах массовой техногенной нагрузки (усл. т/год); \mathcal{E}_i - оценка экологической емкости i -й среды (т/год); X_i - коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде; A_i - коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей), усл. т/т.

Экологическая емкость каждого компонента среды рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = V \cdot C \cdot F, \quad (25)$$

где:

■ V - экстенсивный параметр, определяемый размером территории, площадью (км²) или объемом (км³):

- для воздуха $V_1 = S \cdot H$, (26)

где S - площадь территории, км²; H - приведенная высота слоя воздуха (км), подвергающегося техногенному загрязнению (в зависимости от типа природной геосистемы от 0,01 до 0,05 км);

- для воды V_2 - полный среднегодовой объем всех поверхностных водоемов и водотоков на территории, км³;

- для земли $V_3 = S$; (27)

■ C - содержание (концентрация, плотность) главных экологически значимых субстанций в 1-й среде (т/км² или т/км³):

- для воздуха (содержание кислорода и углекислого газа) $C_1 = 3 \cdot 10^5$, т/км³;

- для воды $C_2 = 10^9$ т/км³;

- для земли C_3 - плотность поверхностного распределения сухого вещества биомассы на территории, т/км²;

■ F - скорость кратного обновления объема или массы среды, (год)⁻¹:

- для воздуха - $F_1 = 55896 \cdot v / \sqrt{S}$, (28)

где v - годовая средняя скорость ветра, м/с;

- для воды $F_2 = (0,0315 \cdot f + 3 \cdot 10^6 \cdot W \cdot S) / V_2$, (29)

где f - сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию, м³/с; W - среднее годовое количество осадков, мм;

- для биоценозов территории $F_3 = P_b / B$, (30)

где P_b - средняя годовая продукция сухого вещества биомассы, т/год;

$B = C_3 \cdot V_3$ - среднегодовая биомасса сухого вещества, т.

Значения коэффициента X :

- для воздуха (естественные колебания содержания кислорода и углекислого газа в атмосферном воздухе)

$$X_1 = 3 \cdot 10^{-6}; \quad (31)$$

- для воды равнинных рек и озер

$$X_2 = (4 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}; \quad (32)$$

- для биоты на основании данных о дисперсиях продукции биоценозов; в зависимости от типа биоценозов изменяется от 0,03 до 1.

$$X_3 = 0,43 \cdot F_3, \quad (33)$$

Суммарная предельно допустимая техногенная нагрузка.

Предельно допустимая техногенная нагрузка [1, 4] определяется; из условия сохранения целостности экосистем и качества среды путем преобразования солнечной энергии для процессов самоочищения, и регенерации.

Энергетический эквивалент суммарной ПДТН рассчитывается по формуле:

$$\text{ПДТН}_Э = k_{ан} \cdot (72R + 123 W + 0,6 P) S - k_e N, \quad (34)$$

где $k_{ан}$ - коэффициент, учитывающий антропогенную насыщенность территории ($k_{ан} = 1 + I_g(\text{ЭДИ})$, где ЭДИ - эргодемографический индекс); R - радиационный баланс территории, ккал/(см²·год); W - средний модуль поверхностного стока, м³/(га·сут.) (при

отсутствии прямых указаний для большинства районов $W \sim 0,01w$, где w годовое количество осадков, мм); P - удельная продукция сухого вещества биомассы, т/(км²·год) ($P = P_0/S$); k_e - нормативный минимум бытового расхода энергии на одного человека, тут/(чел.·год) (в зависимости от климатических условий в пределах СНГ k_e изменяется от 0,5 до 1,5, в среднем для Беларуси можно принять $k_e = 1$ тут/(чел.·год)); N - общая численность населения территории, чел.

Практическое задание.

Задача 9. Определите демографическую емкость территории для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Указание. Расчеты выполнять для частных демографических емкостей D_1, D_2, D_4, D_6 . Принять величину:

- H - потребности в территории 1000 жителей в зависимости от характера производственной базы равной **35 га**;
- K - коэффициента разбавления сточных вод водой равной **0,1**;
- $B_{нов.}$ - нормативной обеспеченности водой поверхностных источников 1 тыс. жителей в сутки на бытовые, производственные и рекреационные цели равной **1500 м³/сут**;
- $K_{з.з}$ - коэффициента, учитывающий зеленые зоны городов равной **0,4**;
- M - коэффициента распределения отдыхающих в лесу равной **0,3**;
- E - коэффициента, учитывающий возможность использования сельскохозяйственных угодий под пригородную базу равной **0,5**;
- P - показателя ориентировочной потребности 1 тыс. жителей в землях пригородной сельскохозяйственной базы равной **1250 га**.

