

Эколого-географическая оценка ландшафтов при формировании природно-экологического каркаса территории

Environmental and geographical landscape assessment when forming natural and environmental area framework

Осипов / Osipov A.

Алексей Георгиевич

(zoyaks@yandex.ru)

кандидат географических наук.

ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия

имени А.Ф. Можайского» МО РФ,

доцент кафедры картографии.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: природно-экологический каркас территории – natural and environmental area framework; эколого-географическая оценка – environmental and geographical assessment; особо охраняемые природные территории – specially protected natural areas; бассейново-ландшафтные системы – water-collecting and landscape systems; функции жизнеобеспечения – life sustaining functions; устойчивость ландшафта – landscape stability; классы оценивания – valuation classes; квалиметрический анализ – qualimetric analysis; весовые коэффициенты – weight factors; дерево свойств – properties tree; метод парных сравнений – pairwise comparison technique.

Изложен опыт разработки модели эколого-географической оценки ландшафтов при формировании ядер природно-экологического каркаса территории и реализующая ее методика.

Reported is the experience of designing a model for environmental and geographical assessment of landscapes when forming natural and environmental area framework and a technique for its implementation.

Природно-экологический каркас территории – совокупность важнейших ранжированных по режимам использования средорегулирующих и средоформирующих природных и природно-антропогенных экосистем, образующих пространственно организованную инфраструктуру, обеспечивающую экологическую стабильность территории, предотвращающую снижение биологического и ландшафтного разнообразия. Он выполняет свои функции при наличии соответствующих правовых, экономических и управлеченческих механизмов.

Природно-экологический каркас территории предусматривает включение в свой состав как существующих особо охраняемых природных территорий (ООПТ), так и дополнительных элементов, обеспечивающих его целостность и функциональную роль.

Главный системообразующий элемент природно-экологического каркаса – ядро, представленное экосистемами, выполняющими средовоспроизводящую, природоохранную и информационную функции, обеспечивающие хранение генофонда. Ядро представляет собой типичные, ценные и уникальные экосистемы, представленные природными и природно-антропогенными типами экосистем на различных сукцессионных стадиях, что и позволяет им выполнять средообразующую функцию. Более всего способны исполнять роль ядер природно-экологического каркаса особо охраняемые природные территории (ООПТ): заповедники, национальные и природные парки, а в ряде случаев – заказники и памятники природы. Это определено перечнем функций, предписанных ООПТ Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» (2005). Важнейшей из этих функций является поддержание экологического баланса территории и регулирование всех ее параметров, что соответствует задачам формирования природного экологического каркаса.

Второй элемент природно-экологического каркаса – транзитные экологические коридоры, которые связывают ядра в единую геодинамическую систему и являются основными магистралями (коммуникациями) обмена веществом и энергией между ними. Это могут быть не препятствующие устойчивым экологическим, генетическим, популяционным, миграционным и геохимическим связям обширные участки связующего ландшафта или его линейные элементы (долины рек, цепочки озер и т. п.).

Третий элемент природно-экологического каркаса – многофункциональные буферные (переходные) территории, на которых организовано рациональное природопользование и созданы условия для восстановления природных ресурсов. Наиболее полно функциям экологических звеньев соответствуют буферные и охранные зоны заповедников, биосферных полигонов, национальных и природных парков, отраслевых заказников.

Таким образом, создание и существование природно-экологического каркаса территории предполагает управление природопользованием исходя из роли экосистем в обеспечении средо- и ресурсово-производства.

При создании природно-экологического каркаса территории следует учитывать, что его компенсационные возможности должны быть достаточными для поддержания экологического баланса при постоянно возрастающем антропогенном давлении. Природно-экологический каркас территории будет эффективно выполнять свои средообразующие и защитные функции, если он занимает значительную площадь, обеспечивая высокую интенсивность информационного и вещественно-энергетического взаимодействия между его отдельными составляющими.

Подавляющее большинство экспертов считает, что для условий таежной зоны ядра природно-экологического каркаса – ООПТ должны составлять от 20 до 50 % общей площади территории [8]. Существуют полученные эмпирическим путем расчеты для соотношения трех типов территорий: природные ландшафты (ОПТ, естественные экосистемы), измененные человеком территории (преимущественно сельскохозяйственные) и урбанизированные зоны (включая производственные, транспортные и др. объекты) должны соотноситься как 50, 40 и 10 %. Если объединить две последние зоны, то получится, что оптимально организованной и способной к поддержанию экологического равновесия следует считать территорию, половина которой имеет статус ОПТ [7].

Государственной программой Российской Федерации «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» предусмотрено к 2020 году включить в ООПТ 13,5% площади Российской Федерации [13]. В Московской области к 2020 году для наименее освоенных районов под ООПТ (ядра каркаса) предлагается отводить до 17% территории, а под земли природно-экологического каркаса в целом – 25–30 % территории. В Ленинградской области по состоянию на 1 октября 2013 года под ООПТ было отведено 6,8% территории, а под земли природно-экологического каркаса в целом – 25–30% территории, к 2020 году площадь ООПТ области должна возрасти до 13,5%. В Вологодской области доля земель, занятых ООПТ, должна достичь к 2017 году 15 %.

Формирование сети ООПТ и других ценных земель на больших пространствах (речной бассейн, административный район и др.) является приоритетным направлением рационального природопользования [4, 15].

