



УДК 912(084.325):528.9

В. А. ЕРМОЛЕНКО

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

A geometrical method of ecological cartography-making is suggested, which has been anticipated by the founder of bowels geometry prof. P. K. Sobolevsky (1869—1949) from the Yekaterinburg Mining Institute.

The method's based upon an is a linear designind of real, conventional and derivative «surfaces» of social and ekonomik and ecological parameters, using computer technology.

Сейчас, когда воспроизведение поверхности планеты на карте практически завершено, перед человечеством возникла другая, не менее трудная задача картографического отображения качества среды обитания. Из учения В. И. Вернадского о переходе биосферы в ноосферу следует – реальное пространство, в котором живет и творит современный человек, не является непрерывным, а стремительно изменяется во времени. Это означает, что оно имеет скорее четыре (X, Y, Z, C), а не три (X, Y, Z) геометрических измерения. Географическое пространство как бы трансформируется в эколого-географическое, представляющее, по А. И. Чистобаеву (1993), пространственно-временное сочетание общественных объектов, явлений и процессов в совокупности с природным окружением.

Географы нынешнего поколения уже осознают существование «мысленных карт» для «географизации» глобальных природно-антропогенных процессов. Отметим в связи с этим, что еще в эллинскую эпоху геометрия (geo – Земля и metron – измерение) наравне с философией была отнесена к естественным наукам и Евклид, надо полагать, рассматривал ее как науку, объясняющую природу Вселенной. Его «Начала» (в латинизированной форме – «Элементы») – образец научного подхода, которого следует придерживаться при создании любой дедуктивной системы.

Ближе к нашему времени геометрия, в сути своей оставаясь неизменной, расширяла свои методы и предмет исследований в направлении аффинной, проективной, неевклидовой и конформной геометрий (Декарт, Гаусс, Лобачевский и др.), что в комплексе наиболее полно соответствует системе взглядов Эрлангенской программы Клейна (1872), поставившей задачу о вскрытии внутренней связи между различными областями математики. И уже в наше время развивается новое геометрическое направление – т о п о л о г и я (от analysis situs Лейбница и Эйлера) как геометрия непрерывной совокупности любых объектов и явлений (Риман, Гильберт и др.), наделенных так называемой топологической структурой. Именно топология представляет собой ту область знаний, методы которой имеют приложение во всех отраслях естествознания. Поэтому современная геометрия, несмотря на свой абстрактный характер, использует в качестве объектов исследования конкретные построения с далеко идущими выводами.

Первостепенными объектами исследований являются природно-антропогенные системы на картографической основе [1]. Картографи-

ческие принципы и методы изучения окружающей природной среды, особенно с использованием компьютерной технологии, должны обеспечить оптимальное социо-экономико-экологическое моделирование геосистем. Многолетние генетические и какие-либо другие подходы к созданию интегрированной экологической карты успеха не имели, что и было подтверждено I Международным совещанием картографов-экологов [2].

В связи с этим нам представляется возможным объединить две в основе своей отдельные темы – общую методологию топологии с теорией изолиний П. К. Соболевского (1869 – 1949) – применительно к «топографическим поверхностям» нового, более высокого порядка (X, Y, Z, C) . Изложение существа топологических аспектов проблемы связано с необходимостью введения абстрактных математических понятий, в частности «непрерывности изолиний», имеющих прямое отношение к теории кривых поверхностей.

Пусть f – отображение топологического пространства M в метрическом пространстве N , при котором точка a пространства M переходит в точку $f(a)$ пространства N . Отображение $f: M \rightarrow N$ непрерывно в точке a пространства M , если для любого числа $\epsilon > 0$ найдется число $\delta > 0$; при этом δ -окрестность $U_\delta(a)$ точки a отображается в ϵ -окрестность $U_\epsilon(f(a))$ точки $f(a)$ пространства N , т. е.