Задача 10. Рассчитайте экологическую техноемкость территории для трех вариантов, используя данные табл. 2. Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Указание. Принять величину:

H - приведенную высоту слоя воздуха, подвергающегося техногенному загрязнению равной **0,02 км**;

X - коэффициента вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде для воды равнинных рек и озер равным **$4 \cdot 10^{-5}$** ;

A_i - коэффициента перевода массы в условные тонны для воздуха и земли **0,5**, для воды **0,4 усл. т/т**.

Задача 11. Определите суммарную предельно допустимую техногенную нагрузку территории для трех вариантов, представленных в табл. 2.

Создайте таблицу исходной информации и расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Указание. Принять величину:

W - среднего модуля поверхностного стока принять равной $\sim 0,01w$, где w годовое количество осадков, мм;

k_e - нормативного минимума бытового расхода энергии на одного человека равной 1 тут/(чел.·год).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1.

Типы природно-техногенных геосистем и эргодемографические индексы территорий с различной степенью хозяйственного освоения

Тип ПТГ	Краткое описание территориального комплекса	ЭДИ
1	Заповедники, государственные природные заказники, национальные парки; малонаселенные хозяйственно неосвоенные территории	0-5
2	Районы без крупных населенных пунктов, лесное и сельское хозяйство, имеются значительные площади непреобразованных ландшафтов	6-10
3	Небольшие города и поселки с перерабатывающей промышленностью местного значения: в окрестностях - сельскохозяйственные территории с преобладанием площади агроценозов	11-50
4	Преимущественно аграрные или лесохозяйственные территории с наличием единичных крупных объектов энергетики, добывающей или перерабатывающей промышленности; вахтовые поселки	51-100
5	Средний город с крупными промышленными предприятиями небольшого числа отраслей и с отчетливым функциональным зонированием территории; в окружении аграрного или аграрно-лесного ландшафта	101-300
6	Крупный город с многоотраслевым промышленным узлом, интенсивными транспортными магистралями в окружении лесного или аграрно-лесного ландшафта	301-500
7	Очень крупный промышленный центр с большой концентрацией различных отраслей индустрии и транспорта, без отчетливого зонирования территории и с индустриально преобразованным окружающим ландшафтом	Более 501

Примечание. Классификация относится к территориям с площадью от 500 до 2000 км².

Таблица 2.

Варианты заданий

№	Параметры	Варианты					
		1	2	3	4	5	6
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	222,3	1670,8	781,4	2161,1	802,3	1726,3
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	49,6	188,8	248,5	248,5	123,6	110,5
3	Леса и насаждения, км ²	71,6	524,6	190,7	1004,9	273,6	944,4
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	70,5	902,0	312,5	721,8	318,5	600,6
Население							
5	Население, тыс. чел.	342,67	55,91	159,13	157,17	124,54	106,08
6	Процент городского населения, %	95,2	48,6	77,0	65,2	70,8	73,7
7	Рождаемость, на 1000 чел.	9,4	11,1	11,8	10,5	9,8	1-1,4
8	Смертность, на 1000 чел.	10,8	13,7	11,7	12,7	11,2	15,7
9	Детская смертность, на 1000 чел.	14,9	16,0	15,9	18,8	11,1	14,0
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	920	960	950	980	890	970
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	563	90	5238	616	251	257
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	933	6897	2656	12349	3606	13855
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	96	880	342	1221	374	1293
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	577	4177	2030	5402	2085	4660
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	109	1000	388	1387	425	1469
16	Потребление O ² , тыс. т/год	1192	197	11360	1315	546	568
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	14,6	1,8	1507,2	38,6	3,7	6,3
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	40	624	2243	1477	212	275
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,05	0,64	1,82	1,25	0,23	0,26
20	Водозабор, млн. м ³ /год	34	19	79	37	22	22
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	1	6	39	21	15	2
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	70	76	88	78	85	94
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	28	34	40	29	35	42
24	Годовое количество осадков, мм	500	630	680	650	540	570
25	Средняя скорость ветра, м/с	2,3	3,8	4,5	2,0	4,6	3,7