Однако до настоящего времени недостаточно работ, предлагающих эффективные инструменты эколого-географической оценки ландшафтов при формировании ядер природно-экологического каркаса территории, под которой автор понимает пространственный много-параметрический анализ естественных ландшафтов с целью определения их возможности устойчиво выполнять функции жизнеобеспечения (средо- и ресурсо-востребования).

В основу эколого-географической оценки территории при формировании ядер природно-экологического каркаса целесообразно закладывать бассейново-ландшафтный подход, основными концептуальными положениями которого являются [1, 4, 10, 11, 12]:

- географическая оболочка обладает бассейново-ландшафтной иерархией;
- бассейновые системы характеризуются ландшафтной «организованностью»;
- в пределах бассейново-ландшафтных систем тесно взаимосвязаны природные условия и хозяйственная деятельность;
- бассейново-ландшафтные системы – оптимальные территориальные единицы для управления природопользованием и контроля состояния природной среды;
- сопряженное использование картографического и имитационного моделирования бассейново-ландшафтных систем в среде ГИС – основа оптимизации природопользования.

Целостность бассейново-ландшафтных систем обеспечивается потоками вещества и энергии, любые изменения потоков в пределах водосбора отражаются на функционировании системы в целом.

Экологическое состояние бассейново-ландшафтных систем во многом определяется организованностью их среды, которая зависит от упорядоченности их пространственной структуры.

Анализ работ, посвященных оценке взаимодействия человека с природной средой и представлению ее результатов, позволил сформулировать общие принципы эколого-географической оценки ландшафтов при формировании ядер природно-экологического каркаса территории, основными из которых являются [2, 3, 9]:

– Принцип системности. Характеризует то, что процедура оценки должна базироваться на теории системного анализа сложноорганизованных объектов. Его реализация обеспечивает рассмотрение каждого показателя, участующего в оценке, не изолированно, а в виде одного из элементов конкретной системы, характеризующей взаимодействие природы и общества.

– Принцип комплексности. Характеризует необходимость проведения при оценке двух взаимодополняющих видов исследований: инвентаризационных и аналитических. Первые дают возможность определить проявление изучаемых факторов и процессов в пределах ландшафтов, а вторые позволяют оценить пригодность данных ландшафтов для выполнения функций жизнеобеспечения. При этом в основу аналитических исследований должен закладываться многокритериальный подход, обеспечивающий при оценке дифференцированный учет значимости анализируемых факторов и процессов с точки зрения формирования ядер природно-экологического каркаса территории.

– Принцип учета приоритетности факторов, участвующих в оценке. При оценке должна учитываться степень влияния каждого фактора на процесс формирования ядер природно-экологического каркаса территории,

т.е. должно быть выполнено ранжирование анализируемых факторов по важности.

– Принцип континуальности. Оцениваться должны ландшафты всей изучаемой территории. Соблюдение этого принципа необходимо и в тех случаях, когда расположение природных экосистем носит дискретный характер.

– Принцип единства оценки. Оценка в пределах всей изучаемой территории должна проводиться по одним и тем же показателям (их виду и числу), имеющим единые квалиметрические шкалы (оценочные градации). При этом число градаций должно выбираться таким образом, чтобы обеспечивалась достоверность оценки.

– Принцип эмерджентности. Оценка каждого ландшафта должна проводиться не по отдельным факторам, а по их совокупности, что обеспечит учет свойств характерных ландшафту в целом.

– Принцип сомасштабности. Обеспечивает соответствие между пространственной дискретизацией результатов оценки и площадью исследуемого объекта. Данный принцип позволяет соблюсти одинаковую детальность оценки в пределах всей изучаемой территории.

На основании вышеизложенных принципов авторами была разработана модель эколого-географической оценки ландшафтов при формировании ядер природно-экологического каркаса территории и реализующая ее методика, структурно-логическая схема, которой приведена на рис. 1 [2, 3, 9]. Кратко охарактеризуем основные блоки данной методики.

Определение перечня факторов, характеризующих способность ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения и их показателей. При эколого-географической оценке ландшафтов исследователь должен четко представлять себе, что подлежит оцениванию, и иметь перечень основных критериев оценки. Критерии оценки должны быть репрезентативными и выбираться из числа основных признаков, характеризующих анализируемые свойства изучаемого ландшафта.

Способность ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения, на наш взгляд, следует оценивать с учетом следующих факторов: 1) состояние почвенного покрова; 2) состояние наземного фитоценоза; 3) состояние наземного зооценоза; 4) состояние природных вод как среды обитания водного зоо- и биоценозов; 5) механическая устойчивость ландшафта; 6) геохимическая устойчивость ландшафта.

В свою очередь, каждый из этих факторов может быть охарактеризован набором показателей, отражающих различные стороны функционирования ландшафта. Перечень и количество показателей должны быть увязаны с существующими классификациями оцениваемого качества и согласованы с имеющейся у пользователя базой данных натурных наблюдений за состоянием природной среды. На основе изучения научной литературы и материалов исследований Института охраны природы и заповедного дела автор разработал «дерево свойств» для оценки способности ланд-

шафтов выполнять функции жизнеобеспечения, которое включает в себя семь факторов и девятнадцать показателей их характеризующих (рис. 2).