$$f(U_\delta(a)) \subset U_\epsilon(f(a)).$$

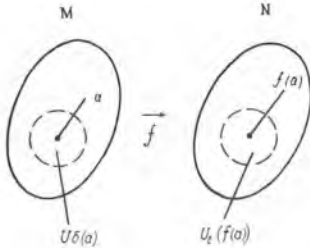


Рис. 1. Отображение топологического пространства M в метрическом пространстве N

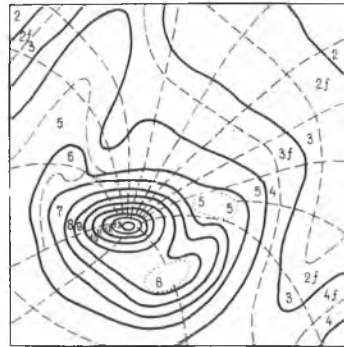


Рис. 2. Система изогradientов и векторных полей, эквивалентная дифференциалу топографической поверхности

И если условие непрерывности выполняется для всех точек пространства M , то $f: M \rightarrow N$ отображение непрерывное (рис. 1). Доказательство непрерывности конкретного отображения сводится, таким образом, к нахождению для произвольно взятой ϵ -окрестности точки a в δ -окрестности, удовлетворяющей этим условиям (к взаимной однозначности добавляется условие взаимной непрерывности).

При выяснении геоморфизма топологических пространств (существования между ними топологического соответствия) возникает очень важный вопрос – какие геометрические свойства и каким образом переносятся при непрерывном отображении пространства. В связи с этим обратимся к методу изолиний профессора Екатеринбургского горного института П. К. Соболевского [3] – теоретической базе научной дисциплины «Геометризация недр» [4].

Сущностью теоретической части метода изолиний является теория геохимического поля недр Земли, как сложного комплекса геохимических полей и структурных форм литосферы. За исходное принято положение, что геохимическое поле вообще является полным аналогом геофизического поля и если характерные свойства этого поля выразить для любой точки (в ординатах X, Y, Z) соответствующим числом V , то эти свойства могут быть рассматриваемы как функция времени (t), т. е. $V = f(X, Y, Z, t)$. При этом функция V удовлетворяет следующим четырем условиям:

1) условие конечности, т. е. значение V не может быть равно ∞ ;
2) условие однозначности, т. е. для данной произвольной точки (X, Y, Z) и для данной «эпохи» t функция V имеет только одно значение;

3) условие непрерывности, согласно которому с незначительным перемещением точки наблюдения соответственно незначительно изменяется и количественная характеристика поля или, что более понятно, бесконечно малому перемещению точки по карте (X, Y) отвечает и бесконечно малая перемена Z ;

4) условие плавности, имеющее в прикладной части особо важное значение, на картах выражается двояко — плавностью течения каждой отдельно взятой кривой и плавностью изменения промежутков между целой системой кривых (плавность скатов).

Нетрудно понять, что удовлетворяющая всем этим условиям поверхность есть поверхность t о п о г р а ф и ч е с к а я, а изо — V хорошо нам известные изогипсы (изолинии). На этом основании совершенно ясна полная аналогия между аналитическими системами координат и структурно-графическими (или картографическими) системами. Более понятна и суть предыдущих рассуждений (см. рис. 1). Здесь же существенно важно усвоить, что перемена систем координат графических, так же как и аналитических, не может дать большей точности в определении координат точек самой топографической поверхности. Именно поэтому система изолиний «вытесняет» все другие системы там, где нужна простота, достаточная точность и к тому же еще наглядность.

Итак, для топографической поверхности функция $Z = F(X, Y)$ удовлетворяет условиям конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Это означает, что для любой системы таких поверхностей применимы абсолютно все математические действия: сложение, вычитание, умножение, деление, логарифмирование, дифференцирование, интегрирование и т. п. Например, $z_1 + z_2 = f_1(x, y) + f_2(x, y) = Z$. Причем $Z = -F(X, Y)$ есть тоже уравнение топографической поверхности в соответствующих изолиниях; более сложное математическое преобразование топографической поверхности, например дифференцирование, приведет к особой карте (рис. 2) с изогradientами и векторными линиями (если же «топографическая карта» носит характер скалярного поля, то ее дифференцирование приводит к изображению векторного поля, к векторно-топографической карте).

