

References

1. Petrenko O. A., Sebah L. K., Fashchuk D. YA. Nekotorye ehkologicheskie posledstviya dampinga v Chernom more gruntov, izvlekaemykh pri dnoug-lublenii v Kerchenskom prolive. // Vodnye resursy. – 2002. № 5. – S. 622-635.
2. Lomakin P.D., Spiridonova E.O. Prirodnye i antropogennye izmeneniya v polyah vazhnejshih abioticheskikh ehlementov ehkologicheskogo kompleksa Kerchenskogo proliva v techenie dvuh poslednih desyatiletij. – Sevastopol': EHKOSI-Gidrofizika, 2010, – 118 s.
3. Boss E., Pegau W.S., Zaneveld J.R.V. et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // J. Geophys. Res. – 2001. – 106, № C5. – P. 9499 – 9507.
4. M. Tedetti, R. Longhitano, N. Garcia, C. Guigue, N. Ferretto and M. Goutx. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France). Environ. Chem. 2012, 9, P. 438–449.
5. <http://ecodevice.com.ua/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor>
6. <http://hydro.bio.msu.ru/index.php>

УДК 913(470.12):910.27

DOI: 10.34046/aumsuomt90-8

АНАМОРФИРОВАНИЕ КАРТЫ ОБСТАНОВКИ КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

*Е.Л. Бородин, кандидат технических наук, доцент
С.И. Биденко, доктор технических наук, профессор
И.С. Храмов, аспирант*

Рассмотрены свойства картографических изображений с точки зрения процедур оценки обстановки в районе морской транспортной активности и территориального планирования. Выделены задачи пространственного анализа, требующие перехода от картографического к топологическому отображению географической реальности. Рассмотрены существующие методики анаморфирования, их классификация, преимущества и недостатки. Разработаны модели построения анаморфоз местности для топологизации геоизображения реальной действительности. Предложен алгоритм, основанный на аффинном преобразовании, базирующийся на искажении границ района относительно центра масс области. Приведено сравнение предлагаемого алгоритма с существующим алгоритмом Гастнера-Ньюмана. Приведен пример выполнения оценки обстановки и построения анаморфозы оценочной карты в интересах безопасной навигации в районах со сложной ледовой обстановкой. Предложен ряд оригинальных терминов и понятий в системе геоинформационной поддержки управления территориальными объектами

Ключевые слова: район морской транспортной активности, территориальная обстановка, анализ и оценка обстановки, карта местности, геопространство, геообъект, анаморфирование, картоид.

Characteristics of cartographic pictures in terms of procedures for situation assessment in area of marine transport activity and territorial planning have been discussed. Tasks of spatial analysis from cartographic to topological reflection of geographical reality have been pointed out. The article considers the existed methods of anamorphosis, their classification, as well as their advantages and disadvantages. Constructing anamorphosis models of locality for topologization of real geo picture have been worked out. Algorithm based on aphin transformation, having distortion of area borders relative to the mass center of locality have been suggested. Comparison of the suggested algorithm with the existed Gastner- Newman's algorithm has been made. Example of performing situational assessment and anamorphosis constructing of evaluating map in favor of safe navigation in heavy ice areas have been given. A number of original terms and definitions in the system of geo information support for the territorial object control have been suggested.

Key words: area of marine transport activity, territorial situation, analyses and assessment of situation, map of locality, geo space, geo object, anamorphosis, kartoid.

Морская транспортная активность (грузовые и пассажирские перевозки, исследования Мирового океана, добыча биоресурсов, энергоносителей (углеводородов), полезных ископаемых, строительство и эксплуатация трубопроводов, охранная и оборонная деятельность, отдых, соревнования и др.) характеризуется обширным пространственным охватом и сложным содержанием функционированием [5, 11, 13].

Управление морской транспортной активностью (МТА) включает такие базовые этапы, как оценка обстановки, выработка решения реализация плана [5, 13].

Оценка обстановки является важным элементом в системе управления МТА, так как на ее основе формируются варианты замысла и плана действий [4, 5, 13].

Традиционно обстановка в районах морской транспортной активности отображается, ведется и анализируется с помощью карт [5, 13].

Карта – это математически определенное, уменьшенное, генерализованное отображение земной (или иной поверхности) или геопространства, показывающее посредством условных знаков размещение и свойства картируемых объектов [3, 16]. То есть это – модель земной поверхности, характеризующаяся:

- математической основой (проекция, масштаб, сетка);
- отбором отображаемых объектов и явлений;
- легендой (правилами) изображения реальной действительности.

В качестве модели карта служит для анализа изображенных на ней процессов и явлений, их связей и отношений, их пространственно-временной динамики [3, 6].