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		7	8	9	10	11	12
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	2000,1	954,7	1294,5	628,5	1985,2	1098,8
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	268,1	78,3	173,4	106,2	131,0	183,5
3	Леса и насаждения, км ²	870,0	103,1	639,5	52,1	823,8	287,9
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	692,0	697,9	372,8	441,8	1015,2	536,2
Население							
5	Население, тыс. чел.	239,70	45,38	126,35	79,52	143,24	207,71
6	Процент городского населения, %	78,5	39,9	55,9	75,9	77,7	80,6
7	Рождаемость, на 1000 чел.	11,5	12,9	10,1	10,1	10,8	10,2
8	Смертность, на 1000 чел.	10,9	14,4	11,7	12,6	13,8	12,8
9	Детская смертность, на 1000 чел.	20,6	6,8	13,3	11,2	16,7	18,9
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1010	890	920	930	989	1008
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	933	79	255	3821	440	2814
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	11868	1758	7873	941	10263	3895
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	1127	497	734	304	1179	553
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	5000	2626	3237	1695	4764	2967
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	1280	564	833	345	1339	628
16	Потребление O ² , тыс. т/год	2088	177	543	11920	985	6275
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	14,8	0,8	3,7	212,6	22,4	178,7
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	388	4800	574	3746	715	2440
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,38	2,73	0,62	1,84	0,57	1,22
20	Водозабор, млн. м ³ /год	55	12	28	839	40	66
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	36	6	19	16	33	1
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	70	77	86	98	78	83
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	29	32	38	42	30	38
24	Годовое количество осадков, мм	600	500	700	630	550	640
25	Средняя скорость ветра, м/с	2,0	3,1	2,5	4,2	2,4	4,3

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		13	14	15	16	17	18
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	282,1	481,1	974,8	1317,2	329,8	2580,0
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	66,6	107,3	53,6	212,0	63,6	242,5
3	Леса и насаждения, км ²	66,0	127,5	167,7	367,5	47,2	1055,2
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	110,3	163,4	671,9	578,2	117,1	1196,1
Население							
5	Население, тыс. чел.	142,38	129,63	18,55	65,78	357,21	73,20
6	Процент городского населения, %	82,5	46,2	48,5	62,5	97,3	47,3
7	Рождаемость, на 1000 чел.	10,2	9,7	13,9	10,6	9,5	11,1
8	Смертность, на 1000 чел.	11,0	12,7	12,7	13,1	11,6	14,2
9	Детская смертность, на 1000 чел.	13,1	14,4	11,7	21,4	10,9	12,3
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1015	925	895	945	987	928
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	275	308	70	97	6259	90
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	854	1653	2285	5131	636	13323
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	107	183	422	715	98	1454
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	733	1250	2340	3687	858	6450
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	121	208	479	812	111	1652
16	Потребление O ² , тыс. т/год	607	698	157	220	19465	207
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	4,5	64,8	0,6	2,5	377,0	0,2
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	1092	470	583	6008	678	1150
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,95	0,51	0,72	3,42	0,84	1,24
20	Водозабор, млн. м ³ /год	27	19	32	17	31	13
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	2	3	2	6	17	7
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	92	71	87	93	85	78
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	41	28	36	42	35	30
24	Годовое количество осадков, мм	670	500	560	710	620	570
25	Средняя скорость ветра, м/с	3,3	2,6	3,5	2,9	4,0	3,8