В результате элементарных действий над топографическими поверхностями мы каждый раз приходим к какой-то новой топо-поверхности, характеризуемой соответствующими изолиниями, как функции тех исходных данных, которыми приходится оперировать с определенной целью. В частности, интегрирование приобретает особое значение при анализе целого ряда вопросов, связанных с деформацией дневной поверхности в условиях Солигорских калийных рудников.

Методология горной геометрии была безуспешно применена нами для геометризации Прибалтийского фосфоритоносного бассейна в связи с разведкой и разработкой фосфоритовых месторождений. Созданная еще в конце 60-х и апробированная в начале 70-х годов серия карт для этого района позволила решить ряд горнотехнических задач, связанных с комплексным освоением недр и рациональным использованием природных ресурсов [5].

В последние годы метод изолиний, разработанный П. К. Соболевским на примере горнорудного Урала, весьма эффективно использован ведущими специалистами института почвоведения и фотосинтеза РАН для обоснования структурной организации агроландшафтов [6]. Применению изолинейного моделирования в географии посвящена докторская диссертация В. А. Червякова [7].

Как нам представляется, возможности изолинейного моделирования гораздо шире и дальнейшие исследования в этой области весьма перспективны, прежде всего для решения комплексных проблем природопользования. Частично это доказано нами для условий Солигорского горно-промышленного района (ГПР) в результате совместной геометризации горно-геологических показателей недр и экономико-экологических показателей ГПР (рис. 3). Здесь в сфере экономико-математиче-

ского синтеза были вовлечены неоднородные параметры (реальные, условные и производные), но их изолинейное моделирование позволило оптимизировать ресурсосберегающую технологию. Результаты исследований в этом направлении апробированы на V Международном маркшейдерском симпозиуме в Болгарии (Варна, 1982), XI Всемирном горном конгрессе в Югославии (Белград, 1982) и VII Международном конгрессе по маркшейдерскому делу в СССР [8].

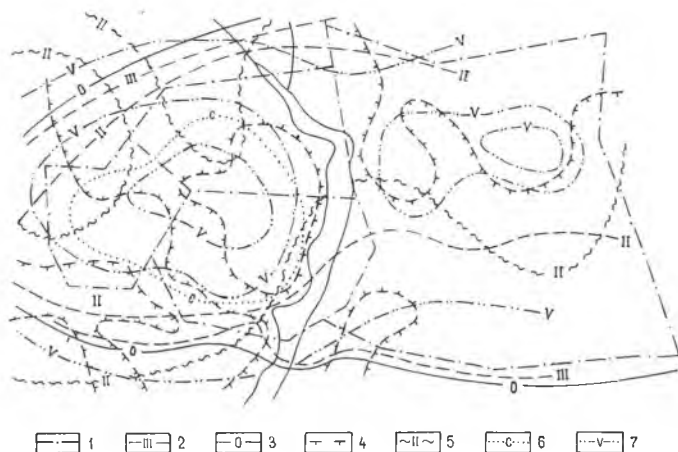


Рис. 3. Геометризация экономико-экологических параметров Солигорского ГПР:

1 — шахтные поля; 2 — распространение калийных горизонтов; 3 — муфта сдвижения горных пород; 4 — площади, свободные от заболачивания и подтопления из-за оседания дневной поверхности; 5 — изолинии бонитировки сельхозугодий и их стоимостных оценок; 6 — зона засоления почв и подземных вод; 7 — изолинии экологического ущерба

Для дальнейших исследований представляет интерес понятие многообразия поверхностей (Лагранж, Грассман, Пуанкаре и др.), где под точкой n -мерного пространства R^n понимают набор из отдельных чисел (x_1, x_2, \dots, x_n) , а под n -мерным пространством — множество всех таких точек, когда числа x_i приобретают независимо все возможные значения; к тому же между любыми двумя точками $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ вводится расстояние

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \geq 0.$$

Являясь комбинаторным топологическим пространством, n -мерное многообразие в принципе позволяет осуществить униформизацию алгебраических кривых. И что особенно важно, любая сферическая поверхность S^{n-1} , задаваемая уравнением $\sum_{i=1}^n x_i^2 = 1$, представляет собой замкнутое

$(n-1)$ -мерное многообразие кривых и поверхностей как непереносимое условие для изолинейного моделирования.