С точки зрения процедур управления МТА морская карта характеризуется следующими полезными свойствами [4, 13]:

1) *пространственно-временное подобие* (геометрическое, временное, реляционное (связи, отношения)) объекта обстановки и его картографического изображения;

2) *содержательное соответствие*, обуславливающее передачу главных существенных особенностей объектов обстановки с учетом генезиса, внутренней и внешней структуры, иерархии картируемых объектов местности (геообъектов);

3) *наглядность и обзорность* – оперативная одномоментная передача (параллельный код) расположения всех отображаемых на карте объектов, их пространственных и содержательных характеристик, связей и отношений;

4) высокая *информативность* – наряду с размещением большого количества знаков и характеристик, дополнительная информация содержится во взаимном расположении и соподчинении объектов, процедурах математико-картографического моделирования, анализа и синтеза территориальной обстановки.

5) *метричность* – возможность выполнять прямые измерения количественных (картометрических) показателей и определять качественные характеристики объектов и отношений реального мира (с учетом особенностей математической основы (проекция, масштаб) карты);

6) *синтетичность* – возможность получать отсутствующие на первичной карте реальности параметры и характеристики географической действительности;

7) *генерализованность* карты, подразумевающая: переход от индивидуальных понятий к классификационно-обобщающим; установление и отображение типичных (с точки зрения существа решаемой с помощью карты задачи, ее назначения (типа)) характеристик объектов; устранение второстепенных деталей, что сообщает карте *свойство пространственно-содержательной абстрактности* (в противоположность географической конкретности);

8) *избирательность и обобщенность* – способность, с одной стороны, вычленять и раздельно представлять те факторы и аспекты геообъекта, которые в реальной действительности проявляются совместно (форма без содержания, содержание без формы), а, с другой стороны, давать целостное изображение явлений и процессов, которые в реальных условиях проявляются изолированно (тип климата, тип гидрологии, режим судоходства и др.);

9) *универсальность* – при составлении карты ориентируются на удовлетворение потребностей различных пользователей;

10) *непрерывность* – картографическое изображение присутствует во всех точках карты, на ней нет пустот и разрывов (за исключением разрывов, обусловленных некоторыми картографическими проекциями);

11) *однозначность* – свойство иметь единственное значение картируемого параметра в каждой точке геопространства в пределах принятой системы условных обозначений.

С точки зрения анализа и оценки обстановки в районе МТА, управления территориальными объектами и системами, картам свойственны следующие характерные существенные недостатки [4, 13]:

1. Субъективность карты, обусловленная предпочтениями картографа при выборе математической основы, составлении карты, выполнении процедур генерализации. То есть, невозможность участия пользователя (судоводителя) в формировании требуемого для конкретных задач картографического изображения (КИз).

2. Отсутствие возможности использовать априорные первичные данные полевых наблюдений, данных дистанционного зондирования. Это снижает степень доверия пользователя к отображенным на карте объектам и явлениям.

3. Низкая оперативность и высокая трудоемкость выполнения измерений по карте, выполнения преобразований КИз (проекции, масштаба, нарезки, легенды и др.), нанесения данных обстановки, совместной обработки априорных

(карта) и оперативных (от системы наблюдения) данных, графической и описательной информации.

4. Статичность КИЗ, показ только одного временного среза, невозможность передачи системной динамики обстановки и «проигрывания» вариантов действий, низкие мультимедийные качества.

5. Отсутствие возможности анализа взаимосвязей между различными феноменами, если они не отображены на карте.

6. Потеря общей ситуации в районе МТА в целом при необходимости перехода к крупным масштабам КИЗ. За детализацию (увеличение масштаба КИЗ) обстановки в конкретном подрайоне платим потерей отображения общей ситуации в регионе.

7. Устаревание КИЗ, необходимость трудоемкой ручной корректуры карты.

8. Низкая контроллинговая активность [4, 5, 13], возможность использования КИЗ в системах территориального управления только на уровне карты-подложки.

В аспекте снижения размерности пространства признаков МТА, применения в территориальном анализе и управлении методов теории графов, искусственных нейронных сетей карта имеет еще один недостаток: сохраняет неравномерность передачи пространственного распространения картируемых содержательных параметров (плотности, напряженности, потенциалы геофизических, географических, морфометрических, социальных, экономических, логистических и др. характеристик (полей)). КИЗ не обеспечивает изотропность (равномерность) распределения картируемого параметра в пространстве.

Для обеспечения изотропности представления и отображения анализируемого параметра геоситуации могут быть применены процедуры топологизации или анаморфирования [1, 2, 7, 9, 10, 12, 14, 17] картографических изображений реальной географической действительности. В этом случае географически конкретное изображение территориальной обстановки (карта) перейдет в абстрактное (с точки зрения географической конкретики) изображение местности (картоид, анаморфоза) [7, 9, 14]. Но при этом будет обеспечено свойство изотропности картируемых параметров.

