

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

НОВАЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА "КАРТМАСТЕР" ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ БИОРЕСУРСНЫХ СХЕМОК

В.А. Бизиков, С.М. Гончаров, А.В. Поляков,

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО),
г. Москва

GIS "CHARTMASTER" – NEW GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR PROCESSING THE DATA OF HYDROLOGICAL SURVEYS

Современные рыбохозяйственные исследования и мониторинг морских биоресурсов невозможно представить без компьютерных географических информационных систем, или ГИС, способных обрабатывать большие массивы географических (т.е. пространственно распределенных) данных. В общем виде ГИС – это комплекс аппаратно-программных средств для сбора, хранения, манипулирования и отображения географической информации. Применение ГИС в рыбном хозяйстве позволяет строить карты распределения промысловых видов, оценивать их запас, вести мониторинг промыслового флота, оперативно получать ценную информацию, необходимую для принятия взвешенных управленческих решений.

В течение последних 10 лет во ВНИРО разрабатывается специализированная ГИС для обработки данных биоресурсных съемок. Последняя версия этой ГИС получила название "КартМастер". Новую ГИС ВНИРО разрабатывает в сотрудничестве с петербургской компанией "ТРАНЗАС", являющейся российским лидером по производству навигационного программного обеспечения и оборудования. Основными задачами, которые решает ГИС "КартМастер", являются:

- Анализ данных биоресурсных съемок;
- Построение карт пространственного распределения промысловых видов;
- Трехмерный анализ моделей дна и распределения промысловых объектов;
- Расчет площадей поверхности воды/дна в заданном диапазоне глубин;
- Оценка мгновенного запаса конкретного вида на обследованной акватории;
- Расчет статистики оценок запаса;
- Планирование съемки;
- Корректировка съемки в ходе ее выполнения для лучшего оконтуривания обнаруженных рыбных скоплений.

Ключевыми особенностями ГИС "КартМастер" являются: современный дружественный интерфейс; широкое картографическое покрытие; возможность обрабатывать данные всех видов рыбохозяйственных съемок; использование различных методов для расчета карт распределения и оценки запаса; использование глубины в качестве прогностического параметра, влияющего на распределение промысловых видов; использование трехмерной графики для отображения результатов. Функциональная схема ГИС "КартМастер" представлена на рис. 1.

Картографическое обеспечение ГИС "КартМастер" осуществляется из трех источников:

1) **библиотека батиметрических карт морей России**, включающая карты высокого разрешения, построенные на основе навигационных батиметрических карт производства ГУНПО. Карта для каждого моря строилась путем объединения данных всех имеющихся карт, при этом карты высокого разрешения имели приоритет перед картами более низкого разрешения.

2) **глобальная карта Мирового океана**, также входящая в библиотеку ГИС "КартМастер". Разрешение глобальной карты значительно уступает картам морей России, но она охватывает весь Мировой океан. Выбор положения района на карте производится с помощью перемещающейся рамки, размеры которой регулируются по широте и долготе.

3) **импорт электронных карт из двух наиболее распространенных картографических форматов: ГИС "ArcView" и S-57**. При импорте из формата "ArcView" загружаются береговая линия и батиметрия. При импорте из формата S-57 пользователь сам выбирает информационные слои, которые следует загружать из карты: географические названия, буи, маяки, фарватеры, минимальный масштаб и т.д.