Исходя из вышеизложенных предпосылок, отметим один частный случай, весьма важный для геоэкологического картирования. Пусть имеется неравномерная сеть точек экологического опробования (по любому ингредиенту и виду природных ресурсов) с номерами 1, 2, 3, ..., i, ..., N, где определены (химическими и другими анализами) значения показателя $c_1, c_2, c_3, \dots, c_i, \dots, c_N$. По этим данным нужно определить неизвестное значение показателя c_k в точке K (рис. 4). Уместно предположить, что существует некоторая взаимосвязь между значениями показателя в точках 1 — N и в точке K, обратно пропорциональная расстояниям d_{kj} между известными точками и неизвестной, которая позволяет определить

$$c_k = \sum_{i=1}^N c_i d_{ki}^{-2} \left(\sum_{i=1}^N d_{ki}^{-2} \right)^{-1},$$

где c_k – значение показателя в точке К; c_i – значения показателя в точках 1 – N; d_{ki} – расстояние между известными точками и неизвестной. Кроме практического применения в геоэкологическом картировании, эта взаимосвязь, по сути дела, и была использована Ж. Матероном [9] при разработке теории геостатистики, а А. Н. Колмогоровым [10] – в идее оптимальной интерполяции. В связи с этим для исследования изменчивости геоэкологических показателей определен интерес представляет использование общих аналитических методов поиска пространственных статистических закономерностей с их аппроксимацией поверхностями вида [11]:

$$\bar{c}(x, y) = \sum_{\beta=0}^n \sum_{\alpha=0}^n a_{\alpha\beta} x^\alpha y^\beta,$$

где x, y – координаты точек опробования; $a_{\alpha\beta}$ – коэффициенты полинома, определенные методом наименьших квадратов из системы линейных уравнений, решение которой без компьютерной технологии практически невозможно. Это очевидно, поскольку даже для полинома третьего порядка уравнение уже имеет непростой вид:

$$\bar{C} = a_{00} + a_{01}x + a_{02}x^2 + a_{03}x^3 + a_{10}y + a_{11}xy + a_{21}x^2y + a_{20}y^2 + a_{21}xy^2 + a_{30}y^3,$$

а вся система уравнений подчинена условию $\sum_{i=1}^K (\bar{C} - C_i)^2 = \min$, где C_i – фактические значения геоэкологических показателей.

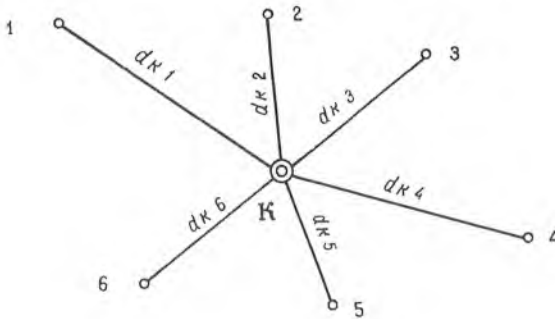


Рис. 4. Взаимосвязь геоэкологического показателя в неизвестной точке К с показателями в точках опробования 1–6

Полином, предназначенный для математического описания эмпирических распределений вероятностей (с обоснованием оптимального сечения изолиний и построением карт на компьютерном графопостроителе при практически неограниченном объеме первичной информации, а также с оценкой изменчивости показателей по остаточной дисперсии $\sigma_{ост}^2$ и подсчетом «запасов» техногенных веществ в пределах оконтурированной площади), более надежно характеризует геосистемную сущность объекта исследований, чем горизонтальная плоскость на уровне среднего арифметического при линейном интерполировании C_{ij} [5, 8, 11].

