

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра географической экологии**

А. Н. ВИТЧЕНКО

ГЕОЭКОЛОГИЯ

**Практикум
для студентов географического факультета
специальности 1-33 01 02 Геоэкология
1-31 02 01 География
1-31 02 03 Космоаэрокартография**

**МИНСК
2016**

УДК 502.1:55(075.8)(076.5)
ББК 20.1в.я73
Г12

Утверждено на заседании
учебно-методической комиссии
географического факультета
28 апреля 2016 г., протокол № 8

Р е ц е н з е н т
кандидат географических наук,
доцент В. М. Зайцев

Витченко, А. Н.

Г12 Геоэкология: практикум для студентов геогр. фак. спец. 1-33
01 02 Геоэкология, 1-31 02 01 География, 1-31 02 03 Космоаэро-
картография / А. Н. Витченко. – Минск : БГУ, 2016. – 36 с.

Практикум разработан в соответствии с программой дисциплины «Геоэкология» и содержит методику и приемы выполнения оценки геоэкологического состояния природных и природно-антропогенных геосистем. Включает задания для практических работ и управляемой самостоятельной работы.

Предназначено для студентов географического факультета специальности 1- 33 01 02 Геоэкология», 1-31 02 01 География, 1-31 02 03 Космоаэрокартография.

УДК 502.1:55(075.8)(076.5)
ББК 20.1в.я73

© БГУ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения учебной дисциплины «Геоэкология»: дать знания о свойствах и закономерностях развития географической среды, теоретических основах, принципах, нормативах рационального природопользования и устойчивого развития общества.

Задачи дисциплины: показать значение географической среды для жизнедеятельности человека и общества; научить приемам и методам геоэкологических исследований; сформировать умения использовать знания по геоэкологии при разработке рекомендаций по сохранению целостности географической среды путем оптимизации хозяйственной деятельности человеческого общества, регламентации ресурсопотребления и решении других практических задач в области рационального природопользования.

Геоэкология – одна из интегральных учебных географических дисциплин отвечающих принципам комплексного университетского образования. Она базируется на знании общих закономерностей развития географической оболочки, анализе географических и экологических исследований глобальных проблем человечества и особенностях их регионального и локального проявления. В ходе изучения дисциплины последовательно рассматриваются теоретические и методологические основы геоэкологии; геоэкологические особенности функционирования, динамики и эволюции географической среды и ее компонентов, происходящие в ходе естественных тенденций их развития и антропогенного воздействия, геоэкологические аспекты функционирования природно-антропогенных геосистем, основные геоэкологические проблемы человечества и возможные пути их решения.

При разработке практикума ставилась задача подготовки студентов к самостоятельной научно-исследовательской работе путем формирования практических умений и навыков грамотного применения методов и приемов научных исследований. Задания для практических работ и управляемой самостоятельной работы включают: цель и форму проведения занятия; основные теоретические и методические положения темы; перечень необходимых для выполнения задания материалов и оборудования; содержание задания и методические указания по его выполнению.

Пособие предназначено для студентов IV курса географического факультета специальности 1-33 01 02 Геоэкология, 1-31 02 01 География, 1-31 02 03 Космоаэрокартография.

ТЕМА 1. Природно-антропогенные геосистемы и их классификация

Цель занятия: Сформировать умения определения типа природно-антропогенных геосистем.

Форма проведения: Практическая работа (2 часа).

Теория и методика: Развитие человеческого общества привело к тому, что природные геосистемы постепенно преобразуются в природно-антропогенные. Устойчивое функционирование природно-антропогенных геосистем возможно только при выполнении принципа сбалансированности: совокупная антропогенная нагрузка не должна превышать потенциал самовосстановления природной среды. Реальные природно-хозяйственные комплексы могут существенно отличаться от идеальных природно-антропогенных геосистем (ПАГ). Но их сопоставление позволяет наиболее обосновано подходить к регламентации хозяйственной деятельности.

