

УДК 528.94 – 911.9:502

Глуценко И.В., Лычак А.И.

ОПЫТ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОРНОМ КРЫМУ

Важнейшими методическими элементами в системах территориального планирования и информационно-географического обеспечения принятия управленческих решений на региональном и субрегиональном уровнях является развитие технологий выделения элементарных операционных единиц, анализ их свойств и параметров, вскрытие закономерностей их структуры и функционирования [7].

Современный этап развития географической оболочки характеризуется высокой степенью ее антропогенной преобразованности. Практически все естественные ландшафтные системы или изменены, или находятся в определенной стадии антропогенной дигрессии. Наблюдается повсеместное отклонение современных ландшафтных геосистем от естественной нормы своего состояния. Вертикальная структура и биоценотический состав большинства ландшафтных комплексов, в настоящее время, не соответствует природным физико-географическим условиям и параметрам генетически определяющих их экологическую нишу и норму естественной экологической регуляции.

Источники антропогенного воздействия искажают ландшафтно-геофизические и ландшафтно-геохимические поля, смещая границы естественных экологических диапазонов условий существования и генезиса ландшафтных систем. В связи с этим, становится все труднее и труднее определить естественные фоновые значения состояния окружающей человека среды.

Решение многих задачи территориального планирования, экологического мониторинга, территориального управления, охраны и использования природных ресурсов часто зависит, не только от способов выбора элементарных операционных единиц, но и от системы методов их геоэкологического оценивания. Речь идет как об оценке их экологического состояния, так и о системах социально-экономического, в том числе и стоимостного оценивания; системах субъектных оценок пригодности для различных видов хозяйственного использования территории.

Существующие классические методы морфогенетического ландшафтного картографирования территории, в настоящее время не способны полностью удовлетворить растущие потребности в области информационного обеспечения всех вышеизложенных задач, поскольку опираются на довольно статичную парадигму. Изменения состояния и условий окружающей среды протекают более быстро, чем перестраивается состав внутри ландшафтных компонентов.

Поэтому о закономерной структурно-функциональной связи и внутренней однородности многих ландшафтных комплексов говорить уже не приходится. В большинстве случаев мы имеем дело с разбалансированными (находящимися за пределами своих экологических диапазонов существования) геосистемами. По сути, мы имеем дело с полиструктурными, полиморфными, порой слабо связанными и неустойчивыми географическими образованиями [2, 3, 8, 9, 14], структура и функционирование которых во многом определяется деятельностью человека.

Вместе с тем роль в формировании структуры и функционирования природно-антропогенных геосистем отдельных ландшафтных компонентов не только не убывает, но наоборот - становится более заметной и приобретает черты системообразующей. Одним из таких компонентов ландшафта является рельеф. Именно рельеф определяет качества и свойства экотопа, где формируется ландшафтная геосистема [17].

Рельеф в сочетании с климатом и геологическими условиями определяет ландшафтно-геофизические и ландшафтно-геофизические параметры экотопов. Геологическое строение территории и ее рельеф являются наиболее устойчивыми компонентами ландшафтных систем и определяют большинство исходных для генезиса и морфологии ландшафтных комплексов показателей среды.

Современные геоинформационные технологии позволяют совершенно по-новому подойти к решению задач выделения экотопов и анализа их морфологических и морфометрических характеристик. Опираясь на полевые исследования благодаря современным ГИС-технологиям стало возможным расчетным путем получать более точные модели пространственного распределения значений ландшафтно-геофизических показателей [6].

Поэтому представляется актуальным дальнейшее развитие технологий и методов, способных посредством анализа и моделирования рельефа выявлять фундаментальные свойства и качества той или иной территории.

Цель данной статьи - осветить опыт геоинформационного моделирования и анализа рельефа на одном из тестовых участков в Горном Крыму для выявления элементарных топологических единиц и определения их ландшафтно-геофизических свойств.

Теоретико-методологической основой проведенного исследования и отработки технологий геоинформационного моделирования экотопических условий горно-лесной части территорий горного Крыма является теория пространственно-временного анализа, базирующаяся на представлениях Ю.Г.Симонова [16], В.А.Бокова [2], А.Ю. Ретеюма [14; 15], Н.Л.Беручашвили [1], А.А.Крауклиса [4] и др., об эргодичности, пространственной ординации, катенах, многомерных пространствах, геосистемных взаимодействиях, полиструктурности и полииерархичности. В качестве методической основы проведенного исследования были использованы работы Ю.Г.Пузаченко, И.А.Онуфрени, Г.М.Алещенко [10; 11; 12; 13].