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		19	20	21	22	23	24
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	465,1	1906,9	928,0	1284,8	526,3	1765,2
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	126,0	358,5	280,2	328,9	44,7	323,0
3	Леса и насаждения, км ²	224,6	867,6	303,4	567,9	65,8	703,2
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	91,6	675,0	282,1	370,0	399,5	524,3
Население							
5	Население, тыс. чел.	330,30	172,13	243,97	276,92	40,24	269,05
6	Процент городского населения, %	91,3	60,8	83,6	66,9	70,6	78,0
7	Рождаемость, на 1000 чел.	8,9	10,6	10,7	9,0	11,9	11,1
8	Смертность, на 1000 чел.	11,3	11,8	12,8	10,5	15,2	14,2
9	Детская смертность, на 1000 чел.	12,5	14,2	17,2	9,0	14,7	15,1
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	994	972	1012	903	930	968
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	1390	378	1055	433	79	543
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	2725	10967	3849	7194	1038	10346
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	210	1107	409	630	230	941
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	1206	4958	2320	3341	1420	4589
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	238	1258	465	738	261	1069
16	Потребление O ² , тыс. т/год	3170	844	2315	933	179	1284
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	56,3	11,9	74,8	7,0	1,2	13,9
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	544	1025	1209	1573	6182	515
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,56	0,92	1,12	1,58	3,67	0,68
20	Водозабор, млн. м ³ /год	44	30	119	54	16	64
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	20	17	58	15	2	56
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	83	92	71	86	92	96
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	37	40	31	38	40	42
24	Годовое количество осадков, мм	660	610	580	570	700	600
25	Средняя скорость ветра, м/с	4,3	3,8	2,6	3,6	2,9	4,1

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		25	26	27	28	29	30
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	572,7	1071,7	612,3	1322,8	1558,9	875,9
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	84,7	149,0	192,3	257,9	205,8	99,8
3	Леса и насаждения, км ²	283,5	516,5	237,0	425,9	689,0	54,3
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	183,3	366,1	137,1	572,8	628,5	682,3
Население							
5	Население, тыс. чел.	111,35	401,65	251,73	242,39	68,77	24,91
6	Процент городского населения, %	85,2	84,3	87,4	60,0	57,1	36,5
7	Рождаемость, на 1000 чел.	10,8	10,0	9,3	10,6	10,6	12,8
8	Смертность, на 1000 чел.	13,9	11,7	12,1	12,8	13,0	13,3
9	Детская смертность, на 1000 чел.	18,7	16,4	15,4	18,7	11,0	18,7
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	987	964	995	973	930	908
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	906	2574	394	385	169	35
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	3553	6607	2895	5646	8558	1111
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	336	656	267	699	871	463
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	1432	2787	1530	3440	3897	2453
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	382	745	303	794	989	526
16	Потребление O ² , тыс. т/год	1984	5868	900	868	370	129
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	10,8	124,4	5,5	15,6	4,6	0,8
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	673	448	590	926	980	500
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,72	0,46	0,65	0,89	0,96	0,58
20	Водозабор, млн. м ³ /год	30	88	41	77	12	21
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	45	67	8	29	3	2
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	77	94	88	84	74	86
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	28	40	35	32	27	34
24	Годовое количество осадков, мм	580	650	610	560	500	630
25	Средняя скорость ветра, м/с	3,8	3,5	2,8	3,7	2,3	3,8

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		31	32	33	34	35	36
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	1052,7	1157,1	1652,9	1426,6	117,5	848,7
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	135,8	269,6	201,6	139,8	49,0	115,4
3	Леса и насаждения, км ²	435,8	540,4	623,1	623,4	27,4	399,7
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	432,6	258,0	807,4	68 1,0	34,7	308,0
Население							
5	Население, тыс. чел.	232,65	128,60	124,06	52,65	174,01	99,37
6	Процент городского населения, %	87,9	59,6	72,4	80,1	97,3	66,1
7	Рождаемость, на 1000 чел.	11,5	10,0	10,4	11,2	8,9	10,7
8	Смертность, на 1000 чел.	12,6	11,3	13,2	14,6	11,4	11,5
9	Детская смертность, на 1000 чел.	14,5	16,4	17,8	11,9	20,7	13,1
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	977	966	982	991	1021	996
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	699	187	814	148	417	264
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	5749	6622	8197	7642	354	5138
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	648	592	985	824	39	526
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	2843	2892	4298	3425	304	2292
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	736	672	11199	939	44	598
16	Потребление O ² , тыс. т/год	1520	419	1773	409	870	583
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	39,9	1,5	88,0	7,4	22,1	7,4
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	5630	287	4330	698	220	646
19	Объем поверхностных вод, км ³	2,94	0,27	2,33	0,68	0,22	0,64
20	Водозабор, млн. м ³ /год	79	31	50	38	16	22
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	43	15	29	22	8	12
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	92	78	82	94	77	70
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	40	30	35	42	28	25
24	Годовое количество осадков, мм	680	650	540	570	600	500
25	Средняя скорость ветра, м/с	4,5	2,0	4,6	3,7	2,0	3,1