Масштабы и формы производства, их сочетание с природными условиями весьма разнообразны. Это приводит к необходимости классификации ПАГ, основанной на комплексной количественной характеристике. Вариабельность природно-производственных комплексов в значительной мере определяется плотностью населения, техногенной насыщенностью территории и ее природными особенностями. Для сравнения природных и производственных потенциалов территории можно использовать энергетический подход посредством расчета эргодемографического индекса (ЭДИ) [1]:

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

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).

В зависимости от конкретных условий ЭДИ может варьировать в пределах нескольких порядков, что позволяет довольно отчетливо классифицировать различные ПАГ (табл. 1). Разумеется, это обобщенная характеристика. Для более детальной оценки ПАГ должны учитываться более подробная информация о ее социально-экономических и природных условиях.

Таблица 1.

**Типы и эргодемографические индексы ПАГ
с различной степенью хозяйственного освоения**

Тип ПАГ	Краткое описание ПАГ	ЭДИ
1	2	3
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 необработанных ландшафтов	6-10
3	Небольшие города и поселки с перерабатывающей промышленностью местного значения и преобладанием в окрестностях сельскохозяйственных угодий.	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 отчетливым функциональным зонированием территории; в окружении аграрных или аграрно-лесных ландшафтов	101-300
6	Крупный город с многоотраслевым промышленным узлом, интенсивными транспортными магистралями в окружении лесных или аграрно-лесных ландшафтов	301-500
7	Очень крупный промышленный центр с большой концентрацией различных отраслей индустрии и транспорта, без отчетливого зонирования территории и антропогенно преобразованными окружающими ландшафтами	Более 501

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

Задание и методические указания по его выполнению:

Рассчитайте эргодемографический индекс и определите тип трех ПАГ (табл. 1, приложение).

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

Дополнительные указания.

Принять среднюю плотность населения страны равной 8,5 чел/км².

Значение ε - общий расход топлива, горючего и топливных эквивалентов электроэнергии в территории принять равным годовому потреблению энергии.

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

ТЕМА 2. Антропогенное загрязнение окружающей среды

Цель занятия: Выработать навыки расчета показателей антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды.

Форма проведения: Практическая работа (2 часа).

Теория и методика:

Антропогенное воздействие на воздушный бассейн включает выбросы вредных веществ в атмосферу и изъятие кислорода. Оценка воздействия осуществляется с помощью индекса загрязнения воздуха ($ИЗ_{воз}$):

$$ИЗ_{воз} = 0,001 \left(\frac{P_0}{B_0} + \frac{A}{T} \right) \quad (2)$$

где P_0 - энергетическое потребление кислорода в территории, тыс. т/год;

B_0 - биопродукция кислорода в территории, тыс. т/год;

A - годовая сумма вредных выбросов в атмосферу от стационарных источников, т/год;

T - площадь территории, км².

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

$$ИАН_{вод} = 0,059 \cdot K \cdot M \quad (3)$$

где K - доля изъятия при водозаборе годового дебита природных вод территории (речного стока и протока), отн. ед.;

M - годовой объем загрязненных стоков, млн. м³.

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

Задание и методические указания по его выполнению:

Рассчитайте индексы загрязнения воздуха ($ИЗ_{воз}$) и антропогенной нагрузки на водные ресурсы ($ИАН_{вод}$) для трех вариантов, представленных в приложении.

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

ТЕМА 3. Пофакторная оценка геоэкологического состояния окружающей среды

Цель занятия: Выработать навыки расчета показателей геоэкологического состояния компонентов окружающей среды.

Форма проведения: Практическая работа (2 часа).

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 поллютометрические 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, определение мощности илистых образований, оценка состояния единичных биологических объектов и др. За исключением экстремальных значений отдельные ЭПП являются малоинформативными при комплексной оценке геоэкологического состояния окружающей среды. Для повышения ее информативности осуществляется интеграция ЭПП.

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.

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. Следует отметить, что 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 окружающей 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.