Создание сводной (интегрированной) экологической карты региона (района) на ландшафтной топооснове с целью обоснованного районирования территории по экологическим ситуациям – нормальным, удовлетворительным, напряженным, кризисным и катастрофическим в соответствии с предложениями [12] для эффективного вложения природоохранных инвестиций – весьма заманчиво, остро необходимо и достаточно сложно, если не невозможно [2]. Тем не менее теория топологических многообразий (R^n -многообразиие, PL-многообразиие, дифференцируемое многообразиие и др.) как самая современная область геометрии,

а на базе компьютерной технологии и весьма перспективная в практическом приложении, несомненно, и есть та область знаний, которая позволяет решить эту наисложнейшую проблему с учетом специфики многочисленных и разнохарактерных параметров биосферы.

В связи с этим необходимо усвоить одну простую истину – точность, которую мы можем извлечь из эко-карты зависит при прочих равных условиях от масштаба этого графика, т. е. от степени уменьшения природы при ее картографическом отображении. Так, маркшейдерская практика для самых точных геометрических работ установила масштаб 1:1000 и даже 1:500, а для более общих обзорных работ 1:5000 и 1:10000. Наши исследования для создания экологической карты Солигорского ГПР [8] применяли масштабы 1:25000, 1:50000 и даже 1:100000. Таким образом, предлагаемый здесь геометрический метод экологического картографирования применим для крупномасштабных карт локальных районов. Предложения [12] эффективны и актуальны, вероятно, для карт до 1:1 000 000 масштаба. Применяемый в настоящее время генетический метод целесообразен лишь для мелкомасштабных карт и с конкретной целью – прогнозирования возможных экологических проблем, причем разработки [8, 12] в этих же целях более аргументированны. Объективности ради отметим, что оценка точности результатов в связи с картографической генерализацией может внести существенные коррективы в эти выводы и поэтому требует отдельного обсуждения как с позиций теории ошибок [5], так и с точки зрения имманентности [13]. Ясно одно, целевая генерализация должна решать две задачи (выявление и отображение определенных признаков, свойств и взаимосвязей объектов изучения [14], а также переход от их индивидуальных черт к родовым характеристикам [15]), синтез которых может привести к получению качественно новой информации [16], что при эколого-географическом и особенно эколого-экономическом [17] картографировании может приобрести прикладную значимость. «В конечном счете вершиной таких разработок должны стать карты территориальной организации общества» [18. С. 25] на пути от техносферы (А. Е. Ферсман, 1924) к ноосфере (В. И. Вернадский, 1926) с использованием синтезированных признаков (Ю. Д. Дмитриевский, 1991 и др.).

Основоположник геометрии недр П. К. Соболевский существенно ограничил свой метод изолиний рамками горно-геологических параметров. Спектр возможных приложений этого метода значительно шире: геоморфология и почвоведение, гидрогеология и гидрология, климатология и т. д., что подтверждают работы [5 – 8]. Это вселяет надежду на успешное применение геометрического метода экологического картографирования для решения природоохранных задач.

Безусловно, без четкого изложения математической теории нелегко понять, что именно является предметом ее исследования. Однако в рамках этой статьи нам пришлось отказаться и от логического анализа проблемы, и от аналитического подхода к ней. Направленность статьи иная – она дает общее представление о предмете исследований, а ее предназначение в выборе пути развития экологического картографирования биосферы. Изобразительные и познавательные возможности изолинейных карт мы вправе рассматривать как плодотворное средство моделирования геосистем для управления природопользованием.

Список литературы

1. Исаченко А. Г. // Изв. ВГО. 1990. Т. 122. Вып. 4. С. 289.
2. Принципы и методы экологического картографирования. Пуцшино, 1991.
3. Соболевский П. К. Современное маркшейдерское искусство как методология для решения основных задач горного искусства. Л., 1926.
4. Ушаков И. Н. Горная геометрия. Л., 1937.
5. Ермоленко В. А. // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1973.
6. Геометрия структур земной поверхности / Под ред. И. Н. Степанова. Пуцшино, 1991.
7. Червяков В. А. // Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Л., 1992.
8. Ермоленко В. А., Сенин В. Н., Жмойдяк Р. А. // Докл. VII Междунар. маркшейдер. конгресса. Л., 1988. Т. 4. С. 138.
9. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., 1968.