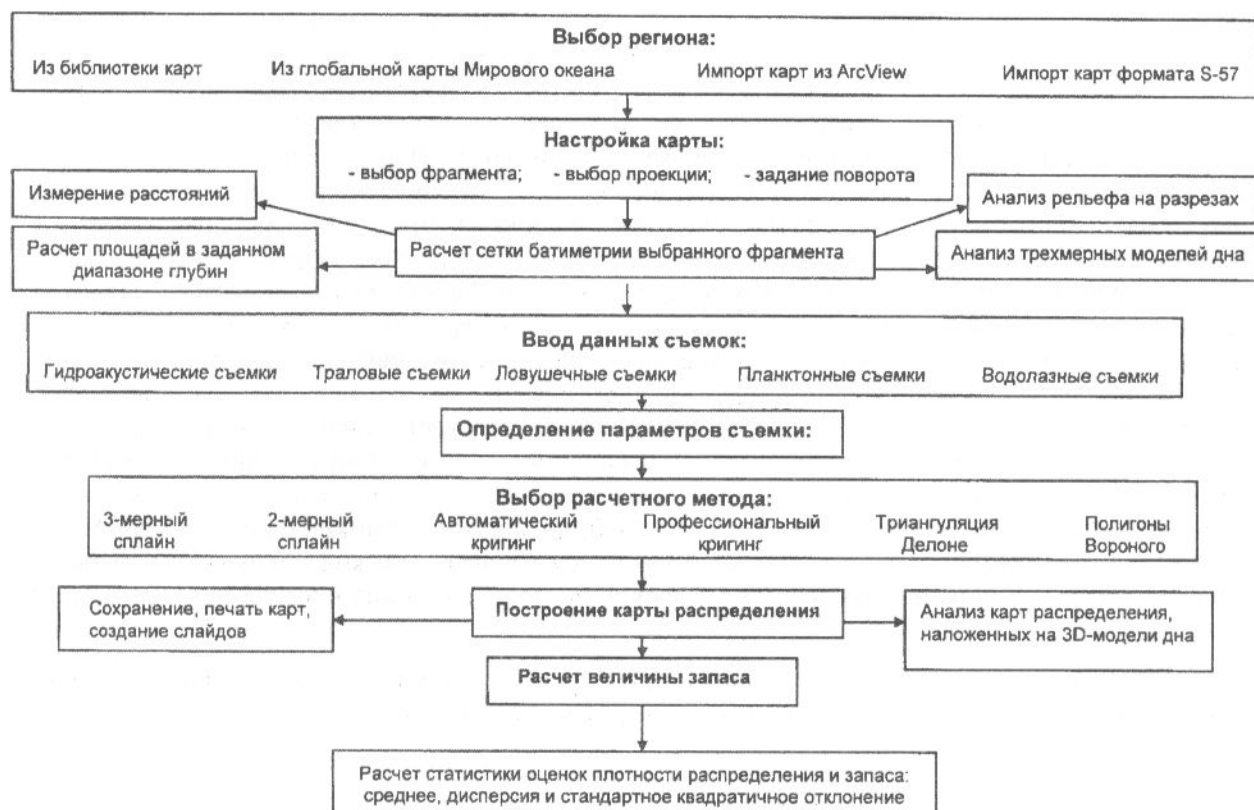


Рис. 1. Функциональная схема ГИС "КартМастер"

Выбрав конкретный регион (море), пользователь может работать с ним целиком, либо с любым его фрагментом, произвольно выделяемым рамкой на экране. Поскольку "КартМастер" использует глубину в качестве прогностического признака, важным этапом является расчет трехмерной модели рельефа дна выбранного района (расчет сетки батиметрии). Этот расчет производится либо методом сплайна (для карт из библиотеки "КартМастера"), либо методом триангуляции Делоне (для карт, импортированных из других форматов). Результаты расчета можно отображать как в виде обычной батиметрической карты (зональной или изолиниями), либо в виде трехмерной модели дна. Удобным новшеством программы стал модуль расчета площадей, занятых глубинами в заданном диапазоне. В этом модуле пользователь задает оконтуривание района, диапазон глубин и шаг изобат. По окончании расчета программа выдает таблицу, в которой указаны площади поверхности дна и акватории над заданными глубинами.

Исходными данными для ГИС "КартМастер" являются данные учетных биоресурсных съемок: гидроакустических, траловых, ловушечных, планктонных или водолазных. Данные съемок вводятся в виде электронных таблиц в форматах Excell (*.xls), либо ASCII (*.txt). После чтения файла съемки на экране появляется карта соответствующего района с положением станций.