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

Комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА):

$$КИЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{Гi}}{ПДК_{с.с.i}} \right)^C \quad (4)$$

где i - примесь;

$q_{Гi}$ - среднегодовая концентрация примеси;

$ПДК_{с.с.i}$ - соответствующая среднесуточная предельно допустимая концентрация;

C - константа, принимающая значения указанные в табл. 2;

n - число примесей.

Таблица 2.

Классы опасности загрязняющих веществ и значения C

Класс опасности веществ	Значения C
I	1,7
II	1,3
III	1,0
IV	0,9

В соответствии с существующими методами оценки *уровень загрязнения* считается:

- *низким* при КИЗА ниже 5,
- *повышенным* при КИЗА от 5 до 6,
- *высоким* при КИЗА от 7 до 13
- *очень высоким* при КИЗА, равном или больше 14.

Таблица 3.

Критерии градации категорий медико-экологической ситуации в регионе (любом населенном пункте) по уровню КИЗА

Категории медико-экологической ситуации	Показатели загрязнения объектов окружающей среды по уровню КИЗА
Удовлетворительная	< 5
Относительно напряженная	6 – 15
Существенно напряженная	16 – 50
Критическая	51 – 100
Условно катастрофическая	> 100

Индекс загрязнения воды (ИЗВ):

$$ИЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{ПДК_i} \right) \quad (5)$$

где n - число веществ, по которым имеют место превышения ПДК;
 Q_i - концентрация i -го вещества за соответствующий период осреднения;

$ПДК_i$ - предельно допустимая концентрация i -го вещества в воде водоемов.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы, табл. 4.

Таблица 4.

Классы качества вод в зависимости от значения ИЗВ

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	1
Чистые	0,2-1,0	2
Умеренно загрязненные	1,0-2,0	3
Загрязненные	2,0-4,0	4
Грязные	4,0-6,0	5
Очень грязные	6,0-10,0	6
Чрезвычайно грязные	>10,0	7

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.

Таблица 5.

Уровни загрязнения почвенного покрова по суммарному загрязнению тяжелыми металлами (Z_c)

Уровень загрязнения	Z_c	Воздействие на здоровье человека
Низкий	8–16	Наиболее низкие показатели заболеваемости детей, частота встречаемости функциональных отклонений минимальна
Средний	16–32	Повышение уровня общей заболеваемости населения
Высокий	32–128	Высокий уровень общей заболеваемости, рост числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Очень высокий	>128	Высокий уровень заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофии новорожденных)

Таблица 6.

Классы опасности (токсичности) элементов

Класс опасности	Элементы
I	Мышьяк (As), кадмий (Cd), ртуть (Hg), свинец (Pb), цинк (Zn), фтор (F)
II	Бор (B), кобальт (Co), никель (Ni), молибден (Mo), медь (Cu), сурьма (Sb), хром (Cr)
III	Барий (Ba), ванадий (V), вольфрам (W), марганец (Mn), стронций (Sr)

Интегральные коэффициенты сохранности (ИКС) биоразнообразия:

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

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

Межкомпонентная интеграция, так же как и межингредиентная, может осуществляться безотносительно к территориальным рамкам. Разнообразии размерностей показателей состояния отдельных компонентов окружающей 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 окружающей среды, субъектом оценки - человек, иной биологический вид или экосистема. 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.

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 окружающей среды, не поддающиеся непосредственной медико-экологической 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. *СПАН* можно представить в виде формулы:

$$СПАН = 0,30 КИЗА_{ср.г} + 0,20 ИЗВ_{хим} + 0,20 \frac{Пш}{Пш_{ПДУ}} + 0,15 КИЗА_{макс} + 0,15 ИЗВ_{бак} \quad (7)$$

где $КИЗА_{ср.г}$, $КИЗА_{макс}$ - комплексные индексы загрязнения атмосферы, среднегодовой и максимальный соответственно;

$ИЗВ_{хим}$, $ИЗВ_{бак}$ - индексы загрязнения воды, химического и бактериологического соответственно;

$Пш$, $Пш_{ПДУ}$ - 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

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

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;

n – процент населения, проживающего в зоне акустического дискомфорта.