Еще одно полезное свойство топологизации (анаморфирования) реальной тактической геоситуации – снижение размерности пространства решений [14, 17], что, в свою очередь, повышает оперативность выработки вариантов решения.

Важным аспектом информационно-аналитических систем является дружелюбность интерфейса доведения информации об обстановке оператору (лицу, принимающему решение) для адекватного восприятия, оперативного анализа и принятия решения для широкого спектра практических задач через графическое представление информации.

Эта информация должна всесторонне учитывать различные факторы и характеристики исследуемого процесса или явления, а для того, чтобы ее восприятие и обработка привели к резкому сокращению времени ее анализа и, соответственно, времени принятия обоснованного варианта решения, носить в основном, визуальный характер – в виде визуальных информационных образов.

Метод анаморфирования, относящийся к когнитивной компьютерной графике, используется в качестве одного из способов анализа исходных данных и принятия обоснованного варианта решения на основе визуализации актуальной информации. Существует достаточно большое количество численных методов построения анаморфоз, каждый из которых обладает рядом достоинств и недостатков [8, 9, 17, 18]. Но эти методы не уделяют должного внимания проблеме отображения результатов анаморфирования исходного картографического изображения.

Понятие анаморфозы [7, 9, 17], которая определяется как переход от одного визуального образа, построенного на основе евклидовой метрики, к другому визуальному образу, в основе которого лежит метрика рассматриваемого процесса или явления на основе выбранного показателя, является основой метода анаморфирования. При этом возможность визуализировать сложные и неочевидные показатели, учитываемые при принятии решений, является важным преимуществом метода анаморфирования.

Ключевым аспектом анаморфирования является выбор так называемых ключевых точек. Соответственно задача отображения результатов анаморфирования состоит в следующем. В качестве исходных данных поступают начальные и конечные координаты ключевых точек изображения. Координаты любых двух этих точек не совпадают. Также имеется некоторое растровое изображение. Необходимо получить изображение, преобразованное в соответствии с перемещением ключевых точек.

Существует достаточно большое количество методов анаморфирования [1, 2, 7, 8, 9, 12, 14, 17] КИЗ. Большинство из них опирается на

разбитие анаморфируемой области на какие-либо участки с последующим изменением их площади, либо методом выравнивания плотности показателя, либо аффинными преобразованиями с соответствующими коэффициентами. В методе, предложенном У. Тоблером, методе треугольников, разработанном в Московском государственном университете им. Ломоносова, алгоритме лаборатории Лоуренс Беркли изображение разбивается на геометрические фигуры - ячейки. В ходе работы алгоритмов положение вершин ячеек меняется так, чтобы каждая ячейка приобрела определенную площадь. Вышеперечисленные методы подробно описывают способы определения нового положения вершин, но они не содержат пояснений, как отразить эти изменения на визуальном образе [7, 8].

Можно разделить методы анаморфирования на две категории: рассматривающие все точки области и только точки границы. Первая группа методов дает преимущество в точности, однако вторая превосходит в скорости расчетов.

Предлагается следующий алгоритм топологического преобразования географически конкретного картографического образа района МТА:

1. Задается произвольная прямоугольная местная система координат для упрощения последующих вычислений координат точек района.

2. Проводится разбитие района на области (зоны) по однородности анализируемого показателя (толщина льда, фрагментация ледовых полей, скорость течения и др.).

3. На границах построенных областей произвольным образом выделяются так называемые ключевые точки. Количество этих точек зависит от желаемой точности анаморфирования,

чем больше – тем точность выше. Данные точки необходимы для последующего изменения (стягивания) границ областей

4. Ключевые точки соединяются с центрами соответствующих соседних областей (за центр области примем центр тяжести области как фигуры по величине рассматриваемого параметра).

5. Согласно величине анализируемого параметра в рассматриваемой зоне, осуществляется пропорциональное перемещение точек к центру (в случае малых значений анализируемого параметра) либо от центра (в случае больших значений анализируемого параметра) каждой зоны.

6. Выполняется проверка на заданные ограничения. Ограничения, как правило, зависят от поставленной задачи. К общим ограничениям можно отнести требование конформной инвариантности при преобразовании картограммы, то есть требовать сохранения углов локально. Это требование эквивалентно требованию выполнения уравнений Коши – Римана, но это накладывает два дополнительных ограничения, и, следовательно, обычно невозможно построить конформно-инвариантную картограмму. Дополнительным ограничением можно задать границы области, однако при условии достаточно большого участка эти ограничения не являются существенными.