Базовым подходом к выделению элементарных операционных единиц был выбран метод, предложенный А.Н. Ласточкиным [5], который элементарный ландшафт определяет как «простейший комплекс взаимосвязанных геокомпонентов

в рамках отличной от смежных площадных элементов и относительно однородной по своему местоположению, физико-географическим и геоэкологическим свойствам элементарной поверхности». Основой для выделения таких элементарных единиц является рельеф земной поверхности, который «выступает в качестве уникального источника информации о надлитосферных геокомпонентах ландшафта» [5].

Поскольку рельеф является определяющим фактором протекания геофизических процессов, то первым этапом при решении поставленной задачи выявления элементарных топологических единиц и определения их ландшафтно-геофизических свойств является деление земной поверхности на дискретные элементарные формы, контролирующие потоки вещества и энергии. В работах Ю.Г.Пузаченко [10, 11] использовался подход к выделению и классификации таких единиц, основанный на количественных, статистических методах.

Главной задачей данной работы является выработка методов выделения структурно-морфологических элементов рельефа на основе анализа топографической карты, которое можно осуществлять средствами стандартных ГИС-пакетов.

В ходе решения данной задачи решался ряд более мелких прикладных задач: 1) построена «гидрографически корректная» цифровая модель рельефа; 2) определены размеры выделяемых форм рельефа; 3) выбраны морфометрические параметры, соответствующие основным ландшафтообразующим процессам, проведена классификация форм рельефа и семантическое наполнение выделенных классов.

При обосновании выбора выделяемых структурно-морфологических элементов применялись теоретические работы А.Н. Ласточкиным [5], в которых он сформулировал морфодинамическую парадигму, предусматривающую исследование морфологии объекта, а затем интерпретацию его результатов, познание создавших и моделирующих и одновременно зависимых от морфологии процессов теплопереноса. В основе этой концепции лежит геометрия природы, решение проблемы элементаризации пространства.

Ласточкин А.Н. [5] выделил основные составляющие, характеризующие положение участков земной поверхности относительно вещественных и энергетических потоков и определил характеризующие их основные морфометрические величины:

- положение участка относительно потоков вещества и энергии, осуществляемых под действием гравитационных сил: нисходящие перемещения поверхностных и почвенно-грунтовых вод, нисходящие литодинамические (в том числе гравитационно-тектонические) и собственно гравитационные (осыпи, обвалы, отседания, оползни, камнепады, и др.), а также гидролитонимические процессы (грязекаменные, солифлюкционные, плоскостной смыв делювия, и др.)

- положение участка по отношению к воздушным и водным потокам, которые перемещаются независимо от силы тяжести. Происходит перенос дезинтегрированного литосферного вещества, воздуха, воды, а вместе с ними химические элементы и соединения, водяной пар, тепло и т.д. Перенос

осуществляется как по латерали, так и по вертикали, в соответствии с градиентом силы тяжести или против него.

- положение участка по отношению к потокам прямой солнечной радиации, подходящей под различными углами к земной поверхности.

Объектом настоящего исследования является территория верховья бассейна реки Салгир, расположенной к юго-востоку от Симферополя и находящейся в предгорье Главной Крымской Гряды. Цифровая модель рельефа (ЦМР) данной территории строилась путем интерполяции изолиний топографических карт масштаба 1:50000 в модуле Topogrid программы ArcInfo Workstation 8.3 (Рис. 1). Данный модуль был выбран потому, что он использует алгоритм, позволяющий строить так называемую «гидрологически корректную» модель рельефа. Важным условием правильности построения такой ЦМР является использование топологических признаков у гидрологической базы данных: соединенность и правильное гидрологическое направление всех ветвей водотоков.