Для качественной оценки воздействия на человека факторов окружающей среды следует использовать более широкий спектр ее характеристик. Другие факторы воздействия окружающей среды на человека могут быть учтены при определении *СПАН* после их гигиенической оценки в форме введения новых взвешенных коэффициентов.

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

Задание и методические указания по его выполнению:

По данным табл. 7 определите комплексный индекс загрязнения атмосферы городов (*КИЗА*).

По данным табл. 8 определите индекс загрязнения воды рек (*ИЗВ*).

По данным табл. 9 определите суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c)

Определите суммарный показатель антропогенной нагрузки городов N, M, K (*СПАН*) при следующих исходных данных:

- среднегодовой уровень загрязнения атмосферного воздуха ($КИЗА_{ср.г}$) определить по данным табл. 7;
- города обеспечиваются 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.

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

Дополнительные указания.

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

Сведения о превышениях максимально разовых концентраций загрязнения воздуха ($КИЗА_{макс}$) не учитывать.

Таблица 7.

Средний уровень загрязнения атмосферного воздуха (q_г, мг/м³)

Примеси	q _г , мг/м ³			пдк _{с.с.}	Класс опасности
	г. N	г. М	г. К		
Взвешенные вещества	0,1	0,2	0,3	0,15	3
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
Ксилол	0,11	0,23	0,18	0,2	3
Толуол	0,3	0,8	0,6	0,6	3

Таблица 8.

Характеристика загрязненности поверхностных вод

Показатели качества	ПДК, мг/л	Средняя концентрация, мг/л		
		р. Ипутъ	р. Гайна	р. Сож
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

Таблица 9.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб почвенного покрова городов, мг/кг

Хим. элемент	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V	As	Sr	
Сi	г. N	152,3	461,1	30,0	32,3	3,7	583,1	88,6	35,0	35,5	209,5
	г. М	26,3	82,7	32,3	23,5	0,9	491,4	51,6	35,0	12,7	193,1
	г. К	133,7	219,6	26,8	22,1	2,7	484,4	46,6	23,4	31,9	155,1
Сф	14,7	85,8	17,5	22,7	0,3	419,0	50,2	6,4	14,2	128,0	

ТЕМА 4. Комплексные показатели антропогенного воздействия на окружающую среду

Цель занятия: Сформировать умение определения комплексных показателей геоэкологического состояния окружающей среды.

Форма проведения: Управляемая самостоятельная работа (4 часа).

Теория и методика:

Для сравнительного анализа геоэкологического состояния окружающей среды и силы антропогенного воздействия на нее часто используются комплексными показателями, характеризующими ее отдельные параметры: население, производственный потенциал, состояние природы, антропогенное воздействие.

Эти показатели могут иметь самостоятельное значение и вместе с тем связаны между собой. Уровень антропогенного воздействия влияет на здоровье населения и состояние природы, 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 геоэкологического состояния территории. Применение этих показателей оценки позволяет определить основные направления экологической политики. Примером разработки таких показателей являются работы [2-5 и др.].

Количественная оценка плотности и состояния здоровья населения на определенной территории осуществляется путем расчета *индекса демографической напряженности (ИДН)* включающего нескольких показателей с учетом их относительной значимости. Численные значения (коэффициенты) определены эмпирически на основании сопоставления демографических характеристик и заболеваемости населения в нескольких контрастных по этим параметрам территориях.

Фактическая величина *ИДН* для конкретной территории рассчитывается по формуле

$$ИДН = Y \cdot \lg p (0,1Z - 2P + C) \cdot C_0^2 \cdot \mu \quad (9)$$

где Y - степень урбанизации территории: доля площади территории (от 0 до 1), занятая застройкой городского типа, промышленными объектами и коммуникациями, отн. ед.;

p - плотность населения, чел./км²;

Z - общая годовая заболеваемость населения (на 1 000 чел.);

P - рождаемость, на 1 000 чел.;

C - общая смертность, на 1 000 чел.;

C_0 - детская смертность, на 1 000 чел.;

$\mu = 10^{-4}$, 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

$$ИДН = (16 - 2P + C)/5000 \cdot C_0^2 \quad (10)$$

Производственный потенциал территории можно оценить путем расчета *индекса промышленной нагрузки (ИПН)*:

$$ИПН = (П + Ф) / T_y \quad (11)$$

где P - годовой объем производства, млрд. руб.;

Φ - среднегодовые основные производственные фонды промышленности, млрд. руб.;

T_y площадь урбанизированной территории.