Правильность отображения станций может быть проверена по журналу съемки: при выборе любой строки (станции) в журнале она отображается красным кружком на карте, и наоборот. Новыми удобными утилитами являются окна навигатора, измерения расстояний: в милях или километрах, по прямой линии или галсами.

Расчет карт распределения в ГИС "КартМастер" может выполняться одним из шести методов: трехмерным сплайном, двухмерным сплайном, профессиональным и автоматическим кригингом, триангуляцией Делоне и методом полигонов Воронова. Последние три метода не требуют от пользователя задания каких-либо параметров и в случае их выбора выполняются автоматически.

Метод трехмерного сплайна требует задания двух параметров: параметра сглаживания и параметра влияния глубины [Stolyarenko, 1987; Stolyarenko, Ivanov, 1987]. Сглаживание выполняется с целью нивелирования ошибок измерений плотности. Цель сглаживания – создание такой функции плотности запаса, которая бы проходила близко к значениям измерений. Параметр сглаживания (r) меняется от 0 до 1. При $r = 0$ сплайн становится интерполяционным, т.е. точно проходящим через все точки измерений. Такой сплайн весьма неустойчив, когда значения измерений зашумлены ошибками. При $r = 1$ сплайн вырождается в гладкую функцию, не отражающую особенностей распределения. Оптимальное значение параметра сглаживания в первом приближении может быть принято как точность измерения (в процентах), деленная на 1000: например, при точности измерений на съемке равной 10 %, $r = 0,01$. Параметр влияния глубины (k) отражает силу влияния соседних точек при расчете величины плотности в данной точке. Он показывает, во сколько раз влияние точки, расположенной на той же изобате, что и расчетная точка, будет сильнее, чем влияние точки, расположенной на том же расстоянии, но вдоль свала глубин. Определение оптимальных значений параметра k требует отдельного методического исследования. В настоящее время используются величины в диапазоне от 100 до 500, подобранные эмпирически. Для бентосных объектов используются более высокие значения k , чем для пелагических. В случае двухмерного сплайна параметр влияния глубины k не задается, поскольку глубина в этом расчетном методе игнорируется.

Кригинг относится к линейным интерполяторам представляющим искомую величину в виде линейной комбинации известных значений [Савельева и др., 1999]:

$$\hat{\rho}_a(d) = \sum_{i=1}^{N(d)} B_i(d) * \rho_{ai}(d_i)$$

где $d = f(x, y)$ – координаты оцениваемых точек, x – долгота, y – широта;

$N(d)$ - количество исходных точек, принимающих участие в оценке для координат d ;

$\hat{\rho}_a(d)$ - оцениваемое значение в точке d ;

$\rho_{ai}(d_i)$ - известные значения в точках d_i ;

$B_i(d)$ - весовые коэффициенты.

Кригинг подбирает весовые коэффициенты таким образом, что ошибки интерполяции имеют в каждой точке среднее, равное нулю. Вследствие этого данный метод дает минимальную вариацию оценки исследуемого параметра. В отличие от сплайна, использование кригинга предполагает предварительный экспертный анализ конкретного набора пространственно распределенных данных. Цель этого анализа – выявление внутренней корреляции данных, т.е. взаимного влияния точек друг на друга, и определение пространственной анизотропии, т.е. направления, в котором взаимное влияние точек проявляется сильнее всего. Модуль кригинга, реализованный в ГИС "КартМастера", позволяет выполнить этот сложный анализ с помощью

