

# Алгоритм программного построения изобат по картографическим данным и данным промеров глубин

## Algorithm of automatic isobathes drawing using electronic nautical charts and sounding measurements data

**Ключевые слова:** построение изобат – isobaths drawing; триангулированная поверхность – triangulated surface; гидрография – hydrography; навигационные карты – electronic nautical charts; данные промеров – sounding measurements data; стандарт S-57 – S-57 standard.

В статье показана практическая необходимость автоматического построения изобат; предлагается алгоритм, позволяющий автоматически строить изобаты на электронных навигационных картах и по данным промеров глубин.

The article deals with problems of automatic isobaths drawing. At first necessity of automatic isobaths drawing is shown. Further on author suggest an algorithm, which can perform automatic isobaths drawing using electronic nautical charts or sounding measurements data.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент накоплено огромное количество батиметрических данных в виде электронных навигационных карт (ЭНК) (для покрытия мирового океана по данным сервиса предоставления векторных карт гидрографии Соединенного Королевства используется более 12,5 тысяч карт [1]), результатов промеров и т.д. Управление таким огромным массивом данных является чрезвычайно сложной задачей, так как мир постоянно меняется, соответственно, изменяются карты и другие данные. Причем регулярно возникают ситуации, когда один и тот же измененный участок попадает на несколько карт, и в каждой из них надо выполнить соответствующие изменения. Таким образом, очевидна необходимость создания единой базы данных, которая предоставляла бы централизованный доступ к получению и изменению данных

**ЯСТРЕБОВ / YASTREBOV L.**

**Лев Дмитриевич**

(lev.yas@ya.ru)  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (НИУ ИТМО), аспирант кафедры «Геоинформационные системы». г. Санкт-Петербург

**КАРМАНОВ / KARMANOV A.**

**Андрей Геннадьевич**

(Karmakov.nip@gmail.com)  
кандидат технических наук, доцент. НИУ ИТМО, доцент кафедры «Геоинформационные системы». г. Санкт-Петербург

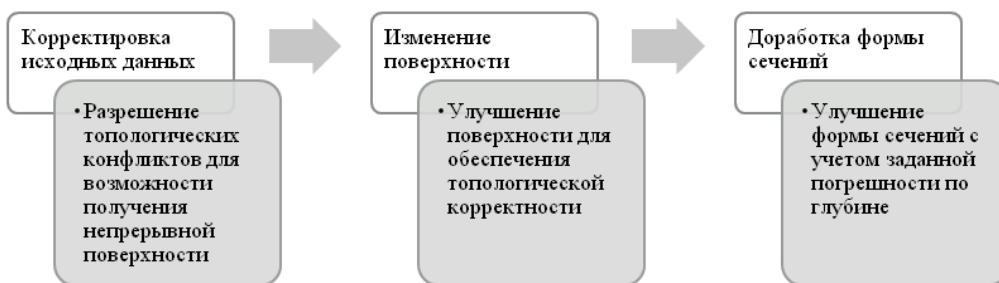
ЭНК. Сдерживающим фактором создания такой базы является разнородность данных, содержащихся в ЭНК, в частности, разные уровни проведенных на разных картах изобат, что препятствует бесшовнойстыковке объектов ЭНК на их границах.

Также с развитием систем дистанционного зондирования Земли и эхолокационных систем постоянно генерируются огромные массивы точечных данных, содержащие информацию о рельефе поверхности. В точечном виде эти данные не пригодны для навигации, гидрографии, изучения закономерностей рельефа, океанографических и экологических исследований, что означает необходимость их преобразования в более удобную для автоматизированной обработки форму.

Для решения вышеозначенной проблемы сшивки карт, использования точечных данных и других проблем автором предлагается алгоритм автоматического построения изобат заданных уровней.

### НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОГРАММНОГО ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБАТ

Для построения в рамках картографической базы данных слитной области необходимо искать и объе-



**Рис. 1.** Этапы алгоритма обработки данных для получения изобат

динять области с одинаковыми глубинами и стыковать изобаты с одинаковыми значениями. Здесь существует проблема, которая заключается в том, что на разных картах могут быть нанесены изобаты и области глубин с разными значениями (например, на одной карте изобаты 5, 10, 15, а на другой 4, 6, 9). Для решения этой проблемы необходимо построить по каждой из карт (или массивов данных) поверхность, рассечь ее по нужным уровням, преобразовать сечения в изобаты, и потом уже стыковать изобаты с одинаковыми значениями.

Создание такой базы, помимо предоставления централизованного доступа к получению и модификации карт, также открывает возможность создания системы автоматического построения протяженных маршрутов.

Для использования точечных данных в навигации, гидрографии или геоморфологии необходима их обработка и построение по ним изобат, областей глубин, изолиний.

### АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В качестве основного источника данных используются карты в формате S-57, описанном в Стандарте обмена цифровыми гидрографическими данными Международной Гидрографической Организации № S-57 [2].

Из батиметрических данных наибольший интерес представляют собой области с минимальной гарантированной глубиной (DEPARE в S-57). Наличие таких областей позволяет, например, автоматизированно строить маршруты движения судов или визуально оценивать глубины по раскраске тех или иных областей.

В контексте данной работы это означает, что, используя данные о промерах глубин и/или изобаты, DEPARE, данные о зонах дноуглубительных работ (DRGARE) и другие, необходимо построить расширенный набор изобат и областей глубин. Для этого по имеющимся данным строится поверхность и рассекается на заданных уровнях. Таким образом получается набор линий – изобат, которые замкнуты,

либо же замыкаются на границу области данных. Чтобы из них получить области глубин, на этапе построения сечения определяется, с какой стороны изобаты глубина меньше, а с какой больше.

При работе с реальными данными выясняются следующие проблемы:

1. Низкое качество и стандартизация исходных данных.

2. Сечения содержат большое количество ненужных точек.

3. Формы сечений не характерны для изобат ввиду большого количества острых углов.

4. Данные могут использовать значительное количество памяти.

5. При использовании двумерной триангуляции Делоне невыпуклые области триангулируются до выпуклых, что приводит к исчезновению «заливов» и «проливов» из трехмерной поверхности, они становятся плоскими.

6. Ненулевая изобата, область с минимальной ненулевой глубиной или зона дноуглубительных работ может стыковаться с областью земли.

7. Разноуровневые изобаты могут стыковаться в одной точке.

8. Области глубин должны стыковаться через промежуточные контуры глубин, но не всегда это так.

Таким образом, очевидно, что данные, поверхности и получаемые по ним сечения в исходном виде не пригодны для использования в качестве изобат.

### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБАТ

Для разрешения или нивелирования вышеуказанных проблем автором предлагается алгоритм комплексной обработки исходных и получаемых данных. Алгоритм можно разделить на три этапа (рис. 1):

Рассмотрим эти этапы подробнее.

1. Корректировка исходных данных для получения непрерывной поверхности.

# ГЕОИНФОРМАТИКА

В морской картографии считается нормальным соединение в одной точке линий с разными уровнями, это могут быть разные изобаты (DEPCNT), это может быть соединение DEPCNT с берегом (LNDARE), а также соединение изобаты или берега с DRGARE. Построение поверхности по таким данным приведет к получению поверхности с разрывами, что совершенно неприемлемо для дальнейших манипуляций с поверхностью и корректного выполнения сечений.

Для корректировки поверхности каждой неоднозначной точке предлагается выбирать и присваивать одно значение. В случае с DEPCNT и LNDARE выбирается наиболее безопасное значение, т.е. значение с наименьшей глубиной. В случае с DRGARE ситуация сложнее, так как с одной стороны, нужно обеспечить внутри DRGARE фиксированный уровень глубины, с другой стороны, это не должно затронуть окружающий рельеф, поскольку DRGARE – это сугубо искусственная область, образованная выемкой грунта, и окружающий рельеф меняется, как правило, очень незначительно. Для обработки этой ситуации из полигона DRGARE делается два полигона: исходный и полигон с незначительным (порядка дециметра) отступом внутрь. При этом внешний полигон строится по данным окружающего рельефа, внутренний – с фиксированным уровнем, а между ними получается зона непрерывного перехода.

