

*Ю.В. Малинина*

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАТРАТ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ  
КОНТАКТНЫМИ И СПУТНИКОВЫМИ МЕТОДАМИ**

*J.V. Malinina*

**COMPARATIVE COST ESTIMATION  
WHEN OBSERVING COASTAL ZONE  
BY CONTACT AND REMOTE SENSING METHODS**

*Рассматриваются методы оценки затрат на проведение исследования прибрежных береговых баров около пос. Лебяжий, Ленинградская обл., с помощью спутниковых и контактных измерений. В работе используются комбинированные методы CPM-PERT, позволяющие оценить временные и стоимостные затраты, а также метод главных компонент (МГК) для их оптимизации. В качестве источника космических данных использовался снимок спутника IKONOS высокого разрешения (3,2 м), позволяющего составлять и обновлять карты масштабом до 1:5000. Оценка экономической эффективности спутниковых методов по отношению к контактным методам находится в пределах 180–220 %.*

*Ключевые слова: комплексное управление прибрежной зоной, спутниковый мониторинг, сетевая модель, метод главных компонент, экономическая эффективность.*

*Methods of cost estimation for observation of coastal offshore bars near village Lebyazhye, the Leningrad Region, by means of contact and remote sensing measurements are considered. For this purpose the combined CPM-PERT methods permitting estimating time and cost expenses and the principle component analyses for their optimization are used. As a source of remote sensing data the high-resolution photograph (3,2 m) of IKONOS satellite which allows composing and updating maps of up to 1:5000 scale was used. The estimation of cost efficiency of remote sensing methods vs. contact methods ranges within 180–220 %.*

*Key words: complex equation, coastal area, satellite monitoring, network model, method of principal components, economic efficiency.*

Спутниковые снимки по сравнению с аналогичными средствами сбора географической информации (рис. 1) имеют следующие преимущества, определяющие их экономическую эффективность:

- исследованию может быть подвергнута любая точка земного шара, включая труднодоступные и опасные регионы;
- не требуется предоставления наземного персонала, организации полевых работ, экспедиций, выделения дополнительных ресурсов и т.д.;
- оперативность получения данных и эффективная возможность организации контроля над состоянием региона;
- масштабность исследований (покрываемая одним снимком площадь может достигать десятков тысяч квадратных километров, а наличие разновременных снимков одного региона позволяет исследовать динамику явления).

В данной работе оценивались затраты на исследование положения прибрежных песчаных баров на мелководье у пос. Лебяжий с использованием спутниковых методов по сравнению с затратами на полевые исследования.



Рис. 1. Наиболее распространенные способы получения данных.

При решении поставленной задачи предполагается использование снимка, полученного со спутника IKONOS, с разрешением 3,2 м. Основные технические характеристики спутника приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические характеристики спутника IKONOS [1].**

Дата запуска: 24 сентября 1999 г.

Характеристики	Панхроматический режим	Мультиспектральный режим
Спектральный диапазон, мкм	0,445–0,90	голубой: 0,45–0,52 зеленый: 0,52–0,61 красный: 0,64–0,72 ближний ИК: 0,77–0,88
Пространственное разрешение	1 м	3,2 м
Максимальное отклонение от надира	45°	
Ширина полосы охвата	11 км	
Метрическая точность	CE90 = 23 м	
Радиометрическое разрешение	11 бит на пиксел	
Формат файлов	GeoTIFF	
Обработка	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции	
Периодичность съемки	1–5 сут. (в зависимости от широты области съемки)	
Возможность получения стереопары	Да, с одного витка	
Срок выполнения заказа	7–14 сут. для архивных данных. 7–90 сут. для съемки на заказ	
Минимальная площадь заказа	49 км <sup>2</sup> для архивных данных, возможен заказ полигона произвольной формы с расстоянием между вершинами не менее 5 км. 100 км <sup>2</sup> для съемки на заказ, возможен заказ полигона произвольной формы с расстоянием между вершинами не менее 5 км	

Космический аппарат IKONOS – первый коммерческий спутник для съемки Земли со сверхвысоким (менее 1 м) разрешением – был запущен в 1999 г. с авиабазы Ванденберг (США, штат Калифорния) и выведен на низкую солнечно-синхронную орбиту высотой 680 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1–5 дней (в зависимости от широты).