Обоснование классов оценивания и разработка квалиметрических (оценочных) шкал для всех показателей, участвующих в оценке. Классы оценивания принимаются с учетом существующих в практике оценивания традиций или исходя из опыта оценщика. Наиболее оптимальным является введение 5-уровенного алфавита классов, в котором оцениваемое состояние (качество) в общем случае характеризуется следующими критериями: «наилучшее качество» – «качество выше среднего» – «среднее качество» – «качество ниже среднего» – «наихудшее качество».

Согласно предлагаемой классификации, при определении способности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения все оцениваемые ландшафты должны делиться на следующие классы: неспособные – 1 класс, ограничено способные – 2, достаточно способные – 3, способные – 4, в высшей степени способные – 5. Для всех показателей, участвующих в оценке, внутри каждого класса вводится левое и правое граничные значения, либо классификация строится на основе граничных значений между классами. Одновременно с этим, для каждого показателя определяются эталонные значения, т.е. наилучшие в пределах изучаемого региона. В табл. 1 и 2 приведены квалиметрические шкалы абсолютных показателей, разработанные для оценки способности ландшафтов Ленинградской области выполнять функции жизнеобеспечения.

Выбор метода оценки способности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения. На этом этапе работ анализируются различные подходы к получению интегральных показателей качества природной среды, и на основе выполненного анализа выбирается один из подходов, который впоследствии закладывается в основу оценки. В последнее время при оценке сложно-организованных природных объектов большой популярностью пользуются два метода – квалиметрического анализа [9] и сводных показателей (МСП) [5].

Использование этих методов позволяет эффективно оценивать сложные природные системы, обладающие множеством функциональных и корреляционных взаимосвязей.

При оценке возможности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения мы ограничимся простейшим случаем, когда оцениваемая характеристика определяется конечным вектором $x = (x_1, \dots, x_m)$ исходных частных показателей x_1, \dots, x_m , каждый из которых может принимать значения из множества всех действительных чисел E^1 . Иными словами, значениями вектора исходных частных показателей $x = (x_1, \dots, x_m)$ служат точки m -мерного евклидова пространства E^m : $x = (x_1, \dots, x_m) \in E^m$, $x_i \in E^1$. Тогда j -й ландшафт из фиксированного конечного множества всех рассматриваемых ландшафтов $X = \{x^{(j)}\}, j = 1, \dots, k$ может отождествляться, на данном этапе, с числовым вектором $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$,