наглядных и интуитивно понятных пользователю графиков. Первый этап включает в себя анализ вариограмм фактических данных. Модуль кригинга, реализованный в ГИС "КартМастер", позволяет выполнить этот сложный анализ с помощью наглядных и интуитивно понятных пользователю графиков. Первый этап включает в себя анализ вариограмм экспериментальных данных. Вариограмма – это инструмент оценки степени пространственной корреляции, имеющейся в конкретном наборе данных. Она определяется как вариация разницы значений переменной в двух точках, как функция расстояния и направления между ними. Для $N(h)$ экспериментальных точек находящихся на расстоянии h друг от друга значение вариограммы определяется как [Демьянов и др., 1999]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (\rho_a(d_i) - \rho_a(d_i + h))^2$$

где $\rho_a(d_i)$ - экспериментальное значение в точке d_i ;

$\rho_a(d_i + h)$ - экспериментальное значение в точке $d_i + h$.

Целью этого этапа является построение экспериментальной вариограммы и выбор аналитической функции наиболее точно описывающей эту экспериментальную вариограмму. Иными словами, конечной целью этапа является построение *модели вариограммы*. Качество модели вариограммы определяет и качество последующей интерполяции и величину ее ошибки. В общем виде вариограмма имеет вид экспоненциальной кривой, где выход на плато соответствует расстоянию, на котором отдельные измерения перестают влиять друг на друга. Вариограмма дает представление о силе и расстоянии взаимного влияния точек, но не дает представления о направлении этого влияния. Для определения направления корреляции используется роза вариограмм. Она представляет собой окружность, оси которой соответствуют сторонам света, расстояние от центра соответствует расстоянию между точками, а цветная шкала передает степень корреляции: холодные синие тона означают убывающую корреляцию, а теплые красные – возрастающую. После анализа вариограмм фактических данных подбирается теоретическая модель распределения из набора, имеющегося в библиотеке программы, а затем эмпирическим путем подбираются параметры этой модели. При этом используются как простые вариограммы, так и розы вариограмм, что значительно облегчает поиск оптимальных значений параметров. После определения параметров теоретической модели запускается расчетный модуль кригинга, строящий карту распределения и рассчитывающий запас.

Метод полигонов Вороного давно известен в промысловой океанографии под названием метода площадей по Аксютиной. Согласно этому методу, вокруг каждой точки измерения (станции) строится некоторая область, которой присваивается значение плотности, измеренное на данной станции. Границами области служат линии, равноудаленные от соседних точек измерения. Таким образом, вся область съемки разбивается на многоугольники (полигоны), размер и вид которых определяются взаимным расположением станций (рис. 2). В расчетах по методу Делоне каждая точка измерения соединяется со всеми соседними точками, но так, чтобы линии соединения не пересекались между собой. Плотность вдоль каждой линии рассчитывается как линейная функция меняющаяся равномерно от значения на одной станции до значения на другой (рис. 3). Границами района в обоих методах являются линии, соединяющие крайние выпуклые точки измерений (станции).

Для иллюстрации особенностей различных расчетных методов, имеющихся в ГИС "КартМастер", все они были использованы для обработки тестовой съемки, в качестве которой была использована американская траловая съемка краба-стригуна опилио в Восточной части Берингова моря за 2003 г. [Walters, 2004]. Данные этой съемки, включающей 360 станций, расположенных по регулярной сетке, были получены из Интернета [<http://www.afsc.noaa.gov/Publications/ProcRpt/PR%202004-01.pdf>]. Итоговые карты распределения, полученные различными расчетными методами, представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, кригинг и сплайн дают весьма сходные карты распределения, причем карты, рассчитанные трехмерным сплайном и профессиональным кригингом, отличаются большей проработкой деталей, чем карты, рассчитанные двухмерным сплайном и автокригингом. Весьма наглядное

представление о распределении первичных данных дает метод полигонов Вороного. Интуитивно понятно, что при наличии достаточного количества станций и достаточной точности измерений этот метод будет давать весьма подробную и реалистичную карту распределения промыслового объекта.

