

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ГИС-РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПОСТУПЛЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОД НА ШЕЛЬФ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ<sup>1</sup>

*Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Огурцов А.Н.  
Факультет географии и геоэкологии  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: [vvd1951@vandex.ru](mailto:vvd1951@vandex.ru)*

## THE MULTI-CRITERIA ASSESSMENT AND GIS RECONSTRUCTION OF CHANGES OF RECEIPT OF RIVER WATERS ON A SHELF OF LAPTEV SEA

*Vasiliev V. Ju, Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N.  
Faculty of Geography and Geoecology  
Saint-Petersburg State University  
Saint Petersburg, Russia  
E-mail: [vvd1951@vandex.ru](mailto:vvd1951@vandex.ru)*

**Abstract.** In the given work the methodical basis of use of integrated indexes for GIS- reconstruction of changes of receipt of a river drain on a sea shelf is considered. The innovative party of researches is application of a technique of construction of integrated indexes with use of the non-numerical, inexact and incomplete information (NNN- information). The description of a method of the analysis and synthesis of parameters under information deficiency and its applications to results of the analysis aquatic palynomorph in deposits of the Arctic seas. The example of GIS-reconstruction executed for water area of Laptev sea is presented.

В данной работе рассматривается методическая основа использования интегральных индексов для ГИС-реконструкции изменений поступления речного стока на морской шельф. Инновационной стороной исследований является интеграция результатов микропалеонтологического анализа водных палиноморф, методики построения интегральных индексов с использованием нечисловой, неточной и неполной информации (nnn-информации) и ГИС-технологии визуализации результатов исследований. Дано описание метода анализа и синтеза показателей при информационном дефиците и его применение к анализу водных палиноморф в осадках арктических морей. Представлен пример ГИС-реконструкции, выполненный для акватории моря Лаптевых.

В настоящее время отмечается активизация проведения экспедиционных исследований в Арктическом регионе, что обусловлено с одной стороны освоением новых месторождений и развитием нефте- и газодобычи в АЗР и высокой чувствительностью геосистем высоких широт к глобальным изменениям природного и техногенного характера с другой стороны. При этом повышенный интерес проявляется не только к анализу и оценке современных, но и палеоэкологических процессов на шельфе арктических морей и в устьевых зонах сибирских рек.

Для палеорекострукции и анализа палеоэкологических условий в настоящее время широко используются методики микропалеонтологического анализа донных осадков, включая анализ спорово-пыльцевых спектров, анализ диатомей и бентосных фораминифер и др. В практике палеоисследований приходится сталкиваться с анализом и оценкой многомерных объектов (проб донных отложений), которые характеризуются большим числом параметров, структурированных множеством функциональных и корреляционных взаимосвязей.

Так, например, на формирование спорово-пыльцевых комплексов влияет множество факторов, включая различную пыльцевую продуктивность растений, условия транспортировки пыльцы и спор к месту захоронения, их сохранность в зависимости от условий захоронения и т.д. Эти факторы, способствуют тому, что процентный состав спектра пыльцы, зачастую, не является адекватным отражением процентного состава растительного покрова и экологических условий его произрастания. Формирование ассоциаций микрофоссилий и их сохранность также подвержена влиянию условий окружающей среды.

Наряду с вышеперечисленными методиками в практике реконструкций палеоусловий в морях Арктики в последние годы все большее значение приобретает изучение водных палиноморф (ВП), которые включают в себя цисты морских видов динофлагеллат, имеющие высокую степень сохранности, пресноводные зеленые водоросли, а также другие органические остатки водных микроорганизмов [Клювиткина, Баух, 2006, Клювиткина, 2007, Клювиткина и др., 2007]. К настоящему времени выявлен ряд закономерностей пространственного распределения видового состава ассоциаций водных палиноморф, и, в

<sup>1</sup> Настоящее исследование выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-00909-а)

частности, влияние изменений поступления речных вод на морской шельф [Matthiessen, 2000, Kunz-Pirung, 2001].

Кроме того, сведения о палеосреде, как правило, исчерпываются точечными (дискретными) измерениями на станциях отбора проб донных отложений. Результаты таких измерений, учитывая высокую пространственную неоднородность полей донных осадков, часто вносят неоднозначность в интерпретацию палеоданных. Анализ и обобщение такой информации обуславливает необходимость использования специализированных методов и методик для улучшения качества и достоверности палеогеографических реконструкций.

В рамках исследований авторами использована методика построения интегральных (сводных) показателей, базирующиеся на принципах методологии анализа и синтеза показателей при информационном дефиците (АСПИД-методология) [Хованов, 1998]. К настоящему времени в палеогеографии известна лишь одна работа по использованию метода интегральных показателей для анализа и оценки спорово-пыльцевых спектров озерных осадков [Мякишева, 2006].