7. Выводится графическое изображение анаморфированного анализируемого района МТА – картоид.

В качестве объекта анаморфирования предполагается использовать картоид, разбитый на территории, согласно приближительной однородности плотности рассматриваемого показателя. Такая форма представления наиболее удобна для дальнейшей обработки и визуализации. (рис. 1).

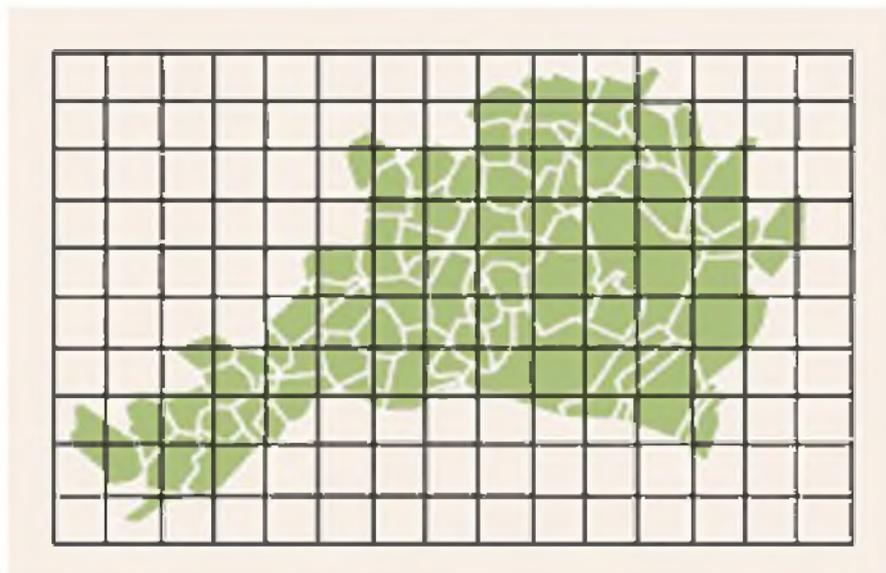


Рисунок 1 – Картоид, отображающий ледовую обстановку на участке Баренцева моря с заданной координатной сеткой

Важным аспектом для дальнейших действий является выбор центра территории. Для удобства центром территории будем считать центр тяжести фигуры. Воспользуемся следующими формулами

$$x_c = \frac{\iint_D x \rho(x, y) dx dy}{m}$$

$$y_c = \frac{\iint_D y \rho(x, y) dx dy}{m},$$

где $m = \iint_D \rho(x, y) dx dy$ – масса фигуры, $\rho(x, y)$ – плотность параметра фигуры, D – площадь фигуры. Стоит отметить, что функция

плотности может быть рассмотрена не только как функция положения $\rho(x, y)$, но и как функция времени $\rho(x, y, t)$.

Затем необходимо осуществить привязку области к координатам. Удобнее всего это делать в геоинформационной системе ArcGIS. Она позволяет осуществлять привязку и последующее редактирование координатной сетки встроенными средствами системы. После осуществления привязки необходимо выбрать ключевые точки на границе каждой области. От частоты разбиения во многом зависит точность и показательность анаморфирования (рис. 2)



Рисунок 2 – Фрагмент картоида с нанесенными на него ключевыми точками

Построим уравнения прямых, на каждой из которых лежит ключевая точка границы $A(x_a, y_a)$ и центр $C(x_c, y_c)$ (рис.3).

Уравнения таких прямых будут иметь вид:

$$\frac{x - x_c}{x_a - x_c} = \frac{y - y_c}{y_a - y_c}$$

Ключевым шагом анаморфирования будет изменение площади территорий. Для этого каждая ключевая точка границы будет смещаться к центру территории на расстояние k . Расстояние считается в метрике пространства.

Данное действие выполняется для каждой территории в отдельности, так как ключевые точки принадлежат как минимум двум территориям. Обход территорий начинается из левого нижнего угла картоида.

$k = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$ – формула расстояния между ключевой точкой и центром, где $k = \frac{\max(p_i) - p_i}{q}$.