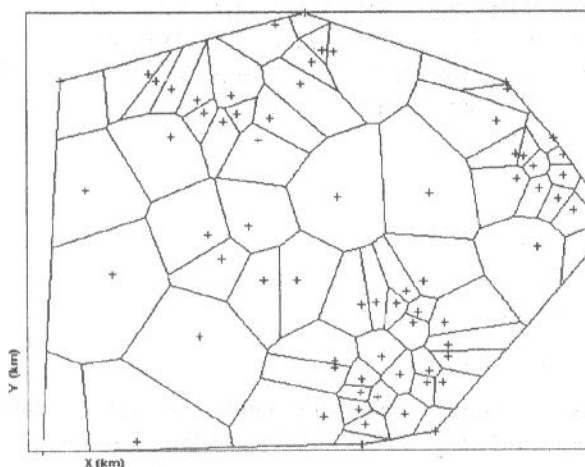


Рис. 2. Деление области съемки на полигоны по методу Вороного

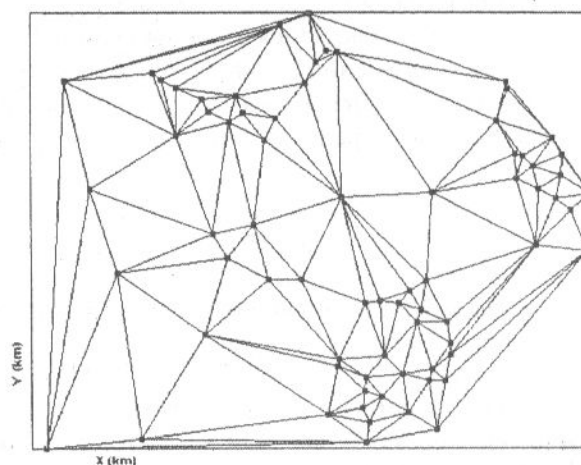
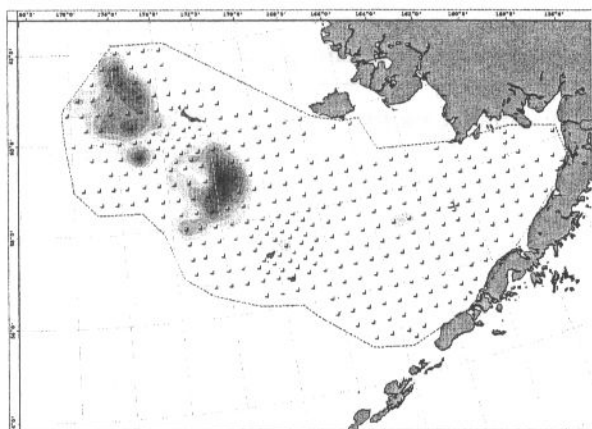


Рис. 3. Деление области съемки на полигоны методом триангуляции Делоне

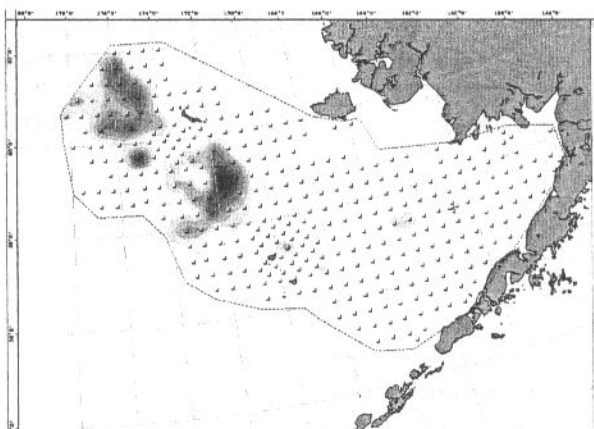
Метод линейной триангуляции по Делоне дает карту с огрубленными угловатыми изолиниями, но в целом в ней прослеживаются те же закономерности распределения, что и на остальных картах. Весьма сходными оказались и итоговые оценки запаса, рассчитанные различными методами (табл. 1). Наименьший запас был оценен по методу полигонов Вороного (64559 тыс. шт.); наибольший – по методу двумерного сплайна (67209 тыс. шт.). Среднее значение составило 66190 тыс. шт. при стандартном отклонении 950 тыс. шт. (1,4 %).