В основе методических построений лежит представление об исследуемых объектах, как о сложных (многопараметрических) системах, качество которых описывается системой исходных характеристик. Между компонентами множества, образующего систему, существуют системообразующие связи и отношения, благодаря которым реализуется специфическое для системы единство. Система обладает общими функциями, *интегральными свойствами* и характеристиками, которыми не обладают ни составляющие ее элементы (компоненты), взятые по отдельности, ни простая «арифметическая сумма» элементов. Иначе говоря, свойства системы в целом *неаддитивны* (эмерджентны) по отношению к свойствам ее элементов и подсистем. В связи с этим, существенным показателем внутренней целостности системы является ее *автономность*, или относительная самостоятельность поведения и существования. По автономности можно в известной степени судить об уровне и степени их относительной организованности и самоорганизованности системы. Таким образом, в геоэкологических исследованиях необходимо ставить вопрос об *интегральной оценке* состояния геосистем, для выполнения которой, необходимо использовать кроме аддитивных характеристик и *неаддитивные* (например, автономность, устойчивость, уязвимость, живучесть, целостность, надежность, благополучие и др.).

В палеогеографии применительно к результатам спорово-пыльцевого анализа и анализа водных палиноморф донных осадков примером многопараметрических объектов служат пробы колонок донных отложений.

Вторым важным компонентом исследований является ГИС-моделирование, включающее построение полей интегральных индексов с использованием приемов интерполяции.

#### Постановка задачи и методика

Исследуются и анализируются образцы донных отложений, состоящие из  $k$  проб, каждая из которых характеризуется набором из  $m$  признаков (исходных характеристик). Представим  $k$  изучаемых объектов матрицей исходных характеристик (признаков)  $\{X_i^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ ;  $i = \overline{1, m}$ ; где  $X_i^{(j)}$  – значение  $i$ -го признака для  $j$ -ой пробы.

Информационная неопределенность задается двумя таблицами – таблицей отдельных показателей, которые являются функцией исходных характеристик  $q(x)$  и таблицей весовых коэффициентов. Таблица отдельных показателей  $\{q_i^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ ;  $i = \overline{1, m}$ ; указывает степень предпочтительности  $j$ -го объекта с точки зрения  $i$ -го критерия. При этом  $q_i^{(j)}=0$  соответствует минимальной, а  $q_i^{(j)}=1$  – максимальной степени предпочтения объекта с точки зрения  $i$ -го критерия. Таблица весовых коэффициентов  $\{w_i^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1, k}$ ;  $i = \overline{1, m}$  отражает значимость отдельных показателей. Весовые коэффициенты удовлетворяют условию весовой функции:  $w_i \geq 0$ ,  $w_1^{(j)} + \dots + w_m^{(j)} = 1$ .

Для уменьшения мерности объекта воспользуемся приемом построения сводного показателя, сопоставляющем каждому  $j$ -му  $m$ -мерному вектору  $q^{(j)} = \{q_i^{(j)}\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , число  $Q^{(j)} \in [0, 1]$ , которое представляет собой оценку объекта в целом. Построение сводного показателя<sup>1</sup> можно рассматривать как снижение размерности исследуемого призначного пространства до единицы.

В реальной ситуации исследователь не знает точных значений  $\{q_i^{(j)}\}$ ,  $\{w_i^{(j)}\}$ . Дефицит информации о точных значениях весовых коэффициентов  $w^{(j)}$  моделируется  $w^{*(j)}$   $m$ -мерной случайной величиной, равномерно распределенной на  $(m - 1)$  – мерном симплексе  $S = \{(w_1, \dots, w_m) : w_i \geq 0, w_1 + \dots + w_m = 1\}$ , расположенном в  $m$  – мерном евклидовом пространстве  $E^m$ . Подставляя случайные веса  $w^{*(j)}$  в выражение сводного показателя  $Q^{(j)} = Q(q^{(j)}, w^{(j)})$ , получаем рандомизированный сводный показатель  $Q^{* (j)} = Q(q^{(j)}, w^{(j)})$ . Имея рандомизированные (т.н. *отдельные*) сводные показатели  $Q^{* (j)}$  и  $Q^{* '(j)}$  двух объектов (проб)  $X = (X_1, \dots, X_m)$ ,  $X' = (X'_1, \dots, X'_m)$ , можно свести задачу оценивания сравнительной предпочтительности этих объектов к задаче выявления того или иного вида стохастического доминирования между случайными

<sup>1</sup> В настоящей работе сводный показатель  $Q^{(j)}$  определяется линейной сверткой отдельных показателей  $q^{(j)}$  с весовой функцией  $w^{(j)}$

величинами  $Q^*$  и  $Q^{*}$ . В простейшем случае степень предпочтительности объекта  $X = (X_1, \dots, X_m)$  может быть оценена математическим ожиданием рандомизированного сводного показателя  $Q(q)$ , а точность такой оценки – стандартным отклонением  $\sigma(q)$  этого же рандомизированного сводного показателя.

Неопределенность задания весовых коэффициентов может быть существенно снижена за счет учета информации  $I_p$  об ограничениях, налагаемых на значения вектора. Например, информация о сравнительной весомости отдельных показателей может задаваться в виде системы неравенств  $I_p = \{w_i \geq w_1, w_1 > w_r, w_s = w_t\}$ .