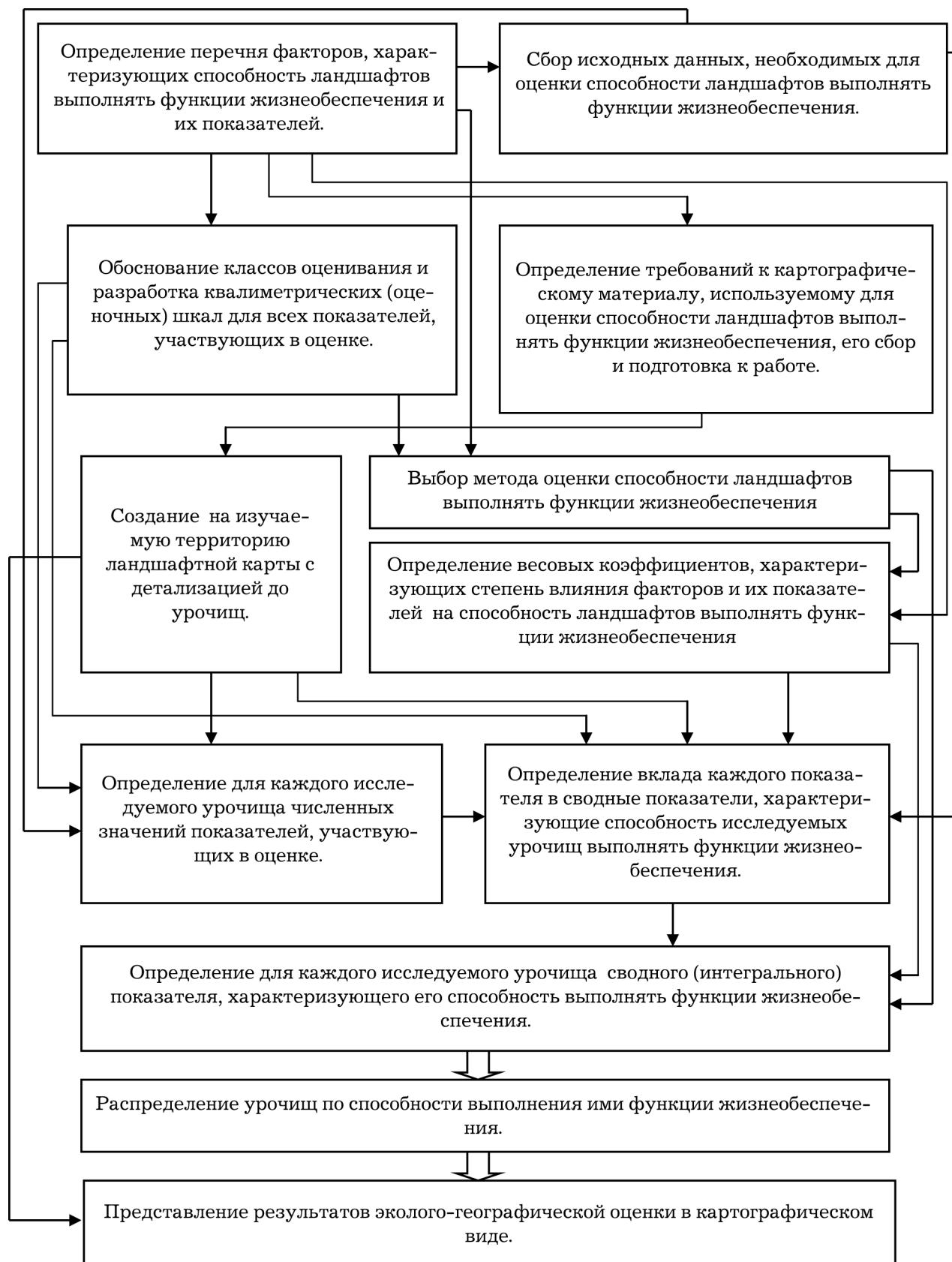


Рис. 1. Структурно-логическая схема методики эколого-географической оценки ландшафтов при формировании ядер природно-экологического каркаса территории

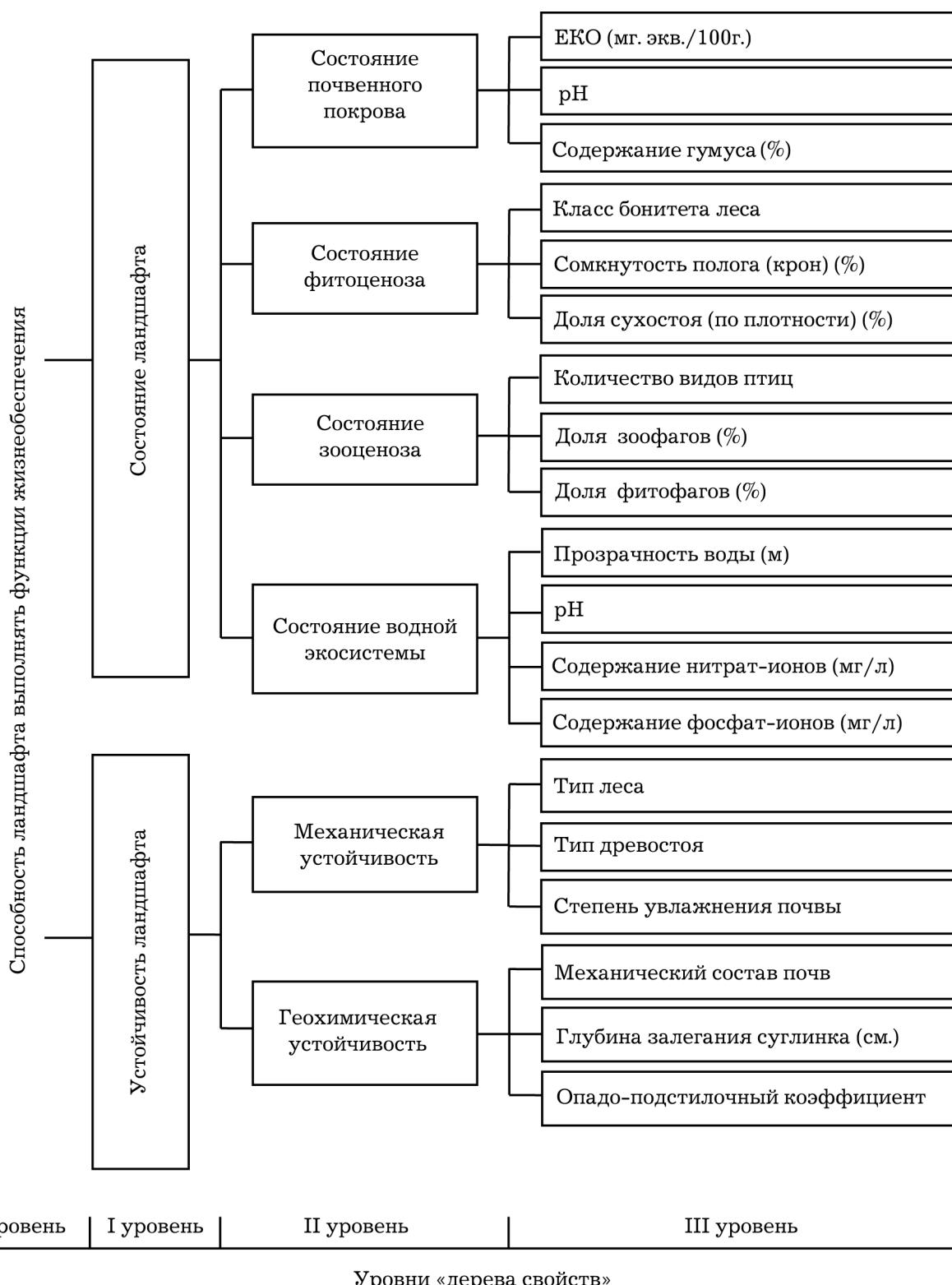


Рис. 2. Дерево свойств, используемое для эколого-географической оценки способности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения

Таблица 1

**Квалиметрическая шкала абсолютных показателей границ
классов состояния ландшафта**

Оцениваемые факторы	Показатели, характеризующие оцениваемые факторы	Абсолютные значения показателей				
		Классы состояния ландшафта				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Состояние почвенного покрова	ЕКО (мг.экв./100г.)	4	8	12	16	20
	pH	2,5	3	4	5	6
	Содержание гумуса (%)	3	4	5	6	7
Состояние фитоценоза	Класс бонитета леса	5	4	3	2	1
	Сомкнутость полога (крон) (%)	20	25	30	40	50
	Доля сухостоя (по плотности %)	40	30	20	15	10
Состояние зооценоза	Количество видов птиц	50	60	75	80	90
	Доля зоофагов (%)	1,5	2	4	6	8
	Доля фитофагов (%)	75	78	81	84	87
Состояние водной экосистемы	Прозрачность воды (м)	0,1	0,3	0,5	3	4
	pH	5,2	5,6	6	6,9	7,0
	Содержание нитрат-ионов (мг/л)	4	2,5	1,5	0,5	0,05
	Содержание фосфат-ионов (мг/л)	0,6	0,3	0,1	0,03	0,005

Таблица 2

**Квалиметрическая шкала абсолютных показателей границ
классов устойчивости ландшафта**

Факторы	Показатели	Абсолютные значения показателей				
		Классы устойчивости ландшафта				
		1	2	3	4	5
Механическая устойчивость	Тип леса	лишайниково-вересковый и сфагновый	осоково-тростниковый	брюсличный и таволговый	черничный, зеленомошный, чернично-долгомошный	кисличный и снытьевый
	Тип древостоя	ель	хвойные породы	сосна	хвойные и лиственные породы	лиственные породы
	Увлажнение почв	недостаточное	переменное	достаточное	избыточное	длительно избыточное
Геохимическая устойчивость	Механический состав почв	суглинок	легкий суглинок	супесь	связно песчаная	рыхло песчаная
	Глубина залегания суглинка (см)	50	70	90	130	200
	Опадо-подстилочный коэффициент	12	10	8	5	1,5

представляющим собой некоторое конкретное значение векторной переменной $x = (x_1, \dots, x_m)$.

Разумеется, описанное представление ландшафта в виде вектора значений исходных частных показателей предполагает выполнение условия, состоящего в том, что каждый из показателей является необходимым, а их множество – достаточным для оценивания уровней возможности соответствующего ландшафта выполнять функции жизнеобеспечения.

Для упрощения будем считать, что в балльной оценке возможности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения влияние каждого исходного частного показателя выражается определенным количеством баллов. Иными словами, предполагается, что i -му исходному частному показателю соответствует определенный балл q_i , характеризующий возможность ландшафта выполнять функции жизнеобеспечения, который представляет собой некоторую числовую функцию $q_i = q_i(x_i)$ исходного частного показателя x_i , $i = 1, \dots, m$. Область возможных значений частных показателей q_i целесообразно ограничить единичным отрезком $[0, 1]$. Таким образом, отдельный показатель представляет собой нормирующую функцию $q_i = q_i(x_i) \in [0, 1]$ исходного частного показателя $x_i \in E^1$. При практической реализации данного метода условимся, что чем больше значение q_i , тем выше (с точки зрения i -го отдельного показателя) уровень выполнения ландшафтом функций жизнеобеспечения, при этом значение $q_i = 0$ и значение $q_i = 1$ соответствуют наименьшему и наибольшему уровням.

Определение весовых коэффициентов, характеризующих степень влияния факторов и их показателей на способность ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения. На этом этапе определяются ненормированные и нормированные коэффициенты весомости (важности) факторов и их показателей, вошедших в «дерево свойств». Для определения ненормированных коэффициентов весомости используется экспертный метод парных сравнений, подробно изложенный в работах [3, 9, 14].

Его выбор был обусловлен простотой проведения экспертизы и хорошими результатами экспертного анализа. При реализации данного метода экспертам последовательно предъявляются пары альтернатив, в каждой из которых им предлагается выбрать более предпочтительное решение в результате чего формируется матрица парных сравнений. Затем определяются компоненты ее собственного вектора и рассчитываются ненормированные коэффициенты весомости. Затем определяется относительная согласованность мнений экспертов. Величина относительной согласованности мнений эксперта считается приемлемой, если она находится в интервале от 0 до 10%. Если относительная согласованность более 10%, то это свидетельствует о существенном нарушении логики суждений, допущенном экспертом при заполнении матрицы, поэтому эксперту предлагается пересмотреть данные, использованные для построения матрицы, чтобы улучшить ее однородность.

Нормированные коэффициенты весомости (важности) каждого показателя, участвующего в оценке, рассчитывают по следующей зависимости:

$$P_j = \bar{P}_{j1} \times \dots \times \bar{P}_{jn}$$

где: P_j – нормированный коэффициент весомости (важности) j -го элементарного свойства; $\bar{P}_{j1}, \dots, \bar{P}_{jn}$ – средние ненормированные коэффициенты весомости (важности) i -го и n -го уровней «дерева свойств», иерархически связанных в пределах одной ветви с j -м элементарным свойством; n – количество уровней в дереве свойств.

Согласно приведенной зависимости нормированный коэффициент весомости (важности) элементарного свойства P_j рассчитывается путем перемножения средних ненормированных коэффициентов весомости отдельных свойств $\bar{P}_{j1}, \dots, \bar{P}_{jn}$, иерархически связанных друг с другом на дереве свойств.

В табл. 3 приведены ненормированные и нормированные коэффициенты весомости (важности) факторов и показателей, используемых для оценки способности ландшафтов, расположенных в Ленинградской области, выполнять функции жизнеобеспечения.