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

$$ИУЭ = ПБМ_3 \cdot УБП_3 / R_n \quad (12)$$

где $ПБМ_3$ - энергетическое выражение плотности размещения биомассы;

$УБП_3$ - 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).

Таблица 10.

Классификация экосистем по степени устойчивости

Класс устойчивости экосистем	Индекс устойчивости экосистем
Неустойчивые	до 0,10
Слабоустойчивые	0,11 - 0,20
Умеренно устойчивые	0,21 - 0,30
Среднеустойчивые	0,31 - 0,40
Высокоустойчивые	более 0,40

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

Задание и методические указания по его выполнению:

Рассчитайте индексы демографической напряженности (*ИДН*) и устойчивости экосистем (*ИУЭ*) для трех вариантов, представленных в приложении.

По данным табл. 11-13 рассчитайте индекс промышленной

нагрузки (ИПН) в разрезе Республики Беларусь и ее административных областей.

Создайте таблицы расчетных данных, постройте диаграммы, проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

Таблица 11.

Площадь урбанизированной территории

Регион	Годы					
	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Республика Беларусь	1 978,5	1 953,0	1 963,3	2 024,5	2 074,5	2 165,7
Области:						
Брестская	285,2	285,7	286,4	296,2	298,8	304,6
Витебская	411,5	430,9	434,9	466,8	498,1	502,3
Гомельская	411,6	377,2	377,2	391,4	394,2	403,2
Гродненская	229,9	229,0	234,7	236,0	236,8	243,5
Минская	392,3	379,5	379,9	383,1	396,4	399,6
Могилевская	248,0	250,7	250,2	250,8	250,2	312,5

Таблица 12.

Годовой объем промышленного производства, млрд. руб.

Регион	Годы					
	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Республика Беларусь	64502,2	166953,1	347655,5	615861,9	605634,5	673850,1
области:						
Брестская	5689	15897,9	28919,8	55420,7	60120,1	69651,7
Витебская	11681,1	29244,3	60781,1	111765,1	95787,3	105330,6
Гомельская	14655,7	35272,7	75794,6	126691,4	125647,9	140319,3
Гродненская	5382,0	16164,3	30295,4	56603,4	62464,6	69655,9
Минская	21940,3	54563,8	121575,3	207313,5	200880,7	227934,5
Могилевская	5154,1	15810,1	30289,3	58067,8	60733,8	60958,2

Таблица 13.

Среднегодовые основные производственные фонды (млрд. руб.)

Регион	Годы					
	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Республика Беларусь	207513	431561	865672	1198019	1469141	1648586
области:						
Брестская	23478	53664	109254	151834	186375	209519
Витебская	27287	54550	104024	140583	170902	191669
Гомельская	37361	77175	158061	213522	258972	288322
Гродненская	20982	45261	88937	127265	158527	175576
Минская	76555	156806	318893	443351	542768	612220
Могилевская	21849	44106	86504	121464	151598	171281

ТЕМА 5. Оценка геоэкологической емкости территории.

Цель занятия: Сформировать умение определения полной и антропогенной геоэкологической емкости территории.

Форма проведения: Управляемая самостоятельная работа (4 часа).

Теория и методика: Понятие емкости территории [2, 3, 6] используется при проектировании хозяйственного 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, с учетом геоэкологической емкости территории.