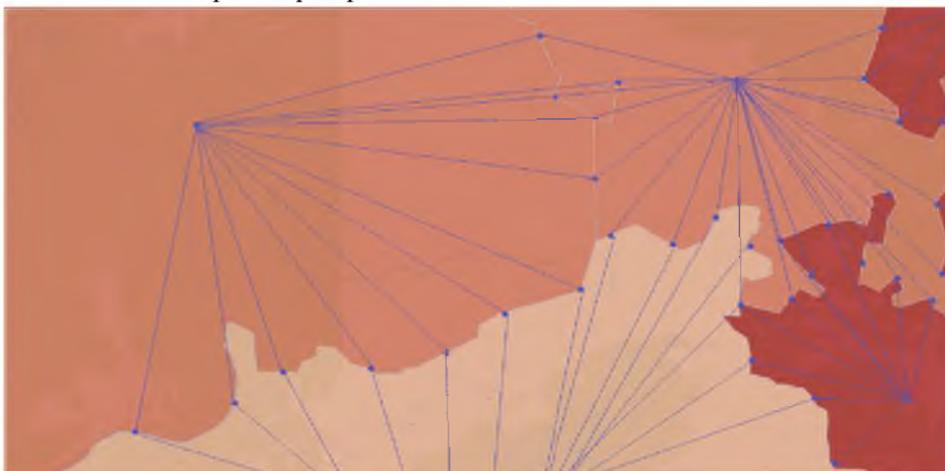


Рисунок 3 – Фрагмент картоида с заданными прямыми

При этом q – расстояние между двумя максимально удаленными точками границы, иначе говоря, диаметр области. P_i – параметр анаморфирования конкретной области. Из вышеприведенных формул следует формула итогового сдвига.

$$\begin{cases} \frac{x - x_c}{x_a - x_c} = \frac{y - y_c}{y_a - y_c}; \\ k = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \end{cases}$$

После выполнения аффинного преобразования всех координат необходимо отобразить область внутри прямоугольника, с ограничениями $x_{min} = 0, x_{max} = L_x, y_{min} = 0, y_{max} = L_y$. Для упрощения параметры L берутся целочисленными. Выполним преобразования Фурье.

$$u_x(x, y, t) = -\frac{L_y}{\pi\rho(x, y, t)} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{m}{m^2 L_y^2 + n^2 L_x^2} \rho(m, n) * \sin\left(\frac{m\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{L_y}\right) \right]$$

$$u_y(x, y, t) = -\frac{L_x}{\pi\rho(x, y, t)} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{m}{m^2 L_y^2 + n^2 L_x^2} \rho(m, n) * \cos\left(\frac{m\pi x}{L_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{L_y}\right) \right]$$

Рассмотрим две меры локальной ошибки искажения.

$$e(x, y) = \ln\left(\frac{a(x, y)}{b(x, y)}\right);$$

$$\bar{e}(x, y) = 2 \arcsin\left(\frac{a(x, y) - b(x, y)}{a(x, y) + b(x, y)}\right)$$

В случае конформного отображения, эти ошибки должны быть равны между собой и равны 0. Однако это идеальный, не всегда достижимый случай. Потому, в качестве глобальной меры для расчета отклонения картограммы от конформности, мы можем использовать максимальную локальную ошибку искажения.

Сравнение описанной выше методики с классическим алгоритмом Гастнера-Ньюмана [18], приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели точности работы предложенного алгоритма и методика Гастнера-Ньюмана

Рассматриваемая область	Алгоритм	e_0	e_{∞}	\bar{e}_0	\bar{e}_{∞}	t (сек)
Участок Баренцева моря в условиях ледовой обстановки	Гастнера-Ньюмана	0,256	6,53	0,384	7,88	25
	Растяжением границы	0,243	6,55	0,341	7,65	5,7

Согласно данным таблицы, алгоритм не дает существенного изменения ошибки, однако виден существенный прирост ускорения выполнения алгоритма.

Проиллюстрируем методику следующим примером.

Пусть необходимо провести оценку обстановки в ближней морской зоне участка Печёрского моря для последующего безопасного прохождения судна из пункта Бугрино в пункт Варнек (рис. 4). При этом ведущим фактором территориальной ситуации являются параметры ледовой обстановки.

Сама оценка обстановки в районе выполняется с помощью аппарата искусственной нейронной сети [6].

По результатам работы обученной нейронной сети строится анаморфоза – оценочный картоид.

В качестве параметра анаморфирования используется толщина ледового покрова. Результатом анаморфирования является картоид, представленный на рисунке 7. Здесь белыми линиями показаны границы рассматриваемых территорий с измененными (искаженными) анаморфированием площадями. Чем сложнее ледовая обстановка в районе, тем меньше его площадь на картоиде-анаморфозе. Математическая координатная сетка убирается для улучшения визуального восприятия оператором.

Предлагается два варианта графического представления: одноцветное с разбиением на территории и многоцветное, с разбиением на

меньшие территории и раскраской в различные цвета. Первое представление оптимально в задачах, где важна скорость реакции и небольшое (до 10) количество входных параметров, второе поз-

воляет проводить более подробный анализ оценки и оптимально для задач долгосрочного планирования. На рис. 5 представлен первый вариант графического представления.