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		37	38	39	40	41	42
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	2688,0	1 149,7	779,5	220,3	1600,3	761,1
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	467,7	96,6	242,4	59,6	178,4	258,2
3	Леса и насаждения, км ²	1004,2	402,4	335,2	63,7	536,3	185,4
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	816,1	539,2	181,6	68,5	834,0	328,3
Население							
5	Население, тыс. чел.	104,31	24,04	264,94	351,54	52,71	145,11
6	Процент городского населения, %	77,9	44,1	84,6	91,2	44,6	75,0
7	Рождаемость, на 1000 чел.	11,4	12,1	8,9	9,7	12,1	10,8
8	Смертность, на 1000 чел.	16,1	13,8	10,7	12,8	14,7	12,7
9	Детская смертность, на 1000 чел.	15,1	6,9	13,4	15,9	17,0	16,9
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1016	951	1165	930	970	940
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. тут*	3823	39	557	543	98	5242
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	15359	5077	4185	922	6695	2354
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	1375	633	376	94	840	324
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	7257	2875	1947	558	4247	2120
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	1562	719	427	116	1010	354
16	Потребление O ² , тыс. т/год	11450	205	1220	1286	188	11240
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	202,0	1,5	19,8	15,6	2,8	1427,1
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	604	345	807	42	635	2351
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,72	0,36	0,82	0,05	0,78	1,8
20	Водозабор, млн. м ³ /год	59	4	57	36	29	67
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	30	2	73	3	1	35
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	86	94	78	70	76	88
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	35	42	30	28	34	40
24	Годовое количество осадков, мм	700	630	550	500	630	680
25	Средняя скорость ветра, м/с	2,5	4,2	2,4	2,3	3,8	4,5

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		43	44	45	46	47	48
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	2021,1	943,4	1234,2	631,3	1934,5	1087,6
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	258,1	86,4	167,3	112,2	134,0	191,5
3	Леса и насаждения, км ²	862,0	123,1	667,4	65,4	867,5	269,6
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	683,0	656,9	368,5	478,5	1067,6	587,1
Население							
5	Население, тыс. чел.	243,45	56,47	135,47	87,65	152,89	223,56
6	Процент городского населения, %	75,7	42,8	56,7	78,3	75,8	82,4
7	Рождаемость, на 1000 чел.	10,6	13,2	10,6	10,9	11,5	11,3
8	Смертность, на 1000 чел.	10,4	14,9	12,8	13,5	15,4	12,3
9	Детская смертность, на 1000 чел.	20,4	6,7	13,1	11,5	16,9	18,2
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1020	896	926	924	958	1016
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	923	82	262	3834	443	2889
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	11849	1767	7864	953	10289	3887
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	1123	496	735	308	1173	554
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	5020	2634	3242	1687	4745	2956
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	1234	568	835	346	1334	626
16	Потребление O ² , тыс. т/год	2089	173	556	11945	937	6267
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	14,5	1,8	3,4	210,5	21,2	176,4
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	384	4845	547	3758	734	2465
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,36	2,72	0,63	1,82	0,58	1,21
20	Водозабор, млн. м ³ /год	56	13	29	840	41	67
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	35	7	20	17	34	3
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	71	78	85	97	76	82
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	28	31	37	41	32	37
24	Годовое количество осадков, мм	610	520	710	640	560	650
25	Средняя скорость ветра, м/с	2,1	3,2	2,6	4,3	2,5	4,4