Создание на изучаемую территорию ландшафтной карты с детализацией до урочищ. Ландшафтная карта может создаваться по методике, изложенной в работе [6], она позволяет изучить морфологическое строение ландшафта в пределах изучаемой территории. В качестве базовых картографических основ целесообразно использовать топографические карты масштабов 1: 10 000 – 1 : 200 000, они дают возможность выполнять экологогеографическую оценку ландшафтов на муниципальном и региональном уровнях и наглядно представлять ее результаты. При создании ландшафтных карт объектами картографирования являются природно-территориальные комплексы в ранге отдельных урочищ или их типологически сходных групп.

Определение для каждого исследуемого урочища численных значений показателей, участвующих в оценке. На этом этапе работ для всех элементарных свойств, входящих в «дерево свойств», определяются абсолютные значения показателей. Для этого используются материалы мониторинга природной среды, результаты полевых исследований, фоновые материалы и научные публикации. В результате формируется матрица $(x_i^{(j)})$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, k$, значений m исходных частных показателей для оценки состояния и устойчивости k исследуемых урочищ. Здесь $x_i^{(j)}$ – значение i -го исходного показателя для j -го урочища. В том случае, если показатель поддается методам физических измерений, его значения выражают в каких-либо физических единицах, а в противном случае в баллах.

Определение вклада каждого показателя в сводные показатели, характеризующие способность исследуемых урочищ выполнять функции жизнеобеспечения. В процессе реализации данного блока методики для всех элементарных свойств, входящих в «дерево свойств»,

Таблица 3

Весовые коэффициенты показателей, используемых для оценки способности ландшафтов выполнять функции жизнеобеспечения

№ п/п	Факторы	Веса факторов	Показатели, характеризующие оцениваемые факторы	Веса показателей	
				ненормиро- ванные, \bar{P}_j	нормиро- ванные, \bar{P}_j
1	2	3	4	5	
Факторы и показатели, характеризующие экологическое состояние ландшафтов					
1.	Состояние почвенного покрова	0,181	ЕКО (мг. экв./100г.)	0,270	0,049
			pH	0,180	0,033
			Содержание гумуса (%)	0,550	0,100
2.	Состояние фитоценоза	0,250	Класс бонитета леса	0,550	0,138
			Сомкнутость крон (%)	0,150	0,037
			Доля сухостоя по плотности (%)	0,300	0,075
3.	Состояние зооценоза	0,105	Количество видов птиц (шт)	0,600	0,063
			Доля зоофагов (%)	0,150	0,016
			Доля фитофагов (%)	0,250	0,026
4.	Состояние водных объектов	0,112	Прозрачность воды (м)	0,350	0,039
			pH	0,250	0,028
			содержание нитрат-ионов (мг/л)	0,200	0,022
			содержание фосфат-ионов (мг/л)	0,200	0,022
Факторы и показатели, характеризующие экологическую устойчивость ландшафтов					
1.	Механическая	0,165	Тип лесорастительных условий	0,333	0,055
			Характер растительности	0,333	0,055
			Увлажнение почв	0,334	0,055
2.	Геохимическая	0,187	Механический состав почв	0,524	0,098
			Глубина залегания суглинка (см)	0,118	0,022
			Опадо-подстилочный коэффициент	0,358	0,067

Таблица 4

Квалиметрическая шкала относительных показателей границ классов состояния и устойчивости урочищ

Оцениваемые факторы	Показатели, характеризующие оцениваемые факторы	Относительные значения показателей, R_{pj}					Эталонные значения показателей, $W_{j\vartheta}$	
		Классы состояния и устойчивости урочищ						
		1	2	3	4	5		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Оценка экологического состояния урочищ								
Состояние почвенного покрова	EKO (мг.экв./100г.)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	20	
	pH	0,36	0,43	0,57	0,71	0,86	7	
	Содержание гумуса (%)	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	10	
Состояние фитоценоза	Класс бонитета леса	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1	
	Сомкнутость полога (крон) (%)	0,33	0,42	0,50	0,67	0,83	60	
	Доля сухостоя (по плотности) (%)	0,12	0,17	0,25	0,33	0,50	5	
Состояние зооценоза	Количество видов птиц	0,50	0,60	0,75	0,80	0,90	100	
	Доля зоофагов (%)	0,15	0,20	0,40	0,60	0,80	10	
	Доля фитофагов (%)	0,83	0,87	0,90	0,93	0,97	90	
Состояние водной экосистемы	Прозрачность воды (м)	0,02	0,06	0,10	0,60	0,80	5	
	pH	0,74	0,80	0,86	0,99	1,00	7	
	Содержание нитрат-ионов (мг/л)	0,01	0,02	0,03	0,08	0,09	0,04	
	Содержание фосфат-ионов (мг/л)	0,01	0,01	0,04	0,13	0,80	0,004	
Оценка экологической устойчивости урочищ								
Механическая устойчивость	Тип лесорастительных условий	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	10	
	Характер растительности	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	10	
	Увлажнение почв	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	10	
Геохимическая устойчивость	Механический состав почв	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	10	
	Глубина залегания суглинка (см.)	0,25	0,35	0,45	0,65	1,00	200	
	Опадо-подстилочный коэффициент	0,08	0,10	0,12	0,20	0,67	1,0	