## 2. Изменение поверхности, обеспечение топологической корректности.

Для построения поверхности используется двумерная триангуляция Делоне с ограничениями, подробно описанная в [3].

Улучшение формы поверхности предлагается производить двумя способами: флипами некоторых ребер (флипом ребра называется замена его на ребро, соединяющее противоположные точки смежных треугольников) и вставкой дополнительных точек.

Нередки ситуации, когда в поле точек попадается точка с глубиной, равной глубине проводимого сечения (Рис. 2а), при этом возможна ситуация, когда к этой точке могут подходить изобаты с нескольких разных сторон. Для коррекции такой ситуации некоторые ребра предлагается подвергать флипу таким образом, чтобы точка принадлежала только одной линии. Флип ребра производится, если соблюден ряд условий:

1. Уровень одной из точек ребра равен уровню проводимого сечения.

2. В рассматриваемом четырехугольнике обнаружены разные сечения.

3.  $\frac{\max(e, t)}{\min(e, t)} < k$ , где  $e$  и  $t$  – длины диагоналей

четырехугольника, составленного из двух смежных ребру треугольников,  $k$  – заданный коэффициент.

4. После флипа сечение не пересечет ребро.

Результат работы этой процедуры представлен на Рис. 2б.

При построении поверхности часто возникают плоские участки (рис. 3), которые в дальнейшем приводят к построению некорректных сечений. В предлагаемом алгоритме применяются три способа борьбы с ними:

1. Флип плоских ребер в четырехугольниках, где хотя бы один треугольник не плоский.

2. Построение орографических линий рельефа и вставка некоторых точек из этих линий.

3. Вставка в серединах некоторых плоских ребер точек, уровень которых вычисляется с помощью сплайновой интерполяции.

Первый способ заключается в переборке всех ребер и выполнении следующей операции для каждого ребра  $e$ :

$$IsFlat(e) \wedge IsFixed(e) \wedge (IsFlat(t_1) \wedge IsFlat(t_2)) \wedge CanEdgeFlip(e) \rightarrow Flip(e),$$

где:

$IsFlat(x)$  – операция проверки ребра или треугольника  $x$  на плоскость;

$IsFixed(x)$  – операция проверки ребра  $x$  на фиксированность;

$t_1, t_2$  – треугольники, смежные по отношению к ребру  $e$ ;

$CanEdgeFlip(x)$  – операция проверки ребра  $x$  на возможность флипа;

$Flip(x)$  – операция флипа ребра  $x$ .

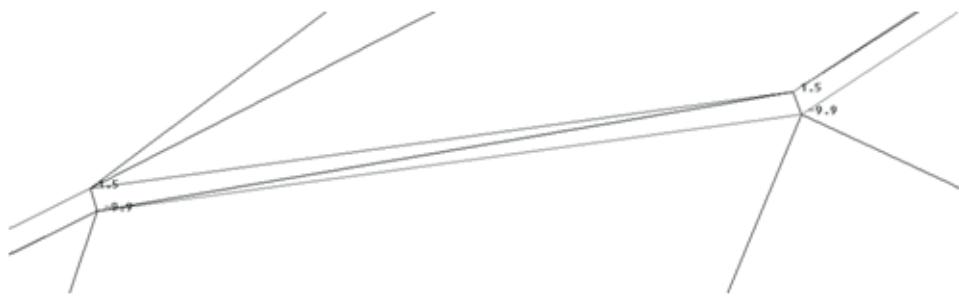
Невозможность флипа может быть связана с невыпуклостью четырехугольника, составленного из треугольников  $t_1$  и  $t_2$ , или с возможностью образования в результате флипа слишком узких треугольников.