Рисунок 4 – Географическая карта рассматриваемого района Печёрского моря



Рисунок 5 – Анаморфированное геоизображение (картоид) ледовой обстановки на участке Печёрского моря

Проанализировав полученный картоид, можно выделить районы, оптимальные (безопасные) для прохождения судна. Эти районы выделены на рис. 6 синим цветом.

В качестве финального этапа исследований можно осуществить детопологизацию картоида и перенос результатов оценки на геогра-

фическую карту. Перенос представлен на рис. 7. Голубым цветом на географической карте выделены оптимальные для прохождения судов районы. Размытость изображения обусловлена нечетким характером параметров ледовой и гидрометеорологической обстановки.

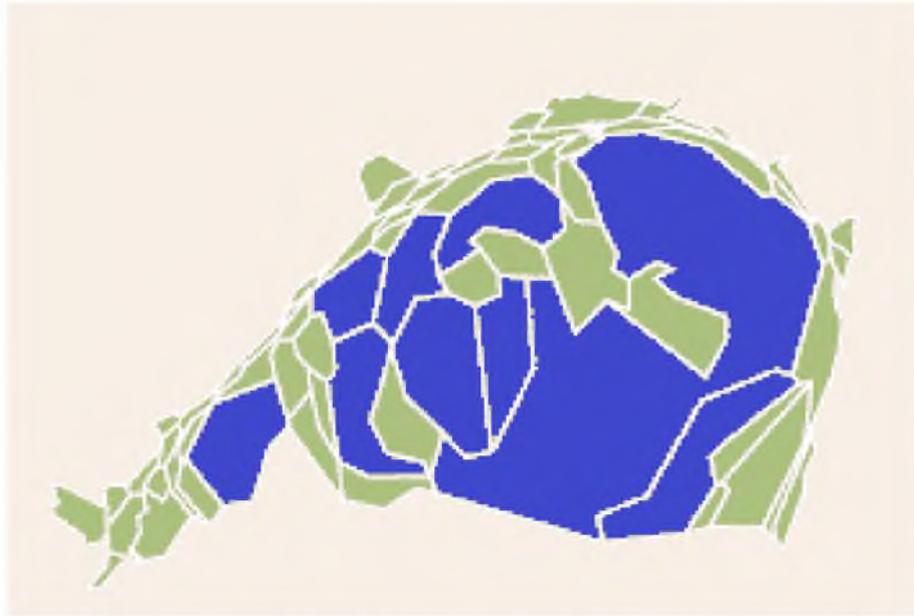


Рисунок 6 –Картоид-анаморфоза с выделенными (фиолетовым цветом) оптимальными районами плавания



Рисунок 7 – Детопологизация полученных оценок - перенос оптимальных районов плавания на географическую карту

Итоговое представление оценки, полученное сочетанием операции анаморфирования с аналитическим аппаратом искусственных НС позволяет проводить анализ обстановки в ближней морской зоне, минимизируя субъективный фактор, однако финальным этапом методики предусмотрен контроль уполномоченного лица над процедурой принятия решения, либо непосредственное принятие решения человеком на основании полученного графического представления.

Выводы

1. Картам, как одному из средств решения задач судовождения, наряду с полезными качествами присущ и ряд характерных недостатков.

Например, при увеличении масштаба КИЗ происходит уменьшение площади отображаемого района, что ведет к потере отображения обстановки во всем районе в целом.

2. Для преодоления указанного недостатка, а также повышения наглядности результатов оценки обстановки предложен математический аппарат и процедура анаморфирования карты обстановки. Суть анаморфирования состоит в том, что в уравнение картографической проекции вводится анализируемый (оцениваемый) показатель или параметр территориальной ситуации (толщина льда, ветер, течение, видимость и т.д.). В зависимости от величины этого показате-

ля меняется локальный масштаб геоизображения обстановки.

3. Анаморфирование ведет к потере географической точности (подобия) ГИЗ. То есть топологизирует географически конкретную карту обстановки. Но при этом сохраняется передача общей ситуации в регионе.

3. Топологизация КИЗ обеспечивает наглядность полученных геопространственных оценок, изотропность изображения геоситуации, снижение размерности пространства признаков, повышение оперативности выработки вариантов решения (например, безопасного или оптимального маршрута перехода).

4. С помощью процедуры детопологизации осуществляется обратный переход к географически конкретному геоизображению территориальной ситуации с отображением выработанных вариантов действий (решения) для организации последующего исполнения.