На самом деле корректный ответ на простой вопрос: – какой метод расчета лучше использовать? – требует серьезного методического исследования, которое в настоящее время еще не завершено. Однако уже первые результаты этой работы показали, что в распределении одних видов крабов пространственная корреляция выражена весьма сильно, а у других видов она отсутствует вовсе. При отсутствии корреляции использование кригинга, вообще говоря, некорректно. Проводимая в настоящее время работа может привести к созданию модуля предварительного анализа данных, который бы давал пользователю рекомендации, каким методом интерполяции ему лучше пользоваться для оценки запаса конкретного вида и какие рабочие параметры следует использовать для предложенного интерполятора. Одним из алгоритмов для выявления наилучшего метода интерполяции и рекомендации к его использованию может быть метод кросс-валидации [Савельева и др., 1999], на основании которого могут быть построены гистограммы невязок для каждого метода и пользователь сможет выбрать тот метод, который даст наименьшее отклонение от нулевых значений. Для расчета неопределенности (доверительных интервалов) при оценки биомасс предполагается встроить в ГИС метод стохастического моделирования [Kanevski, Maignan, 2004], позволяющий сгенерировать множество равновероятных реализаций, сохраняющих существенные свойства исходного распределения.

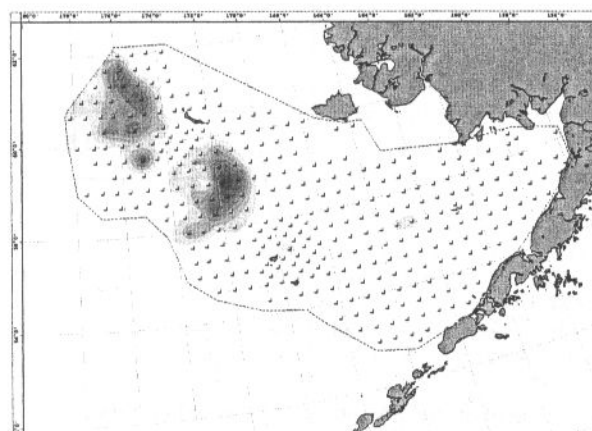
Альтернативным подходом к оптимизации методов интерполяции и повышению точности количественной оценки запаса может быть экспертная настройка параметров расчета на данный пользовательский район и соответствующий набор видов, осуществляемой разработчиками на основании исторических баз биопромысловых и океанографических данных, накопленных для данного района. Суть такого подхода основана на предварительном анализе данных, накопленных за предыдущие годы, выполненным специалистами математиками совместно со специалистами биологами и гидроакустиками. На основании такого анализа может быть предложен определенный метод интерполяции с соответствующими оптимальными рабочими параметрами. Новые данные будут автоматически анализироваться, а рабочие параметры для выбранного метода интерполяции будут лишь слегка (при необходимости) корректироваться непосредственно компьютером.