Цифровая модель рельефа была создана с разрешением 30 метров, что с одной стороны, соответствует выбранному масштабу топографической основы, а с другой - разрешению космоснимка Landsat 7 ETM+ имеющегося в наличии на данную территорию и который использовался в дальнейшем для интерпретации выделенных структурно-морфологических элементов рельефа. Вся работа проводилась с использованием расширения Spatial Analyst для ArcGIS 8.3

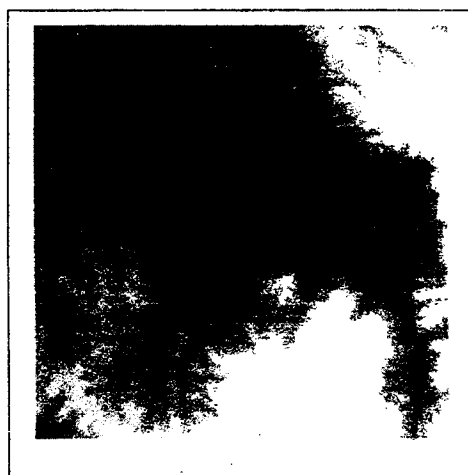


Рис. 1. Цифровая модель рельефа верховья бассейна реки Салгир.

Прежде чем приступить к классификации, необходимо было определить размеры выделяемых форм. Ю.Г. Пузаченко с соавторами в своих работах [11; 12; 13] показали, что рельеф имеет иерархическую организацию, каждому уровню которой соответствуют свои линейные размеры. По предложенной ими методике выделить иерархические уровни и соответствующие им линейные размеры форм рельефа можно на основе анализа двумерного спектра изображения (в нашем случае ЦМР).

Основываясь на этой методике и используя программное обеспечение Fracdim, разработанное Г.М. Алещенко и Ю.Г. Пузаченко [11; 12], были выделены

структуры с линейными размерами – 72 м, 150 м, 240 м, 480 м, 660 м. Наиболее значимыми явились структуры с линейными размерами – 240 м.

Анализ полевых исследований показал, что для данной территории структуры с линейными размерами менее 72 метров связаны с факторами склоновой дифференциации, проявляющимися на топологическом фациальном уровне. Они генетически, динамически и функционально отличны от структур более крупных линейных размеров.

Формирование пространственного рисунка таких мелких территориальных единиц как фации в условиях Крымского низкогорья во многом определяется внутриландшафтными факторами, среди которых особое место отводится процессам вещественно-энергетических взаимодействий фациального уровня. Суть таких взаимодействий и характер формирования состояния ландшафтных комплексов фациального уровня, а также программа построения модели пространственно- временной организации геосистем Крыма на базе ГИС-технологий была подробно рассмотрена ранее в работах В.А.Бокова, А.И. Лычака, И.В. Глуценко и С.А. Карпенко ранее [6; 7; 8].

Чтобы уменьшить влияние на моделируемую структуру территории бассейна реки Салгир мелких топологических единиц, все создаваемые далее электронные карты усреднялись по скользящему квадрату 3 на 3 пикселя (90 на 90 метров).

Полученная модель пространственной организации территории позволила подойти к выделению структурных форм рельефа, связанных с действием гравитационных сил. Основными морфометрическими параметрами здесь являются высота, уклоны, вертикальная и горизонтальная кривизна, а также (для описания распределения водных потоков) удельная площадь водосбора.

На первом этапе классификация проводилась только по горизонтальной и вертикальной кривизне (Рис. 2а, б). По карте горизонтальной кривизны рельефа выделяются вогнутые (значение кривизны меньше нуля), выпуклые (значение кривизны больше нуля) и плоские (значение кривизны равно нулю) в плане элементы рельефа (Рис. 3а). Вогнутые, выпуклые и плоские в профиле элементы рельефа выделены по карте вертикальной кривизны (Рис. 3б).