Спутник IKONOS предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме и 3,2 м в мультиспектральном режиме. Основными преимуществами спутника IKONOS являются высокая маневренность и, как следствие, возможность съемки больших площадей за один проход (до 5000 км<sup>2</sup>), а также возможность получения стереопар с одного витка. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.

Области применения данных дистанционного зондирования, полученных со спутника IKONOS:

- создание и обновление карт и планов масштабов до 1:5000 – 1: 10 000;
- создание ЦМР (цифровые модели рельефа) с точностью порядка 2,5 м по высоте;
- городское и земельное планирование;
- сельское и лесное хозяйство;
- разведка месторождений нефти и газа и др.;
- планирование, строительство и мониторинг трубопроводов в нефтяной и газовой отрасли;
- экологический мониторинг и оценка изменений окружающей среды;
- решение прикладных задач [1].

На рис. 2 представлены основные этапы преобразования данных, полученных со спутника, в информацию, пригодную для применения в прикладных целях. Нетрудно видеть, что круг практических задач весьма широк.



Рис. 2. Этапы преобразования данных.

Для оценки эффективности спутниковых методов целесообразно использовать методы сетевого планирования. Основой их служит сетевая модель (экономико-математическая модель), отражающая комплекс работ (операций) и событий по реализации некоторого проекта (научно-исследовательского, производственного и др.) в их логической и технологической последовательности и связи. Анализ модели в графической или табличной (матричной) форме позволяет, во-первых, более четко выявить взаимосвязи этапов реализации проекта и, во-вторых, определить наиболее оптимальный порядок выполнения этих этапов в целях, например, сокращения сроков выполнения всего комплекса работ.

Для оценки экономической эффективности спутниковых методов предлагается использовать метод CPM-PERT (объединенные методы критического пути – Critical Path Method и оценки и пересмотра программ – Program Evaluation and Review Technique) [Батрова, 2001].

На рис. 3 в обобщенной форме показаны основные этапы выполнения программы. На первом этапе определяются отдельные процессы, составляющие проект, их последовательность и длительность. Далее проект представляется в виде сети, показывающей отношения предшествования среди процессов, составляющих проект. На третьем этапе с помощью построенной сети выполняются вычисления, в результате которых составляется временной график реализации проекта.

В данном методе используются следующие понятия:

$t_{i \text{ опт}}$  – оптимистичное время – самое короткое время для завершения операции;

$t_{i \text{ вер}}$  – наиболее вероятное время, отличное от ожидаемого времени;

$t_{i \text{ песс}}$  – пессимистичное время – самое длительное время выполнения операции;

$\sigma_i^2$  – дисперсия, служащая для характеристики степени неопределенности оценки продолжительности отдельной работы, вычисляемой по формуле:

$$\sigma_i^2 = [(t_{i \text{ песс}} - t_{i \text{ опт}})/6]^2,$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение для определения вероятности реализации проекта за время, отличное от ожидаемого;  $t_{ie}$  – ожидаемое время, которое рассчитывается по формуле:

$$t_{ie} = (t_{i \text{ опт}} + 4 t_{i \text{ вер}} + t_{i \text{ песс}})/6.$$

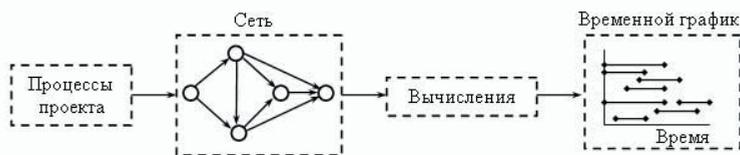


Рис. 3. Основные этапы выполнения проектирования.

Стоимостной аспект вводится в схему календарного планирования программ путем определения зависимости «затраты (стоимость) – продолжительность» для каждой операции программы. Рассматриваются только элементы прямых затрат. Табуляция выполненных этапов проекта приведена в табл. 2 [Сау, 2004].