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		49	50	51	52	53	54
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	278,4	485,7	985,6	1334,5	325,3	2578,3
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	65,4	115,6	54,7	223,5	66,3	245,7
3	Леса и насаждения, км ²	64,6	126,4	165,8	365,8	45,5	1065,6
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	114,7	165,2	654,3	576,5	134,2	1231,6
Население							
5	Население, тыс. чел.	145,45	132,65	19,57	68,74	376,24	72,23
6	Процент городского населения, %	83,8	47,1	49,6	63,6	96,5	48,4
7	Рождаемость, на 1000 чел.	10,7	9,8	14,2	11,4	9,8	12,4
8	Смертность, на 1000 чел.	11,2	12,6	12,8	13,2	11,7	14,5
9	Детская смертность, на 1000 чел.	13,3	14,5	11,8	21,5	11,6	12,7
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1023	928	892	946	983	934
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	285	323	78	96	6264	95
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	867	1665	2245	5143	638	13387
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	116	178	443	756	102	1487
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	754	1245	2345	3683	856	6452
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	122	209	475	822	116	1653
16	Потребление O ² , тыс. т/год	617	694	156	225	19438	212
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	4,6	64,4	0,7	2,6	377,5	0,3
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	1093	472	582	6004	676	1145
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,94	0,52	0,73	3,45	0,83	1,25
20	Водозабор, млн. м ³ /год	28	20	33	18	31	16
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	3	4	3	7	18	8
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	91	72	89	92	84	76
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	42	29	37	43	36	31
24	Годовое количество осадков, мм	660	520	570	720	630	580
25	Средняя скорость ветра, м/с	3,4	2,7	3,6	3,0	4,1	3,9

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		55	56	57	58	59	60
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	456,6	1912,6	927,3	1286,7	523,6	1767,6
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	125,8	357,8	284,5	327,8	45,8	324,2
3	Леса и насаждения, км ²	225,7	868,9	310,5	566,8	67,6	710,3
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	92,6	674,2	283,2	372,1	401,4	526,4
Население							
5	Население, тыс. чел.	332,34	173,24	244,86	275,84	41,56	258,23
6	Процент городского населения, %	89,8	61,6	84,2	67,8	71,4	76,5
7	Рождаемость, на 1000 чел.	9,1	10,8	10,6	9,2	12,1	11,5
8	Смертность, на 1000 чел.	11,4	11,6	13,1	10,8	15,7	14,8
9	Детская смертность, на 1000 чел.	12,6	14,3	17,8	9,4	14,6	15,3
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	998	974	1015	904	937	971
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	1394	381	1056	438	82	554
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	2728	10956	3834	7192	1034	10357
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	212	1109	411	632	232	943
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	1208	4960	2322	3343	1426	4591
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	240	1260	467	740	263	1071
16	Потребление O ² , тыс. т/год	3172	846	2317	935	181	1286
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	56,6	12,2	75,6	7,2	1,4	14,2
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	546	1027	1211	1575	6184	517
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,57	0,93	1,13	1,59	3,68	0,69
20	Водозабор, млн. м ³ /год	45	31	120	55	17	65
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	21	18	58	16	3	57
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	84	93	72	87	93	97
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	38	41	32	39	41	43
24	Годовое количество осадков, мм	670	620	590	580	710	630
25	Средняя скорость ветра, м/с	4,4	3,9	2,7	3,7	3,0	4,2

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		61	62	63	64	65	66
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	568,4	1069,8	623,5	1345,3	1535,8	876,8
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	85,8	151,2	195,7	258,4	215,6	100,2
3	Леса и насаждения, км ²	286,4	517,6	238,2	434,8	679,5	53,6
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	184,5	368,2	139,3	556,4	625,8	684,8
Население							
5	Население, тыс. чел.	112,45	403,67	252,84	243,43	66,78	25,96
6	Процент городского населения, %	84,5	86,7	86,3	62,4	58,3	35,7
7	Рождаемость, на 1000 чел.	10,6	10,4	9,6	10,5	10,8	12,4
8	Смертность, на 1000 чел.	13,8	11,6	12,4	12,5	13,2	13,7
9	Детская смертность, на 1000 чел.	18,5	16,2	15,3	18,5	11,4	18,6
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	984	968	992	974	932	918
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	916	2545	396	388	172	37
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	3556	6624	2887	5634	8554	1116
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	348	668	245	705	878	474
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	1434	2789	1528	3443	3884	2446
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	384	747	315	786	985	524
16	Потребление O ² , тыс. т/год	1978	5856	912	876	356	132
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	11,5	123,8	6,8	12,8	4,7	1,2
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	675	451	592	928	982	512
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,73	0,47	0,66	0,91	0,97	0,59
20	Водозабор, млн. м ³ /год	31	89	42	78	14	22
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	46	68	9	30	4	3
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	78	93	87	85	73	87
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	29	41	36	33	28	35
24	Годовое количество осадков, мм	590	660	620	570	510	640
25	Средняя скорость ветра, м/с	3,9	3,6	2,9	3,8	2,4	3,9