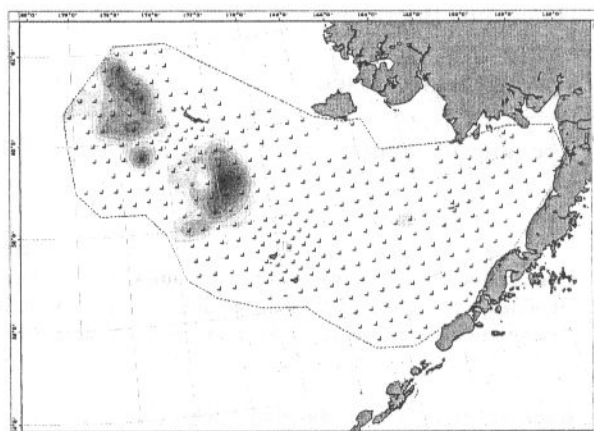
Трёхмерный сплайн



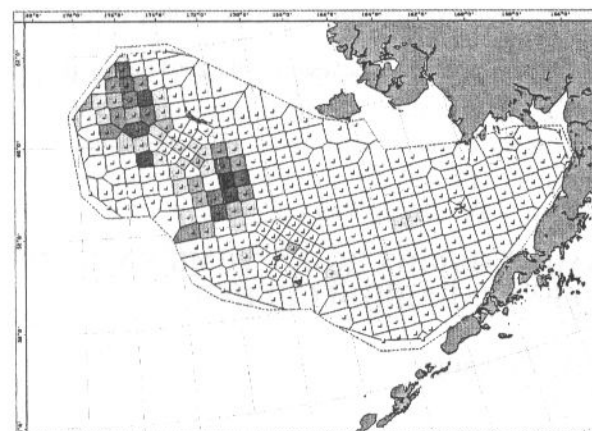
Двухмерный сплайн



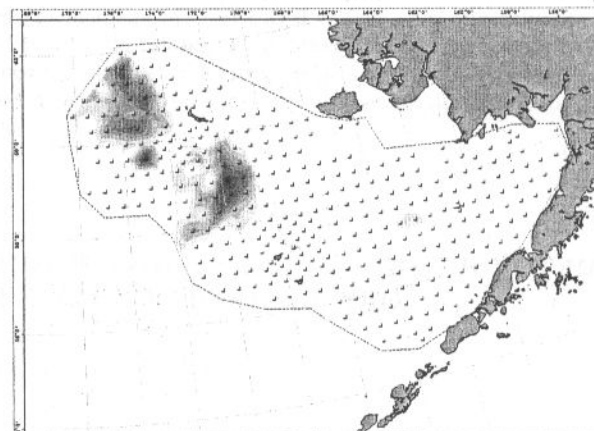
Профессиональный кригинг



Автокригинг



Полигоны Вороного



Триангуляция Делоне

Рис. 4. Карты распределения краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) в восточной части Берингова моря в 2003 г., рассчитанные различными методами

Оценки запаса краба-стригуна опилио, полученные различными методами расчета

Метод расчета	Запас; тыс. шт.	Площадь; кв.км	Средняя плотность; штук/кв.км
3D-сплайн	66379	148760	446,2
2D-сплайн	67209	148760	451,8
Автокригинг	66914	148760	449,8
Проф. кригинг	66361	148760	446,1
Полигоны Вороного	64559	139898	461,5
Триангуляция Делоне	65720	138894	473,2
Средние значения:	66190 $\pm$ 950	145639	454,8 $\pm$ 10,6

Литература

- Савельева Е.А., Демьянов В.В., Чернов С.Ю.** 1999. Детерминистические методы пространственной интерполяции. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. ВИНТИ, 1999. С. 14
- Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Чернов С.Ю.** 1999. Вариография: исследования и моделирование пространственных корреляционных структур. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. ВИНТИ, 1999. С. 35
- Kanevski Mikhail and Maignan Michel.** 2004. Analysis and Modelling of Spatial Environmental Data, EPFL Press, Lausanne, Switzerland. 2004. ISBN 0-8247-5981-8.
- Stolyarenko D.A.** 1987. The spline approximation method and survey design using interaction with a microcomputer: spline survey designer software system. ICES C.M. 1987/K. 29. 36 p.
- Stolyarenko D.A., Ivanov B.G.** 1987. The new approach to bottom trawl surveys with special reference to deep water shrimp (*Pandalus borealis*) off West Spitsbergen. ICES C.M. 1987/K. 30. 26 p.
- Walters G.E.** 2004. AFSC processed report 2004-01. Report to the fishing industry on the results of the 2003 Eastern Bering Sea groundfish survey. Alaska Fisheries Science Center. January 2004. 58 p.