Таблица 5

Квалиметрическая шкала сводных показателей границ классов состояния и устойчивости уроцищ

Оцениваемые факторы	Показатели, характеризующие оцениваемые факторы	Значения сводных показателей, K_p^0					Нормированные весовые коэффициенты P_j	
		Классы состояния и устойчивости уроцищ						
		1	2	3	4	5		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Оценка экологического состояния уроцищ								
Состояние почвенного покрова	ЕКО (мг.экв./100г.)	0,0098	0,0196	0,0294	0,0392	0,0490	0,049	
	pH	0,0119	0,0142	0,0188	0,0234	0,0284	0,033	
	Содержание гумуса (%)	0,0300	0,0400	0,0500	0,0600	0,0700	0,100	
Состояние фитоценоза	Класс бонитета леса	0,0276	0,0345	0,0455	0,0690	0,1380	0,138	
	Сомкнутость полога (крон) (%)	0,0122	0,0155	0,0185	0,0248	0,0307	0,037	
	Доля сухостоя (по плотности) (%)	0,0090	0,0128	0,0188	0,0248	0,0375	0,075	
Состояние зооценоза	Количество видов птиц	0,0315	0,0378	0,0473	0,0504	0,0567	0,063	
	Доля зоофагов (%)	0,0024	0,0032	0,0064	0,0096	0,0128	0,016	
	Доля фитофагов (%)	0,0216	0,0226	0,0234	0,0242	0,0252	0,026	
Состояние водной экосистемы	Прозрачность воды (м)	0,0008	0,0023	0,0039	0,0234	0,0312	0,039	
	pH	0,0207	0,0224	0,0241	0,0277	0,0280	0,028	
	Содержание нитрат-ионов (мг/л)	0,0002	0,0004	0,0007	0,0018	0,0020	0,022	
	Содержание фосфат-ионов (мг/л)	0,0002	0,0002	0,0009	0,0029	0,0176	0,022	
Оценка экологической устойчивости уроцищ								
Механическая устойчивость	Тип лесорастительных условий	0,0110	0,0220	0,0330	0,0440	0,0550	0,055	
	Характер растительности	0,0110	0,0220	0,0330	0,0440	0,0550	0,055	
	Увлажнение почв	0,0110	0,0220	0,0330	0,0440	0,0550	0,055	
Геохимическая устойчивость	Механический состав почв	0,0196	0,0392	0,0588	0,0784	0,0980	0,098	
	Глубина залегания суглинка (см.)	0,0055	0,0077	0,0099	0,0143	0,0220	0,022	
	Опадо-подстилочный коэффициент	0,0054	0,0067	0,0080	0,0134	0,0449	0,067	

с использованием зависимостей (2) и (3) определяются относительные значения показателей, характеризующих вклад каждого из них в сводные показатели.

$$R_{pj} = W_{pj} / W_{j_0} \text{ при } W_{pj} < W_{j_0} \quad (2)$$

$$R_{pj} = W_{j_0} / W_{pj} \text{ при } W_{pj} > W_{j_0} \quad (3)$$

где: R_{pj} – относительное значение показателя, характеризующего j -е элементарное свойство p -го урочища; W_{pj} – абсолютное значение показателя, характеризующего j -е элементарное свойство p -го урочища; W_{j_0} – эталонное для изучаемого региона абсолютное значение показателя, характеризующего j -е элементарное свойство; R_{pj} – изменяется в пределах от 0 до 1 ($0 < R_{pj} < 1$). При необходимости получения более точных относительных значений показателей, характеризующих элементарные свойства, приведенные выше линейные зависимости следует заменить нелинейными.

В табл. 4 приведена квалиметрическая шкала относительных показателей, рассчитанных по данным табл. 1 и 2 для левой и правой границ классов, используемых при оценке состояния и устойчивости урочищ Ленинградской области.

Определение для каждого исследуемого урочища сводного (интегрального) показателя, характеризующего его способность выполнять функции жизнеобеспечения. Для получения сводного (интегрального) показателя, характеризующего способность выполнять исследуемым урочищем функции жизнеобеспечения, используется следующая зависимость:

$$K_p^0 = \sum_{j=1}^n R_{pj} \times P_j, \quad (4)$$

где: K_p^0 – сводный (интегральный) показатель, характеризующий способность p -го урочища выполнять функции жизнеобеспечения.

Самой высокой возможностью выполнять функции жизнеобеспечения обладает то урочище, у которого показатель K_p^0 имеет наибольшее значение. Индекс «0» при показателе K_p^0 означает, что оценка дается применительно к самому низкому (нулевому) уровню в иерархии свойств. При этом соотношение оценок качества будет точно отражать действительность только в том случае, когда оценка урочищ производится по полному дереву свойств, без исключения из него свойств одинаковых в сравниваемых урочищах.

Распределение урочищ по способности выполнения ими функций жизнеобеспечения. На этом этапе работ с использованием зависимости (4) и данных табл. 3 и 4 для левой и правой границ классов состояния и устойчивости урочищ рассчитываются сводные (интегральные) показатели. В табл. 5 приведена квалиметрическая шкала сводных (интегральных) границ классов урочищ Ленинградской области.

Затем по данным табл. 5 определяются сводные (интегральные) показатели групп факторов состояния и устойчивости урочищ и классов их способности выполнять функции жизнеобеспечения. В табл. 6 приведены результаты расчета сводных (интегральных) показателей для Ленинградской области.