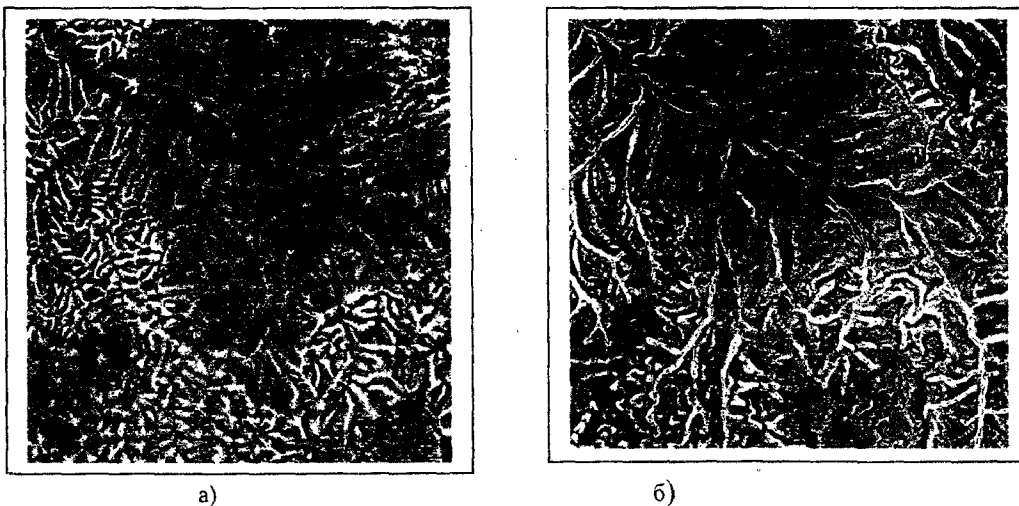


Рис. 2. Горизонтальная кривизна (а) и вертикальная кривизна (б) поверхности рельефа.

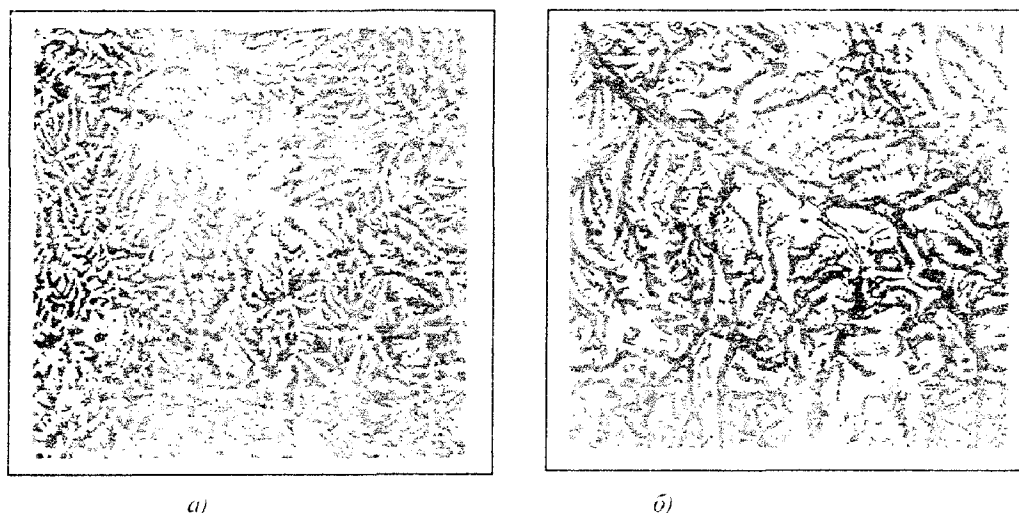


Рис. 3. Классификация поверхностей по горизонтальной кривизне (а) и вертикальной кривизне (б).
Вогнутые элементы – светлый тон, выпуклые – темный, плоские – серый.

Последующий синтез приведенных выше классификационных карт позволил рассчитать и позиционировать в пространстве девять классов морфологических форм поверхности.

На следующем этапе с использованием карты уклонов были выделены относительно плоские ($0 - 3^\circ$) участки. Далее все формы поверхности, которые попали на эти участки, были объединены в два класса - слабонаклонные поверхности водоразделов и слабонаклонные поверхности долин рек, оврагов и балок, причем участки плоские в плане и профиле полностью вошли в эти два класса. В результате было получено 10 типов элементарных форм поверхностей, сочетающих в себе комбинацию плоских, вогнутых и выпуклых в плане и профиле форм рельефа (Рис. 4).

Ранее А.Н. Ласточкин [5] определил полную группу различающихся по морфологии элементарных площадных форм, состоящую из 16 классов. В нашей классификации не были определены «привершинные и сквозные формы».