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		67	68	69	70	71	72
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	1056,4	1167,8	1654,6	1434,5	118,5	844,6
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	125,4	259,3	212,3	141,8	44,7	118,2
3	Леса и насаждения, км ²	436,3	542,3	624,2	625,3	28,4	419,6
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	434,3	256,2	817,5	634,4	36,8	314,5
Население							
5	Население, тыс. чел.	234,62	134,86	132,23	56,79	172,38	101,56
6	Процент городского населения, %	83,5	61,3	75,2	82,3	94,2	63,4
7	Рождаемость, на 1000 чел.	11,6	10,1	10,5	11,3	8,6	10,5
8	Смертность, на 1000 чел.	12,7	11,2	13,5	14,3	11,8	11,2
9	Детская смертность, на 1000 чел.	14,3	16,6	17,4	11,7	20,8	13,5
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	978	963	988	995	1026	1014
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	701	168	834	156	423	247
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	5752	6634	8186	7685	356	5142
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	646	586	978	835	42	576
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	2835	2867	4284	3473	364	2382
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	742	684	11202	943	48	603
16	Потребление O ² , тыс. т/год	1534	445	1764	423	845	575
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	41,7	2,6	78,4	7,6	22,8	7,5
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	5632	289	4332	702	224	648
19	Объем поверхностных вод, км ³	2,73	0,28	2,25	0,66	0,24	0,65
20	Водозабор, млн. м ³ /год	81	32	51	39	17	23
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	44	16	31	23	9	14
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	91	77	81	93	76	69
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	41	31	36	42	29	26
24	Годовое количество осадков, мм	690	660	550	580	610	510
25	Средняя скорость ветра, м/с	4,6	2,1	4,7	3,8	2,1	3,2

Продолжение табл. 2.

№	Параметры	Варианты					
		73	74	75	76	77	78
Структура территории							
1	Общая площадь, км ²	2668,4	1 152,6	782,6	232,5	1646,4	762,8
2	Селитебные, транспортные и промзоны, км ²	468,2	94,3	248,3	62,4	167,2	268,4
3	Леса и насаждения, км ²	1012,6	422,8	338,9	74,6	546,8	182,5
4	Сельскохозяйственные земли, км ²	824,3	542,1	156,8	72,3	845,2	334,8
Население							
5	Население, тыс. чел.	123,56	46,83	268,92	378,56	54,76	154,63
6	Процент городского населения, %	74,8	45,2	85,7	92,3	45,7	76,2
7	Рождаемость, на 1000 чел.	11,6	12,3	8,7	9,8	12,5	11,8
8	Смертность, на 1000 чел.	16,4	14,1	10,8	12,6	14,5	12,6
9	Детская смертность, на 1000 чел.	15,2	6,5	13,6	15,7	17,3	16,4
10	Общая заболеваемость, на 1000 чел.	1023	955	1168	932	974	946
Энергетика							
11	Годовое потребление энергии, тыс. туг*	3843	48	543	556	102	5284
Экосистемы							
12	Среднегодовая фитомасса (сухое в-во), тыс. т	15362	5086	4168	927	6683	2362
13	Продукция фитомассы, тыс. т/год	1385	642	386	96	854	343
14	Поглощенная радиация, ПДж/год **	7263	2881	1953	562	4258	2132
Воздушная среда							
15	Биопродукция O ² , тыс. т/год	1554	723	432	127	1028	363
16	Потребление O ² , тыс. т/год	11467	216	1224	1275	158	11234
17	Выбросы аэрополлютантов, тыс. т/год	203,8	2,7	21,6	15,6	3,4	1431,8
Водная среда							
18	Речной сток и проток, млн. м ³ /год	606	347	809	44	637	2342
19	Объем поверхностных вод, км ³	0,73	0,37	0,83	0,06	0,79	1,9
20	Водозабор, млн. м ³ /год	60	5	58	37	30	68
21	Загрязненные стоки, млн. м ³ /год	31	3	74	4	2	36
Климатические характеристики							
22	Суммарная солнечная радиация, ккал/см ² ·год	87	93	79	71	77	89
23	Радиационный баланс, ккал/см ² ·год	36	41	31	29	35	40
24	Годовое количество осадков, мм	710	640	560	510	640	690
25	Средняя скорость ветра, м/с	2,6	4,3	2,5	2,4	3,9	4,2

Таблица 3.