Второй способ состоит из нескольких частей.

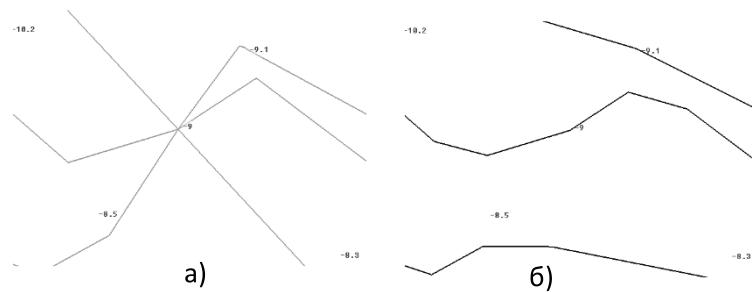
Сначала строятся сами орографические линии, начиная с треугольника, огражденного с двух сторон фиксированными линиями, и заканчивая ближайшей точкой с отличающимся уровнем. При этом строятся полилинии, проходящие через середины ребер.

Затем производится расчет высот в точках этой линии. Полилинии группируются по двум начальным точкам, после этого каждая из групп сортируется по убыванию длины. Происходит вычисление уровня для каждой точки путем линейной интерполяции между начальной и конечной точкой.

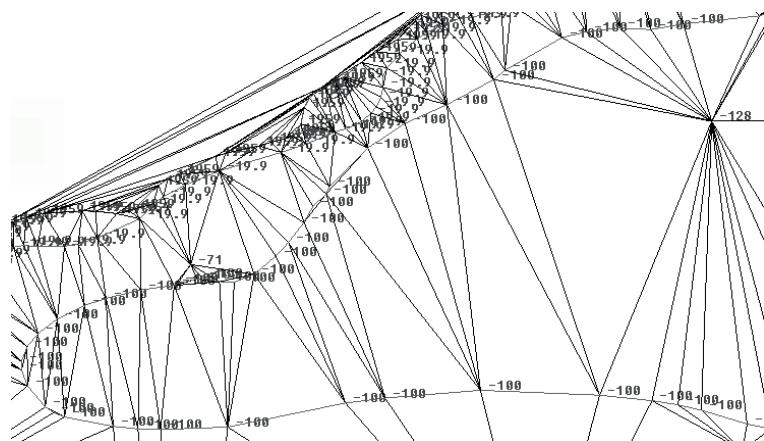
И в последнюю очередь производится вставка точек, начиная с наиболее близкой к точке с отличающимся уровнем. Точка вставляется, поверхность перестраивается, и вставляется следующая точка, исходное ребро которой не было перестроено. Таким