Полная геоэкологическая емкость территории - это ресурсы ПАГ позволяющие удовлетворять потребности населения без нарушения геоэкологического равновесия. Она определяется, во-первых, объемами основных природных резервуаров – воздуха атмосферы, 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 полную геоэкологическую емкость территории входят демографическая емкость, репродуктивный потенциал биоты, антропогенная емкость территории.

Демографическая емкость территории (D) - максимальное количество жителей, которые могут проживать на определенной территории при условии обеспечения потребностей населения и сохранения геоэкологического 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_1):

$$D_1 = \sum_{i=1}^n \frac{S \cdot 1000}{H} \quad (13)$$

где D_1 - частная демографическая емкость по территории, чел;
 S - территория, занимаемая существующими населенными пунктами, 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):

$$D_w = D_2 + D_3 \quad (14)$$

где D_2 - частная демографическая емкость по запасам поверхностных вод, чел.;

D_3 - то же по запасам подземных.

$$D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot K \cdot 1000}{B_{\text{пов.}}} \quad (15)$$

$$D_3 = \sum_{i=1}^n \frac{E_i \cdot S_i \cdot 1000}{B_{\text{подз}}} \quad (16)$$

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 (D_{4-5}). 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):

$$D_4 = \frac{SF \cdot K_{з.з.} \cdot 1000}{HM} \quad (17)$$

где S - территория района, га;

F - лесистость района в долях от общей площади;

$Kз.з.$ - 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

$$D_5 = \frac{2LC \cdot 1000}{KnM} \quad (18)$$

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, 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

$$D_6 = \frac{S_s E \cdot 1000}{P} \quad (19)$$

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 геоэкологическое оптимальное число жителей для данной территории.

Репродукционный потенциал территории определяется ее способностью воспроизводить свои основные компоненты – газовый состав атмосферы, водные ресурсы, почвенно-растительный покров и т.д.

Репродуктивная способность территории по кислороду (PC_K) определяется через биологическое производство органического вещества растительных сообществ:

$$PC_k = \sum_{i=1}^n C_i S_p K_1 \quad (20)$$

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 (PC_B) определяется по формуле:

$$PC_B = \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i K_2 \quad (21)$$

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.

Геоэкологическая антропогенная емкость территории (ГАЕТ) - это обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной антропогенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

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

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

$$Ha = \sum_{i=1}^3 \mathcal{E}_i X_i A_i \quad (22)$$

где Ha - оценка ГАЕТ, выраженная в единицах массовой антропогенной нагрузки (усл. т/год); \mathcal{E}_i - оценка геоэкологической 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.

Геоэкологическая емкость каждого компонента окружающей среды рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = V \cdot C \cdot F \quad (23)$$

где:

■ V - экстенсивный параметр, определяемый размером территории, площадью (км^2) или объемом (км^3):

• для воздуха $V_1 = S \cdot H$, (24)

где S - площадь территории, км^2 ;

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, км^3 ;

• для земли $V_3 = S$; (25)

■ C - содержание (концентрация, плотность) главных геоэкологически значимых субстанций в i -й среде (т/км^2 или т/км^3):

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

• для воды $C_2 = 10^9$ т/км^3 ;

• для земли C_3 - плотность поверхностного распределения сухого вещества биомассы на территории, т/км^2 ;

■ F - скорость кратного обновления объема или массы среды, $(\text{год})^{-1}$:

• для воздуха $F_1 = 55896 \cdot v \sqrt{S}$, (26)

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

• для воды $F_2 = (0,0315 \cdot f + 3 \cdot 10^{-6} W \cdot S) / V_2$, (27)

где f - сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию, м³/с;

W - среднее годовое количество осадков, мм;

• для биоценозов территории $F_3 = P_e / B$, (28)

где P_e - 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)

$X_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ (29)

• для воды равнинных рек и озер

$X_2 = (4 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ (30)

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

$X_3 = 0,43 \cdot F_3$ (31)

Суммарная предельно допустимая антропогенная нагрузка (ПДАН) [2, 3] определяется из условия сохранения целостности геосистем и качества окружающей среды путем преобразования солнечной энергии для процессов самоочищения и регенерации.