Построенная картографическая модель пространственного размещения различных морфологических единиц в рамках изучаемой территории в дальнейшем может служить хорошей картографической основой для ландшафтного, ландшафтно-экологического картографирования, а также более корректно подойти к интерполяции и экстраполяции ландшафтно-геофизических параметров среды. Это хорошо иллюстрируется примером анализа условий формирования микроклиматической дифференциации территории верховий бассейна реки Салгир.

Положение участка по отношению к воздушным и водным потокам, которые перемещаются независимо от силы тяжести, является одним из ведущих факторов формирования внутриландшафтной дифференциации микроклиматических показателей среды.

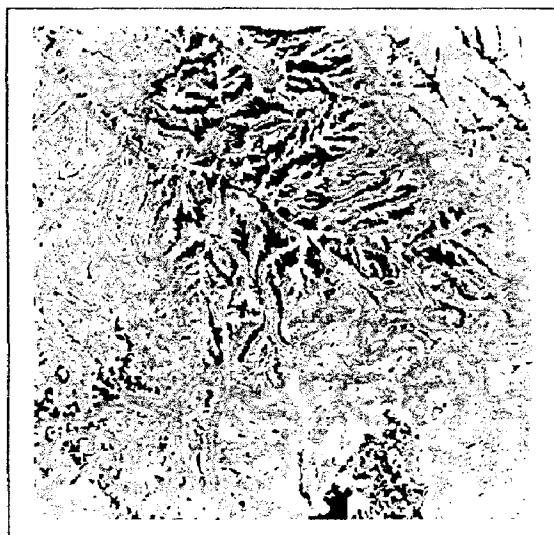


Рис. 4. Совместная классификация: горизонтальной кривизны, вертикальной кривизны и крутизны поверхности рельефа. Белый цвет - слабонаклонные поверхности водоразделов, черный - слабонаклонные поверхности долин рек, оврагов и балок, серый – склоновые поверхности.

Потоки, связанные с циркуляционной экспозицией, имеют непостоянство по пространству и времени, имеют разные скорости (суточный и внутригодовой ход и т.д.). В зависимости от направления этих потоков различают фронтальные, теневые и боковые участки [11]. Причем сила воздействия потоков на участки земной поверхности значительно зависит и от формы самих этих участков. Так, максимальному воздействию подвергаются вогнутые в плане участки, занимающие фронтальное положение к тепловлагонесущим потокам.

Используя цифровую модель рельефа, была построена карта экспозиций склонов и по ней выделены фронтальные, боковые и теневые участки по отношению к северо-западным ветрам, которые являются основными поставщиками осадков в зимне-весенний период (Рис.5).

Максимальное воздействие испытывают вогнутые в плане участки, занимающие фронтальное положение по отношению к северо-западным ветрам. На рисунке 5 они выделены черным цветом.

Не менее важной задачей при моделировании экотонических условий является анализ и картографирование местоположений различных участков, оцениваемых по их положению относительно радиационного потока. На рисунке 6 приведены расчеты суммы прямой солнечной радиации в зимний период для исследуемой территории.

Алгоритм расчета был реализован в программе, написанной на внутреннем языке программирования ArcView 3.2 – Avenue, где как входящие использовались астрономические (азимут и склонение Солнца), климатические (прозрачность атмосферы, характеристика подстилающей поверхности) и морфометрические (высота над уровнем моря, уклоны, экспозиция, затененность рельефа) параметры.



Рис. 5. Участки, испытывающие наибольшее воздействие осадков в зимний период.

Сочетание морфометрических показателей с информацией о суммарных дозах солнечной радиации позволяет судить о пространственном характере распределения тепла в рамках изучаемой территории бассейна р. Салгир.

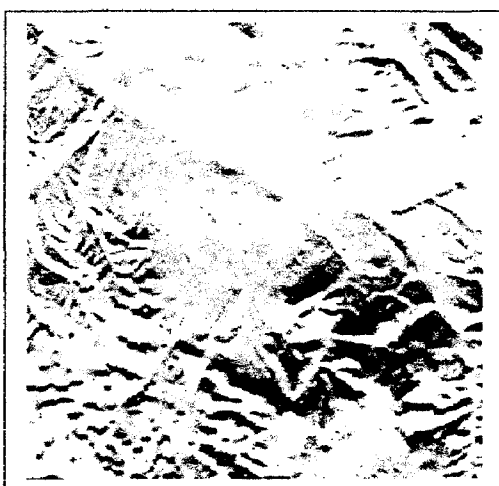


Рис. 6. Прямая солнечная радиация в зимний период. Темный цвет – наиболее прогреваемые участки, светлый – менее прогреваемые участки.