Таблица 2

## Расчет затрат при контактных и спутниковых методах

Сим-вол	Деятельность	$t_{\text{юпт}}$	$t_{\text{двер}}$	$t_{\text{плесс}}$	$\sigma$	$\sigma^2$	$t_{re}$	Работник	Затраты (1 день), у.е.	Общие затраты, у.е.	в т.ч. НДС/НДФЛ	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A1	Определение района исследования	1	1	1	0	0	1		–	–	–	–
A2	Получение карт необходимых масштабов	1	2	3	0,33	0,11	2	1 инженер	30	60	8,4	60
A3	Разведка опорных точек и определение координат с полученных карт	1	2	3	0,33	0,11	2	1 инженер 2 лаборанта	30 20	60 80	8,4 11,2	140
B1	Определение опорных точек с помощью GPS в районе исследования	3	6	9	1	1	6	1 инженер 2 лаборанта 1 транспортное средство	30 20 15	180 240 90	25,2 33,6	510
B2	Построение, схематическое картирование опорных точек и их нанесение на карты	10	15	20	1,67	2,78	15	1 инженер 2 лаборанта 1 транспортное средство	30 20 15	450 600 225	63 84	1275
B3	GPS исследование и расчеты координат (для 200 точек)	10	15	20	1,67	2,78	15	2 инженера 2 лаборанта 3 GPS ресивера 2 транспортных средства	30 20 30 15	900 600 300 450	126 84 – –	2250
C1	Полевые исследования	10	13	15	0,83	0,69	13	<i>Постоянные затраты:</i> Ноутбук, принтер и расходные материалы Записывающее оборудование GPS Эхолот, ручной гидролокатор <i>Переменные затраты:</i> Аренда плавательного судна**		300 190 150 500 800		11540
C1	Маркетинговое исследование для получения снимка со спутника IKONOS площадью 100 км <sup>2</sup> , разрешение 3,2 м MS	2	5	7	0,83	0,69	5	1 инженер	30	150	21	300

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C2	Установление дня съемки	2	3	7	0,83	0,69	4	1 инженер	30	120	16,8	240
C3	Получение снимка и его доставка*	90	93	100	1,67	2,78	94	Снимок IKONOS	–	2000	–	2000
D1	Коррекция	2	3	5	0,5	0,25	4	2 инженера	30	240	33,6	240
E1	Определение проекций системы для создания карт и создание легенды	1	2	3	0,33	0,11	2	1 инженер	30	60	8,4	60
E2	Оцифровка	2	5	7	0,83	0,69	5	1 инженер 1 лаборант	30 20	150 100	21 14	250
E3	Выходные материалы и основа для ПИС	2	5	7	0,83	0,69	5	1 инженер	30	150	21	150
	<b>ИТОГО полевые методы (1-7, 12-14)</b>				10,88,	12,7	66					<b>16 235</b>
	<b>ИТОГО спутниковые методы (1-6, 8-14)</b>				32	9,21	160					<b>7475</b>
												<b>217,2%</b>

Экономическая эффективность спутникового метода

\* Цена и условия поставки на снимки IKONOS ИТЦ СканЭкс от 01.04.08.

\*\* Цена взята для парусного катамарана «Центaurus-II».

Определение  $t_{\text{юпт}}$ ,  $t_{\text{ивер}}$  и  $t_{\text{инесс}}$  в табл. 2, так же как и оценки затрат за день на одну рабочую единицу, производится экспертным методом.

Как указывалось выше, для данного исследования использовался снимок со спутника IKONOS разрешения 3,2 м, полученный 19 июля 2005 г., а его целью являлась оценка положения и динамики прибрежных береговых баров (береговая аккумулятивная форма рельефа, образующаяся в результате поперечного перемещения морских наносов и их отложения) двумя методами: полевыми исследованиями (при использовании приборов с плавательного судна) и спутниковыми методами. Исследуемое изменение береговой линии, происходящее в данном районе вследствие строительства дамбы и глобального изменения климата, имеет значительное влияние на процессы эвтрофикации и эрозии и, следовательно, на рекреационный потенциал прибрежной зоны.