Энергетический эквивалент суммарной ПДАН рассчитывается по формуле:

$$ПДТН_{\text{Э}} = k_{\text{ан}} (72R + 123 W + 0,6 P) S - k_e N \quad (32)$$

где $k_{\text{ан}}$ - коэффициент, учитывающий антропогенную насыщенность территории ($k_{\text{ан}} = 1 + \lg(\text{ЭДИ})$);

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) ($P = P_e/S$);

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.

Задание и методические указания по его выполнению:

Задача 1. Определите демографическую емкость территории для трех вариантов, представленных в приложении.

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 0,17;
- $V_{\text{пов.}}$ - нормативной обеспеченности водой поверхностных источников 1 тыс. жителей в сутки на бытовые, производственные и рекреационные цели равной 1500 м³/сут;
- $K_{3.3}$ - коэффициента, учитывающий зеленые зоны городов равной 0,5;
- 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.
- При расчете частной демографической емкости по наличию территорий D_{T1} для показатель S_i как территория, имеющая наиболее благоприятные условия для проживания брать значения по селитебным, транспортным и промзонам.
- При расчете частной демографической емкости по обеспеченности водными ресурсами D_w показатель Q как сумма расходов воды в водотоках на входе в территорию вычисляется как отношение значения речного стока и протока к числу дней в году (365).

Задача 2. Определите репродуктивную способность территории по кислороду для трех вариантов, представленных в приложении.

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

Указание. Принять величину: C_i - ежегодное производство органического вещества i -м растительным сообществом для

Леса и насаждений равной – 1,2 тыс.т/км²

Сельскохозяйственных земель – 0,5 тыс.т/км²

Задача 3. Рассчитайте геоэкологическую антропогенную емкость территории для трех вариантов, используя данные приложения. 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 4. Определите суммарную предельно допустимую антропогенную нагрузку территории для трех вариантов, представленных в приложении.

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).

ЛИТЕРАТУРА

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

Приложение

Варианты заданий

№	Параметры	Варианты					
		1	2	3	4	5	6
Структура земельных угодий территории							
1	Общая площадь, км ²	222,3	1670,8	781,4	2161,1	802,3	1726,3
2	Селитебные, транспортные и пром-зоны, 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		7	8	9	10	11	12
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		13	14	15	16	17	18
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		19	20	21	22	23	24
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		25	26	27	28	29	30
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		31	32	33	34	35	36
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		37	38	39	40	41	42
Структура земельных угодий 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. туг*	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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		43	44	45	46	47	48
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		49	50	51	52	53	54
Структура земельных угодий 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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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 приложения

№	Параметры	Варианты					
		55	56	57	58	59	60
Структура земельных угодий 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. тут*	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
Атмосферные характеристики							
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
Гидрологические характеристики							
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

* тут - тонна условного топлива, соответствующая примерно количеству тепла, выделяемого при сгорании одной тонны высококачественного каменного угля, 1 тут = 29,3 • 10⁹ Дж.

** 1ПДж=10¹⁵Дж.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Природно-антропогенные геосистемы и их классификация.....	4
Тема 2. Антропогенное загрязнение окружающей среды...	6
Тема 3. Пофакторная оценка геоэкологического состояния окружающей среды.....	7
Тема 4. Комплексные показатели антропогенного воздействия на окружающую среду.....	14
Тема 5. Оценка геоэкологической емкости территории.....	17
Литература.....	24
Приложение.....	25

Учебное издание

Витченко Александр Николаевич

ГЕОЭКОЛОГИЯ

**Практикум для студентов
географического факультета
специальности 1-33 01 02 Геоэкология
1-31 02 01 География
1-31 02 03 Космоаэрокартография**

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *А. Н. Витченко*

Подписано в печать 00.06.2016. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,91. Уч.-изд. л. 1,83. Тираж 50 экз. Заказ

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика
на копировально-множительной технике
географического факультета
Белорусского государственного университета
Ул. Ленинградская, 16, 220030, Минск.