**Рис. 1.** Пример отступа при большом увеличении



**Рис. 2.** Прохождение изобаты 9 через точку с уровнем 9:  
а) до обработки, б) после



**Рис. 3.** Плоский участок поверхности

# ГЕОИНФОРМАТИКА

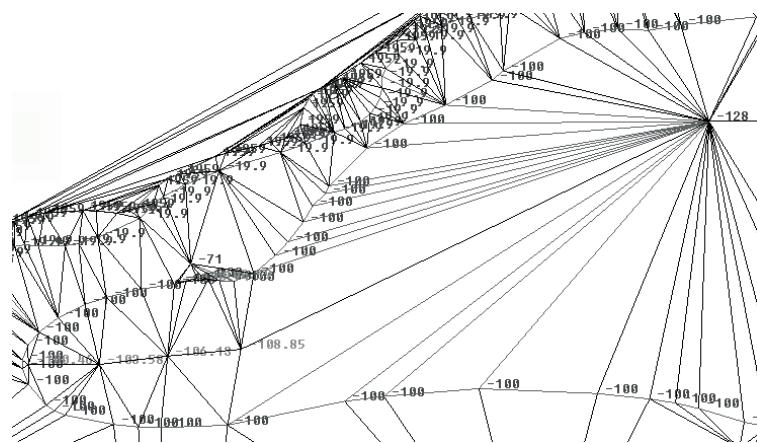


Рис. 4. Исправленный участок поверхности

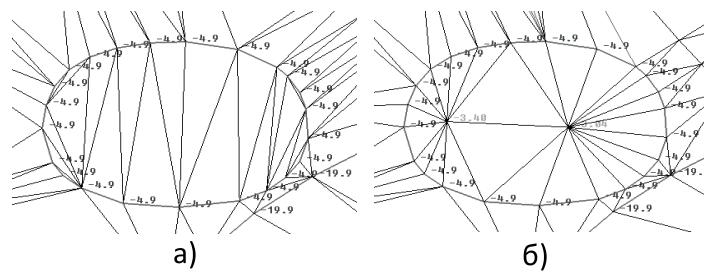


Рис. 5. Применение сплайновой интерполяции:  
а) – до обработки, б) – после

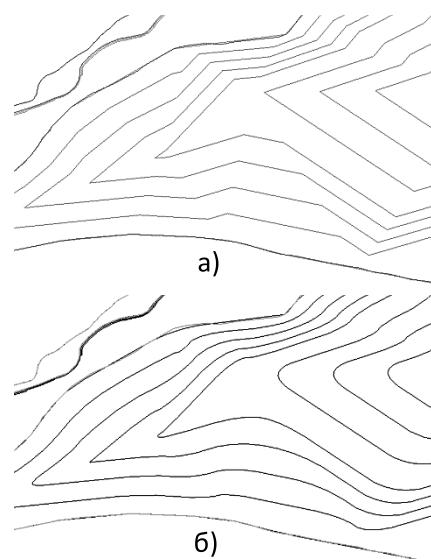


Рис. 6. Применение упрощения и сглаживания:  
а) – до обработки, б) – после

образом, вставляется оптимальное для создания топологически корректной поверхности количество точек.

Третий способ работает для оставшихся плоских ребер следующим образом: с учетом средневзвешенных сумм нормалей треугольников около обеих точек ребра сплайновой интерполяцией рассчитывается уровень на середине ребра. Технология описана в [4]. Для топологически корректной поверхности метод дает корректные результаты.

### 3. Улучшение формы сечений с учетом заданной погрешности по глубине.

Указанные модификации позволяют получать адекватные сечения поверхности, но эти сечения избыточны по количеству точек, и их форма не характерна для изобат ввиду большого количества достаточно острых углов. Для устранения этих недостатков предлагается следующее:

- упрощать сечения по алгоритму Рамера-Дугласа-Пекера.

- сглаживать сечения с использованием рациональных квадратичных кривых Безье.

Оба алгоритма работают с учетом задаваемой погрешности по уровню, что позволяет выполнять требование Правил гидрографической службы обеспечения погрешности проводимых изобат не более 0.25 от глубины заложения [5].

## ВЫВОДЫ

Представленный алгоритм позволяет в автоматическом режиме строить недостающие на карте изобаты, либо же строить изобаты по имеющемуся нерегулярному полю точек. При этом есть возможность контролировать погрешность по уровню проводимых изобат.

Согласно результатам тестирования алгоритма, лучшие результаты достигаются при работе с топологически корректным набором исходных данных, как правило это данные промеров глубин или карты крупных масштабов. Тем не менее, алгоритм эффективно устраняет многие топологические ошибки и разрывы поверхности, такие какстыковка зон глубин с непересекающимися диапазонами и плоские участки между изобатами.

Было выявлено, что так как алгоритм упрощения Рамера-Дугласа-Пекера не сохраняет топологию, в некоторых случаях возможно получение самопересекающихся линий. Для исключения этого явления планируется разработка алгоритма упрощения, учитывающего топологию.