После чего урочища распределяются по классам способности выполнения ими функций жизнеобеспечения в соответствии со сводными (интегральными) показателями, рассчитанными по зависимости (4). Распределение осуществляется путем

Таблица 6

Квалиметрическая шкала сводных показателей границ классов способности урочищ выполнять функции жизнеобеспечения

№ классов	Наименование классов	Сводные показатели групп оцениваемых факторов						Сводные показатели, классов
		1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа	6 группа	
1	Неспособные	0,0517	0,0488	0,0555	0,0219	0,0330	0,0305	0,2414
2	Ограничено способные	0,0738	0,0628	0,0636	0,0253	0,0660	0,0536	0,3451
3	Достаточно способные	0,0982	0,0828	0,0771	0,0771	0,0990	0,0767	0,4634
4	Способные	0,1226	0,1186	0,0842	0,0558	0,1320	0,1061	0,6193
5	В высшей степени способные	0,1474	0,2062	0,0947	0,0788	0,1650	0,1649	0,8570

сопоставления рассчитанного сводного (интегрального) показателя уроцища со сводными показателями классов (табл. 6).

Полученные для уроцищ исследуемой территории сводные (интегральные) показатели, характеризующие их возможность выполнять функции жизнеобеспечения, обобщаются на ландшафтном уровне с использованием следующей зависимости:

$$L_m^0 = \sum_{d=1}^n K_d^0 \times Q_d,$$

где: L_m^0 – сводный (интегральный) показатель, характеризующий возможность m -го ландшафта выполнять функции жизнеобеспечения; Q_d – доля в ландшафте уроцищ с d -м сводным (интегральным) показателем; K_d^0 – значение сводного (интегрального) показателя.

Представление результатов эколо-географической оценки в картографическом виде. Результаты оценки представляются в виде синтетической карты, характеризующей возможность ландшафтов изучаемой территории выполнять функции жизнеобеспечения. Для ее создания используется базовая картографическая основа с нанесенной сеткой ландшафтных выделов. К каждому ландшафтному выделу, показанному на основе, привязывают соответствующее ему средневзвешенное значение рассчитанного сводного (интегрального) показателя. После чего каждый ландшафтный выдел отображают условным знаком, принятым для соответствующего класса возможности выполнения функций жизнеобеспечения.

Рассмотренная выше модель и реализующая ее методика были апробированы при разработке схем территориального планирования Тихвинского и Киришского районов Ленинградской области.

Литература

1. Арефьев, Н. В. Оптимизация пространственной структуры природно-аграрных систем на бассейново-ландшафтной основе / Н. В. Арефьев, Г. К. Осипов, В. В. Гарманов / Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» 17–20 сентября 2003 г., Сумы. – С. 390–398.

2. Эколо-географическая оценка природно-ресурсного потенциала территории на основе квалиметрического анализа / Н. В. Арефьев [и др.] // Эколо-экономическое обоснование сбалансированных форм регионального развития в системе «общество-природа» (цели, задачи, решения). – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003, Ч. II. – С. 242–289.

3. Арефьев, Н. В. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика / Н. В. Арефьев, В. П. Бреусов, Г. К. Осипов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 533 с.

4. Воропаева, Т. В. Эколо-географический каркас речного бассейна как перспективная стратегия сохранения биоразнообразия / Т. В. Воропаева // Естественные и технические науки. – 2010. – № 6(50) – С. 376–381.

5. Дмитриев, В. В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе

метода сводных показателей. Качество природных вод / В. В. Дмитриев, Н. В. Мякишева, Н. В. Хованов // Вестник СПбГУ. Серия 7. – 1996. – Вып. 3 (№21). – С. 32–37.

6. Исащенко, Г. А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование / Г. А. Исащенко. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та., 1999. – 112 с.

7. Комиссарова, Т. С. Геоэкологический каркас территории как пространственная совокупность геосистем разного типа / Т. С. Комиссарова, Е. А. Скупникова, О. В. Титова // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. – 2013. – № 1. – Т. 3. – С. 7–17.

8. Мирзеханова, З. Г. Эколо-географическая экспертиза территории (взгляд с позиции устойчивого развития) / З. Г. Мирзеханова. – Хабаровск: Дальнаука, 2000. – 174 с.

9. Осипов, А. Г. Многокритериальная оценка земельных ресурсов на основе квалиметрического анализа / А. Г. Осипов // Региональная экология. – 2003. – № 1–2. – С. 31–39.

10. Осипов, Г. К. Бассейново-ландшафтный подход к рациональному природопользованию / Г. К. Осипов, В. В. Гарманов, А. Г. Осипов // Материалы VII Международных научных чтений «Белые ночи – 2003» Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2003. – С. 40–41.

11. Осипов, Г. К. Геосистемный подход к рациональному использованию и охране земельных ресурсов при комплексном освоении территории / Г. К. Осипов, В. В. Гарманов, А. Г. Осипов // Региональная экология. – 2003. – № 3–4. – С. 87–90.

12. Осипов, Г. К. Бассейново-ландшафтный подход к экологической паспортизации территории Ленинградской области / Г. К. Осипов, А. Г. Осипов // Региональная экология. – 2004. – № 3–4 (23). – С. 32–43.

13. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. N 326 г. Москва «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы».

14. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

15. Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга / под ред. К. Н. Кобякова. – СПб., 2011. – 506 с.