Литература

1. Архипов Ю.Р., Блашко Н.И., Григорьев С.В., Заботин Я.И., Трофимов А.М., Хузеев Р.Г. Математические методы в географии. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1976. – 352 с.
2. Берлянт А. М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 56 с.
3. Берлянт, А.М. Картография / А.М. Берлянт. – М.: СИНТЕГ, 2011. – 464 с.
4. Биденко С.И., Якушев Д.И. Геоинформационные управляющие системы и технологии. – СПб.: Изд-во СПбУ МВД, 2014. – 248 с.
5. Биденко С.И., Бородин Е.Л., Хекерт Е.В. Методика представления геоситуации в системе управления морской транспортной активностью // Эксплуатация морского транспорта. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. – 2017. – № 2. – С. 47 - 51.
6. Бородин Е.Л., Биденко С.И., Храмов И.С. Оценка обстановки в ближней морской зоне с использованием искусственных нейронных сетей // Эксплуатация морского транспорта. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. – 2018. – № 4. – С. 82 - 90.
7. Гусейн-Заде С.М., Тикун В.С. Анаморфозы: что это такое? – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.
8. Заславский А.А. Геометрические преобразования. – М.: МЦНМО, 2004. – 86 с.
9. Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикун В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. – М.: Мысль, 1980. – 224 с.
10. Краак, Менно-Ян Картография. Визуализация геопространственных данных / Менно-Ян Краак, Ферьян Ормелинг. – М.: Научный мир, 2011. – 326 с.
11. Маергойз И.М. Методика мелкомасштабных экономико-географических исследований. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 137 с.

12. Модели в географии. – М., 1971. – 380 с.
13. [Панамарев Г.Е., Биденко С.И.](#) Геоинформационная поддержка управления сложными территориальными объектами и системами. – Новороссийск: Изд-во МГА, 2011. – 202 с.
14. Суворов А.К. Топологические методы разработки картографических изображений. – М.: ИГ АН СССР, 1986. – 209 с.
15. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.
16. Салищев К.А. Картоведение. – М.: МГУ, 1990. – 400 с.
17. [Тикун В.С.](#) Моделирование в картографии: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
18. Michael T. Gastner and M. E. J. Newman, Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. PNAS May 18, 2004. – 101 (20). – P. 7499 - 7504.
19. Юдин Ю.И., Кондратьев С.И., Боран-Кешишьян А.Л., Холичев С.Н., Глинская И.В. [Mathematical modeling of tanker broadside motion controlled on the basis of deviations from the aimed line // Морские интеллектуальные технологии.](#) – 2018. – Т. 1. – № 3 (41). – С. 228-2.
20. Бородин Е.Л., Биденко С.И., Травин С.В., Хекерт Е.В., Храмов И.С. [Геоинформационная поддержка управления морской транспортной активностью: методический аспект // Эксплуатация морского транспорта.](#) – 2018. – № 2 (87). – С. 80-84.
21. Биденко С.И., Бородин Е.Л., Хекерт Е.В. [Методика представления геоситуации в системе управления морской транспортной активностью // Эксплуатация морского транспорта.](#) – 2017. – № 2 (83). – С. 47-50.

References

1. Arhipov YU.R., Blazhko N.I., Grigor'ev S.V., Zabolotn Y.A.I., Trofimov A.M., Xuzeev P.G. Matematicheskie metody v geografii. Kazan': Izd-vo Kazansk. un-ta, 1976. – 352 s.
2. Berlyant A. M. Virtual'nye geoizobrazheniya. — M.: Nauchnyj mir, 2001. — 56 s.
3. Berlyant, A. M. Kartografiya / A.M. Berlyant. - Moskva: SINTEG, 2011. - 464 s.
4. Bidenko S.I., Yakushev D.I. Geoinformacionnye upravlyayushchie sistemy i tekhnologii SPb: Izd-vo SPbU MVD, 2014. – 248 s.
5. Bidenko S.I., Borodin E.L., Hekert E.V. Metodika predstavleniya geosituiacii v sisteme upravleniya morskoy transportnoj aktivnost'yu // EHkspluatatsiya morskogo transporta. – Novorossijsk: GMU im. adm. F.F.Ushakova. – 2017. – № 2. – S.47 - 51.
6. Borodin E.L., Bidenko S.I., Hramov I.S. Ocenka obstanovki v blizhnej morskoy zone s ispol'zovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej // EHkspluatatsiya morskogo transporta. – Novorossijsk: GMU im. adm. F.F.Ushakova. – 2018. – № 4. – S. 82 - 90.
7. Gusejn-Zade S.M., Tikunov V.S. Anamorfozy: chto ehto takoe? - M.: EHditorial URSS, 1999. – 168 s.