Анализируя полученную таблицу, можно отметить, что применение спутниковой информации оказывается экономически эффективней, но более долгосрочным делом, что связано с условиями поставки снимков IKONOS, например через ИТЦ СканЭкс.

Чтобы добиться сокращения продолжительности выполнения программы при минимально возможных затратах, необходимо в максимально допустимой степени сжать ту критическую операцию (т.е. самую длительную), у которой коэффициент  $d$  – «затраты – продолжительность» – наименьший

$$d = (C_a - C_m)/(t_m - t_a),$$

где  $C_a$  – это стоимость при  $t_a$  (сокращенном времени выполнения заказа);  $C_m$  – стоимость при  $t_m$  (обычном режиме выполнения операции) (см. табл. 3).

Таблица 3

**Расчет экономической эффективности проекта при сокращении критической операции**

Срок выполнения заказа	Надбавка за срочность	Ожидаемое время получения заказа, дни	Стоимость 100 км <sup>2</sup> снимка со спутника IKONOS, у.е.	Коэффициент $d$		Время выполнения проекта, дни	Стоимость проекта, у.е.	Экономическая эффективность проекта, %
				по отношению к первому периоду	по отношению к предыдущему			
3 месяца	–	91	2000	–	–	160	7475	217,2
15–30 дней	+30 %	22,5	2600	8,76	8,76	88	8075	201,1
8–14 дней	+50 %	11	3000	12,5	34,8	77	8475	191,6
1–7 дней	+70 %	4	3400	16,1	57,1	70	8875	182,9

Таким образом, анализируя табл. 3, можно отметить, что при необходимости сокращения временного интервала целесообразнее выбрать срок выполнения заказа в 15–30 дней, так как при увеличении стоимости на 30 % происходит сокращение времени выполнения проекта на 55 %, а экономической эффективности – на 16 %.

### **Использование метода главных компонент для сокращения затрат на обработку спутниковых снимков**

Главной задачей метода главных компонент является оптимизация изображения для дешифрирования всех типов объектов, изображенных на многозональном снимке. Метод основан на разложении по естественным ортогональным функциям, в результате которого при сохранении общей точности описания исходных данных можно перейти к новым независимым переменным, которые описывают какую-либо тенденцию в их структуре и могут быть упорядочены по степени уменьшения их вклада в общую изменчивость [Айвазян, 1998].

Геометрическая сущность метода заключается в повороте осей в пространстве спектральных признаков по параметрам, извлеченным из снимка. Первая из новых осей (главных компонент) проводится в направлении наибольшего разброса значений яркости, вторая и последующие ортогональны предыдущим.

Важным свойством пакета ЮНЕСКО Билко, интегрированной системы анализа и обработки спутниковых изображений в среде Windows, является встроенная функция «РСА» (метод главных компонент), которая рассчитывает и выводит графические отображения нагрузок главных компонент.

На рис. 4, *а* приведены значения яркости пикселей для четырех каналов используемого снимка на разрезе от береговой линии до изобаты 5 м, на рис. 4, *б* – данные тех же каналов для значений, преобразованных методом главных компонент. Из анализа рис. 4, *б* следует, что на разрезе по собственным векторам конфигурация и положение прибрежных баров выделяется более точно, а при их определении использовалось наличие противофазы одного собственного вектора по отношению к другим.