Средний уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. N ($\mu\text{г}, \text{мг}/\text{м}^3$)

Примеси	$\mu\text{г}, \text{мг}/\text{м}^3$			пдк _{с.с.}	Класс опасности
	г. N	г. М	г. К		
Взвешенные вещества	0,1	0,2	0,3	0,15	3-4
Диоксид серы	0,001	0,01	0,006	0,05	3
Оксид углерода	3,0	4,0	2,0	3,0	4
Диоксид азота	0,08	0,1	0,06	0,04	3
Оксид азота	0,06	0,08	0,04	0,06	3
Сероводород	0,001	0,05	0,03	0,05	2
Фенол	0,007	0,06	0,02	0,003	2
Сажа	0,01	0,08	0,05	0,05	3
Углеводороды	7,0	9,0	5,0	1,5	4
Аммиак	0,11	0,32	0,08	0,04	4
Формальдегид	0,003	0,06	0,009	0,003	2
Бензол	0,23	0,42	0,34	0,1	2
Водород цианистый	0,001	0,001	0,001	0,001	1
Ксилол	0,11	0,23	0,18	0,2	3
Толуол	0,3	0,8	0,6	0,6	3
Бенз(а)пирен, 10^{-6}	0,9	1,8	1,2	1,0	1
Тяжелые металлы, 10^{-3} :					
железо	0,07	0,45	0,24	2,0	2
кадмий	0,04	0,82	0,45	1,0	1
кобальт	0,06	0,36	0,14	0,3	2
марганец	0,03	0,34	0,09	0,63	2
медь	0,03	0,27	0,16	2,0	2
никель	0,02	0,68	0,35	1,0	1
ртуть	0,01	0,23	0,12	0,3	1
свинец	0,01	0,26	0,14	0,3	1
хром	0,04	0,85	0,48	0,78	2
цинк	0,05	0,78	0,65	2,0	2

Таблица 4.

Характеристика загрязненности поверхностных вод

Показатели качества	пдк, мг/л	Средняя концентрация, мг/л		
		р. Ока	р. Москва	р. Яуза
Растворенный кислород	5,0	10,1	10,1	9,09
БПК ₅	2,0	3,15	4,28	5,47
Взвешенные вещества	0,75	59,4	46,5	77,0
Фенолы	0,001	0,002	0,004	0,005
Нефтепродукты	0,05	0,22	0,27	0,52
Азот аммонийный	0,39	0,9	0,6	1,4
Азот нитритный	0,02	0,02	0,037	0,077
Азот нитратный	9,0	0,42	0,45	0,82
Фосфаты	0,2	0,06	0,057	0,079
Медь	0,001	0,008	0,012	0,016
Формальдегид	0,05	0,02	0,085	0,1
Железо общее	0,1	0,04	0,46	0,6
Хлориды	300,0	187,0	120,0	169,0
Минерализация	1000,0	287,6	308,5	596,4

* тут - тонна условного топлива, соответствующая примерно количеству тепла, выделяемого при сгорании одной тонны высококачественного каменного угля,

1 тут = $29,3 \cdot 10^9$ Дж.

** 1 ПДж = 10^{15} Дж.

ЛИТЕРАТУРА

1. Природопользование, охрана окружающей среды и экономика / Под ред. А. П. Хаустова. – М.: РУДН. – 2006.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития.- М.: Изд-во РЭА, 1994.
3. Стурман В.И. Основы экологического картографирования. – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995.
4. Сравнительный анализ и оценка экологического состояния Московской области /Под. ред. Т.А. Акимовой.- М., 1994.
5. Эколого-экономическая стратегия развития региона /Под. ред. В.В. Буфала, В.И. Гурмана – Новосибирск: Наука, 1990.
6. Природно-хозяйственные регионы Беларуси / Под науч. ред. А.Н. Витченко. – Мн.: БГПУ, 2005.
7. Витченко А. Н. Геоэкология. Минск: БГУ, 2002.