10. Колмогоров А. Н.//Изв. АН СССР. Сер. мат. 1941. № 5. С. 369.
 11. Ермоленко В. А., Низгурецкий З. Д.//Докл. АН БССР. 1977. Т. 21. № 6. С. 545.
 12. Кочуров Б. И.//Изв. РАН. Сер. географ. 1992. № 2. С. 112.
 13. Баранский Н. Н.//Учен. зап. МГУ. 1946. Вып. 119. Кн. 2. С. 180.
 14. Салищев К. А. Картоведение. М., 1990.
 15. Лютый А. А. Язык карты: сущность, система, функции. М., 1988.
 16. Берлянд А. М.//Изв. ВГО. 1987. Т. 119. Вып. 5. С. 403.
 17. Руденко Л. Г. Картографическое обоснование территориального планирования. Киев, 1984.
 18. Смирнов Л. Е.//Изв. РГО. 1993. Т. 125. Вып. 2. С. 19.

УДК 551.510:629.13

В. Н. КИСЕЛЕВ, В. Н. НЕСТЕРУК, М. В. ЛЫСКОВЕЦ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТОЛЕТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЗАМОРОЗКАМИ

On the peat-bogs of Byelarusian Polesye which occupy vast territories ground frosts are possible during the vegetative season. To destroy them application of helicopters is recommended.

В связи с антропогенными изменениями одного из ведущих климатообразующих факторов – подстилающей поверхности (замены теплоаккумулирующей обводненной поверхности низинных болот теплоизоляционной поверхностью торфяников) – заморозки в Беларуси стали лимитирующим условием возделывания таких культур, как картофель (особенно ранних сортов), кукуруза, яровая пшеница, гречиха, огурцы и помидоры. Ими повреждаются сады и плантации ягодных культур. Особенно актуальна борьба с заморозками для юга Беларуси (Полесье). Если до крупномасштабного мелиоративного освоения Полесья поздние весенние заморозки на минеральных почвах прекращались в третьей декаде апреля [1], то на торфяниках они возможны в течение всего вегетационного периода, а раннелетние заморозки наблюдаются практически ежегодно. Прогнозируемое нарастание континентальности климата Беларуси после водно-земельных мелиораций и формирование местного климата на осушенных массивах сельскохозяйственных угодий с обязательными поздневесенними и раннелетними заморозками [2] делает поиск эффективных способов их предотвращения наиболее актуальным. Обычно для борьбы с заморозками рекомендуются: дымление при помощи дымовых куч и самолета, укрытие наиболее ценных культур на небольших площадях соломенной резкой, лапами хвойных деревьев, а также их полив [1]. В районах менее расчлененного рельефа вероятность и интенсивность заморозков возрастает. По этой причине площадь поврежденных ими культур в Брестской и Гомельской областях достигает значительных величин.

Применение традиционных методов борьбы с заморозками (наземное дымление и укрытие культур) на больших осушенных массивах Полесья малоэффективно. Их локальное использование приводит к тому, что в воздух вводится большое количество аэрозолей, копоти, дыма и других вредных для здоровья людей веществ. К тому же эффективность этих методов зависит от изменчивости ветра. При малых барических градиентах, характерных для заморозков, часто меняются скорость и направление ветра, что приводит к загрязнению большой территории канцерогенными веществами [3].

Нами предлагается турбулентный способ с использованием вертолета. Вертолет без пассажиров представляет собой укрупненный вентилятор с автономным источником энергии (двигательной установкой). Математическое моделирование и натуральные эксперименты использования вертолетов указывают на то, что в результате их полета на малой скорости происходит сильное воздействие на окружающую среду. Турбулентный поток от несущего винта («вентилятора») приводит к перемешиванию воздуха в зоне температурной инверсии, что вызывает повышение температуры в приземном слое (размещения сельскохозяйственных культур), и разрушению условий, приводящих к возникновению заморозков [4].