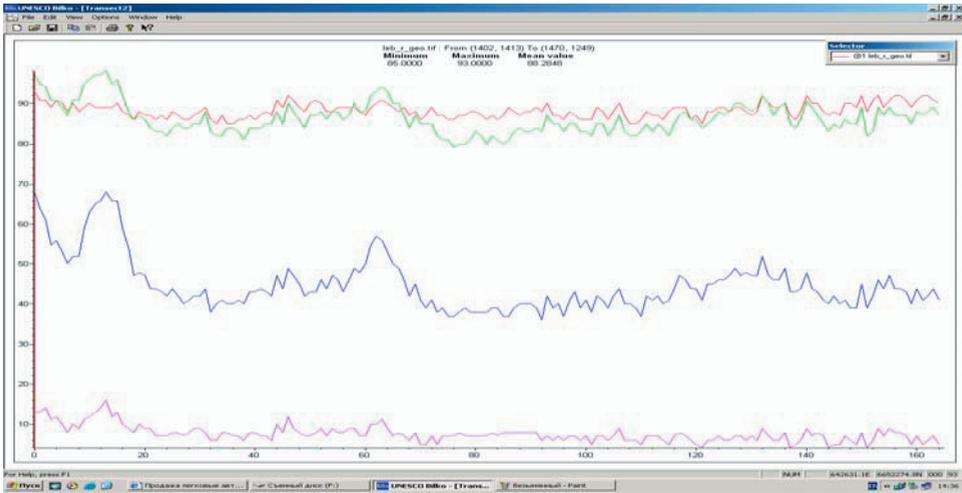
Таким образом, выбор метода оптимальной обработки с использованием метода главных компонент позволяет сократить затраты путем сокращения числа работников и продолжительности рабочего времени на обработку снимка (1 инженер, 1 рабочий день – см. табл. 2, D1) и, следовательно, повышения экономической эффективности на 2 %.

Основные полученные результаты:

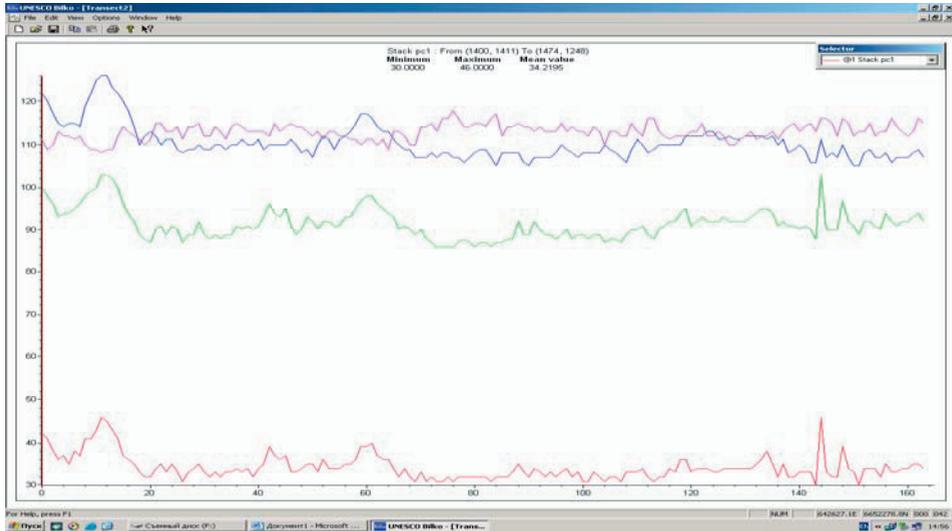
1. Для оценки экономической эффективности спутниковых методов по сравнению с полевыми исследованиями целесообразно использовать СРМ-PERT метод, который в рассмотренном случае повышает эффективность до 180–220 %.

2. Показатели экономической эффективности применения спутниковых методов могут достигать больших значений при использовании снимков меньшего разрешения.

Для сокращения затрат на коррекцию изображения целесообразно использовать метод главных компонент, благодаря которому возможно сокращение продолжительности проекта и, следовательно, его стоимости и эффективности (на 2 %).



а



б

Рис. 4. График значений яркости пикселей для обычного снимка (а) и нагрузок главных компонент (собственных векторов) (б).

### Литература

1. <http://www.sovzond.ru/satellites/436/ikonos.html> - информационный ресурс компании «Совзонд».
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
3. Батрова Р.Г., Глухов С.В. Календарное планирование программ сетевыми методами. Тезисы конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Алексея Андреевича Ляпунова 8–11 октября 2001 г. – Новосибирск, 2001.
4. Cay T., Iscan F., Durduran S.S. The cost analysis of satellite images for using in GIS by the PERT. Selcuk University, Engineering and Architecture Faculty, Geodesy and Photogrammetry Department. – Стамбул, 2004.