8. Zaslavskij A.A. Geometricheskie preobrazovaniya. M.: MCNMO, 2004. – 86 s.
9. Zhukov V. T., Serbenyuk S.N., Tikunov B.C. Matematiko-kartograficheskoe modelirovanie v geografii. — M.: Mysl', 1980. — 224 s.
10. Kraak, Menno-YAn Kartografiya. Vizualizaciya geoprostranstvennyh dannyh / Menno-YAn Kraak, Fer'yan Ormeling. - M.: Nauchnyj mir, 2011. – 326 c.
11. Maergoz I . M . Metodika melkomasshtabnyh ehkonomiko-geograficheskikh issledovanij. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1981. – 137 s.
12. Modeli v geografii. — M., 1971. — 380 s.
13. Panamarev G.E., Bidenko S.I. Geoinformacionnaya podderzhka upravleniya slozhnymi territorial'nymi ob'ektami i sistemami. - Novorossiysk: Izd-vo MGA, 2011. – 202 s.
14. Suvorov A. K. Topologicheskije metody razrabotki kartograficheskikh izobrazhenij. M.: IG AN SSSR, 1986. – 209 s.
15. Prikladnaya statistika: Klassifikaciya i snizhenie razmernosti / S.AAjvazyan, V.M.Buhshaber, I.S.Enyukov, L.D.Meshalkin. — M.: Finansy i statistika, 1989. — 607 s.
16. Salishchev K.A. Kartovedenie. - M.: MGU, 1990. - 400 s.
17. Tikunov V.C. Modelirovanie v kartografii: Uchebnik — M.: Izd-vo MGU, 1997. — 405 c.
18. Michael T. Gastner and M. E. J. Newman, Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. PNAS May 18, 2004. – 101 (20). – R. 7499 - 7504.
19. Yudin YU.I., Kondrat'ev S.I., Boran-Keshish'yan A.L., Holichev S.N., Glinskaya I.V. Mathematical modeling of tanker broadside motion controlled on the basis of deviations from the aimed line // Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2018. T. 1. № 3 (41). S. 228-2.
20. Borodin E.L., Bidenko S.I., Travin S.V., Hekert E.V., Hramov I.S. Geoinformacionnaya podderzhka upravleniya morskoy transportnoj aktivnost'yu: metodicheskij aspekt// EHkspluataciya morskogo transporta. 2018. № 2 (87). S. 80-84.
21. Bidenko S.I., Borodin E.L., Hekert E.V. Metodika predstavleniya geosituacii v sisteme upravleniya morskoy transportnoj aktivnost'yu // EHkspluataciya morskogo transporta. 2017. № 2 (83). S. 47-50.

УДК 656.61.052.65.011.56
DOI: 10.34046/aumsuomt90-9

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИИ

*Г. К. Орлов, аспирант
И. В. Адерихин, доктор технических наук, профессор*

В статье рассмотрен метод повышения точности и надежности динамического позиционирования надводных объектов посредством создания избыточных измерений при комбинированных навигационных наблюдениях, запатентованный в Российской Федерации, патент RU 2642147 C2, 24.01.2018. Описанный метод предполагает создание способа навигации на основе концепции размещения гидроакустической навигационной системы на свободно дрейфующих буях, который обеспечил бы навигацию и динамическое позиционирование надводных плавучих средств.

Ключевые слова: динамическое позиционирование, объект навигации, дрейфующие буи, гидроакустическая навигационная система, спутниковая радионавигационная система, инерциальная навигационная система, локальная радионавигационная система, комбинированные навигационные наблюдения, комплексная обработка навигационной информации.

Abstract: The article examined method of increase accuracy and reliability dynamic positioning of water-craft or floating drilling rig by creating redundant measurements when navigation observations combined. The method patented in Russian Federation, Pat. RU 2642147 C2, 24.01.2018.

Described method involves creating a navigation method based on the concept of establishing hydroacoustic navigational system on drifting buoys that would provide navigation and dynamic positioning of the floating objects.

Keywords: dynamic positioning, marine object navigation, drifting buoys, hydroacoustic navigation system, satellite radionavigation system, inertial navigation system, local radionavigation system, combined navigation observations, complex processing of navigation information.

Задача динамического позиционирования (ДП) заключается в удержании центра масс судна в заданной точке при заданном курсе [1]. Требования в ДП диктуются конкретными условиями морских работ (поиск и освоение минеральных ресурсов океана, укладка морских трубопроводов и т.п.).

Основным критерием технико-эксплуатационной эффективности систем нави-

гации, управления и ДП судов является минимизация средних квадратических погрешностей $\sigma_{B,L}$ и σ_K определения геодезических координат В и L (широты и долготы) и рыскания судна (курсового угла К):

$$\sigma_{B,L} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sigma_K \rightarrow \min \quad (2)$$

В последнее время получила распространение (см. например [4, 5] концепция построения