Таким образом, опыт геоинформационного моделирования ландшафтно-экотопических условий среды позволяет говорить о том, что пополнение современного методического и инструментального арсенала географии современными ГИС-технологиями позволяют совершенно по новому подойти к решению задач выделения экотопов, анализа их морфологических и морфометрических характеристик и изучению условий функционирования и состояния природно-территориальных комплексов.

Опираясь на полевые исследования, благодаря современным ГИС-технологиям, стало возможным расчетным путем получать более точные модели пространственного распределения значений ландшафтно-геофизических показателей.

Список литературы

1. Беручашвили Н.Л. Вопросы классификации состояний природных территориальных комплексов//Вопросы географии. - Сб.121.- Ландшафтоведение теория и практика. М.:Мысль, 1982.- С.73-80.
2. Боков В.А. Пространственно- временные отношения как факторы формирования свойств геосистем // Вестник Московского ун-та. Сер.5. География, 1991. - № 2.- С. 64-75
3. Дьяконов К.Н. Информационный подход к анализу организации геосистем топологического уровня//Вопросы географии. - Сб.127. – Моделирование геосистем. - М.:Мысль, 1986. – С.111-122.
4. Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. -Новосибирск: Наука, 1979.- 172 с.
5. Ласточкин А.Н., Ландшафтно-геоэкологические исследования на геотопологической основе. - Вестник Санкт-Петербургского университета. 1992 г. Сер. 7. Вып. 2 (№14). с. 33-47.
6. Лычак А.И., Глущенко И.В. ГИС-моделирование экотопической структуры территории объектов природно-заповедного фонда (на примере Караларского ландшафтного заказника в Крыму) // Ученые записки ТНУ. Серия География, 2003. – Т. 16 (55). – С.101-105.
7. Лычак А.И., Глущенко И.В. Теоретико-методологические основы геоинформационного моделирования экологических состояний геосистем (на примере анализа лесорастительных условий в горном Крыму) // Ученые записки ТНУ. Серия География, 2003. - Т. 16 (55). – С.96-100.
8. Боков В.А., Карпенко С.А., Лычак А.И. Программа построения модели пространственно-временной организации геосистем Крыма на базе ГИС-технологий.//Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. - Серия «География».- Том 14 (53).- №2.- (2002)- С.118-123
9. Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Основы ландшафтного анализа. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
10. Пузаченко Ю.Г., Онуфрениа И.А., Алещенко Г.М. Количественные методы классификации форм рельефа. -Известия АН Серия географическая, 2002 г. №6. с. 17-25.
11. Пузаченко Ю.Г., И.А. Онуфрениа, Г.М. Алещенко Анализ иерархической организации рельефа. - Известия АН Серия географическая, 2002 г. №4. с. 29-38.
12. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Топологические основания выделения систем в географических науках//Вопросы географии. - Сб.104.- Системные исследования природы. - М.:Мысль,1977. – С.37-54.
13. Пузаченко Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний//Вопросы географии. - Сб.127. – Моделирование геосистем. - М.:Мысль, 1986. - С.96-111.
14. Ретеюм А.Ю. О факторах и формах упорядоченности пространства оболочки земли//Вопросы географии. - Сб.104. – Системные исследования природы. – М.:Мысль, 1977. – С.84-95.
15. Ретеюм А.Ю. Анализ и синтез геосистем: от статике к динамике//Вопросы географии. - Сб.121. – Ландшафтоведение теория и практика. – М.:Мысль, 1982. – С.55-63.
16. Симонов Ю.Г. Моделирование в географии (гносеологические подходы) //Вопросы географии. - Сб.127. – Моделирование геосистем. – М.:Мысль, 1986. – С.11-17
17. Солнцев Н.А. О морфологии природного географического ландшафта//Вопросы географии.– Сб.. – М.:Географгиз, 1949. – С.61-86.
18. Сысуев В.В., Морфометрический анализ геофизической дифференциации ландшафтов. - Известия АН Серия географическая, 2003 г. №4. с. 36-70.

Статья поступила в редакцию 16.05.05