Также тестированием было подтверждено, что для алгоритма не принципиален характер рельефа — подводный или наземный, таким образом он может эффективно применяться для построения изолиний.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет автоматизировать построение изобат на ЭНК, способствуя стыковке областей глубин на границах ЭНК с разными значениями изобат, что необходимо для построения бесшовной картографической базы данных и автоматизированного расчета маршрутов.

## Литература

1. Admiralty Vector Chart Service [Электронный ресурс] / The United Kingdom Hydrographic Office. – Режим доступа: <https://www.ukho.gov.uk>, свободный. – Загл. с экрана.
2. IHO transfer standard for digital hydrographic data, Appendix A / International Hydrographic Organization. Режим доступа: <http://www.ihonet.org>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и ее применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
4. Костюк, Ю.Л. Визуально гладкая аппроксимация однозначной поверхности, заданной нерегулярным набором точек / Ю.Л. Костюк, А.Л. Фукс // Труды межд. научно-практ. конф. Геоинформатика-2000, Томск. – 2000. – С. 41–45.
5. Мишин, С.Н., Евланов, И.Г., Финогеев, Н.Х. Правила гидрографической службы № 5. – ГУНиО МО СССР, 1989. – 339 с.

## Беспилотный летательный аппарат самолетного типа. Летающее крыло «Марс-3»

ЗАО «Институт телекоммуникаций» производит *беспилотные летательные аппараты* с 2005 года как отдельно, так и в составе комплекса площадной съемки.

**Назначение комплекса** – дистанционное наблюдение местности и построение изображений поверхности земли (тепловизионная и аэрофотосъемка, видеонаблюдение, передача информации в реальном времени). Состав комплекса: БПЛА, аппаратура приема и передачи, АРМ мониторинга.

### Основные ТТХ БПЛА «Марс-3»:

- размах крыльев, м: 2,18;
- длина, м: 1;
- максимальная взлетная масса, кг: 4,5;
- масса полезной нагрузки, кг: 2,3;
- крейсерская скорость, км/ч: 65;
- максимальная скорость, км/ч: 110;
- максимальное время полета, мин: 180.

### Преимущества данной модели:

- использование конструкции парящего крыла, обуславливающее меньшие энергозатраты аккумуляторов;
- возможность полета в автоматическом режиме по заранее выбранному маршруту;
- возможность переноса большой полезной нагрузки;
- доступная цена;
- получение видео с камеры в режиме реального времени;
- изображение с камеры с географической привязкой.

### Сфера применения беспилотного аппарата:

- контроль наземных и морских границ;
- мониторинг линейно-протяженных объектов;
- контроль и мониторинг больших скоплений людей;
- решение сельскохозяйственных задач;
- контроль распространения лесных пожаров;
- решение специальных задач.



Конструкцией беспилотного летательного аппарата «Марс-3» является летающее крыло – идеальная платформа для переноса большой полезной нагрузки, обладающее высокой выносливостью.

Модель отличает превосходное аэродинамическое качество: даже при крейсерском полёте на достаточно высоких скоростях не требуется большая мощность мотора, что увеличивает время и дальность полёта.

Внутри самолёта находится обширный отсек, в который размещается практически любой набор оборудования для аэрофотосъемки. Использование для изготовления корпуса композитных материалов делает самолет очень легким (2,2 кг). При этом вес полезной нагрузки (камеры, источники питания и т.д.) составляет до 2,3 кг.

Управление самолетом осуществляется в автоматическом и полуавтоматическом режимах. В автоматическом режиме от взлета до посадки полет самолета осуществляется по заранее выбранному маршруту в режиме автопилота. В полуавтоматическом режиме взлет, посадку и полет в прямой видимости осуществляет оператор, после чего управление передается автопилоту.

Для получения дополнительной информации по беспилотным летательным аппаратам, стоимости и ТТХ, пожалуйста, обратитесь в отдел маркетинга по номеру +7 (812) 740-77-07 или по электронной почте [marketing@itain.spb.ru](mailto:marketing@itain.spb.ru).