Дефицит информации об отдельных показателях может быть восполнен, если имеется зависимость отдельных показателей от соответствующих исходных характеристик. Тогда назначаются минимальное и максимальное значения исходной характеристики, при которых показатели  $q$  принимают минимальное (0) или максимальное (1) значения. Затем подбирается функциональное соответствие между численными значениями исходных характеристик и численными значениями отдельных показателей. Например, задается нормирующая функция вида:

$$q_i = q_i(x_i) \begin{cases} = 0, & x_i \leq x_{\min} \\ = ((x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}))^n, & x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \\ = 1, & x_i \geq x_{\max} \end{cases}$$

и (или)

$$q_i = q_i(x_i) \begin{cases} = 1, & x_i \leq x_{\min} \\ = ((x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}))^n, & x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \\ = 0, & x_i \geq x_{\max} \end{cases}$$

Предлагаемая методика реализована на примере ключевого участка – «дельта р. Лена – море Лаптевых».

В основу модельных расчетов интегральных индексов реконструкции пространственных изменений стока речных вод положены результаты исследования 92 поверхностных проб донных осадков с шельфа и прилегающих акваторий моря Лаптевых [Хованов, 1996].

Анализ этих материалов показывает, что сообщества водных палиноморф отличаются друг от друга как по относительному составу экологических групп, так и по приуроченности их к различным местоположениям и гидрологическим особенностям шельфа. В частности процентный состав каждого вида как диноцист, так и зеленых водорослей может меняться в несколько раз. Например, относительное содержание вида *Pediastrum spp* изменяется от 0 до 45%.

Процесс построения индексов носит многоступенчатый характер, в основе которого лежат методические построения синтезирующих функций, учитывающих значимость отдельных признаков. При этом наряду с количественными данными используется нечисловая, неточная и неполная информация.

На первом этапе выделяются обобщенные информативные признаки, по которым будет проводиться идентификация интенсивности речного стока и формируется вектор исходных характеристик  $x_1, \dots, x_m$ . В качестве индикаторов оценки рассматривались как цисты морских видов динофлагеллат, так и таксоны пресноводных зеленых водорослей.

На втором этапе выделенные информационные показатели используются для построения индекса. При построении индекса использовалась модель синтезирующей функции

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i, \text{ с помощью которой отдельные показатели}$$

интенсивности  $q_i$  агрегируются в единый интегральный индекс (сводный показатель). Диапазон изменений индекса находится в интервале от 0 до 1, при этом индекс конструировался так, чтобы максимальные значения (близкие к единице) свидетельствовали о высокой интенсивности поступления речных вод. Вектор отдельных показателей представляет собой числовую функцию  $q_i = q_i(x_i)$  исходных характеристик, которая характеризует интенсивность поступления речных вод на акваторию с точки зрения отдельного критерия (признака). Значимость отдельных показателей определяется конечным множеством  $W(m, n)$  допустимых векторов весовых коэффициентов  $w = (w_1, \dots, w_m)$ .

Матрица отдельных показателей  $\{q_i^{(i)}\}$  рассчитывалась по соотношению

$$q_i = q_i(x_i) \begin{cases} = 0, & x_i \leq x_{\min} \\ = ((x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}))^n, & x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \\ = 1, & x_i \geq x_{\max} \end{cases}$$

в соответствии с назначенными границами минимальных и максимальных значений обобщенных признаков, приведенными в таблице. Там же дана информация о весовых коэффициентах  $w_i^{(i)}$ , используемых для модельных расчетов.

Таблица 1. Оценочные признаки, граничные условия и дополнительная информация для расчета интегральных индексов

№ п/п	Видовой состав водных палиноморф (оценочный признак)	Возможные границы изменения обобщенных признаков, %		Весовые коэффициенты (предпочтительность отдельных показателей)
		мин	макс	
1	Brigantedinium simplex	0	80	$w_6=w_7=w_8=w_9 > w_1=w_2=w_3=w_4=w_5$
2	Operculodinium centrocarpum	0	50	
3	Spiniferites elongatus	0	10	
4	Pentapharsodinium dalei	0	60	
5	Polykrikos spp.	0	20	
6	Pediastrum spp.	0	50	
7	Pediastrum boryanum	0	35	
8	Pediastrum kawraiskyi	0	20	
9	Botryococcus braunii	0	15	

На третьем этапе средствами ГИС-технологии разработана картографическая модель пространственного изменения интегральных индексов, характеризующих интенсивность поступления речных вод на акваторию моря Лаптевых. Картографическое отображение результатов расчета позволило создать карту интенсивности поступления речных вод на акваторию моря (рисунок) с оценочной шкалой и выделением участков с различной степенью интенсивности.

Анализ результатов показывает, что значения индекса варьирует в пределах исследуемой акватории от 0,1 до 0,6. Наибольшие значения индекса (наибольшее влияние стока) отмечаются в приустьевых участках рек, где его величина достигает значения 0,6. Наиболее обширная область повышенных значений индекса (0,5-0,6) отмечается в приустьевой части Быковской и Трофимовской проток р. Лены. К северу и северо-западу от дельты реки Лены, где поступление речного стока невелико, величина индексов не превышает 0,1-0,2.

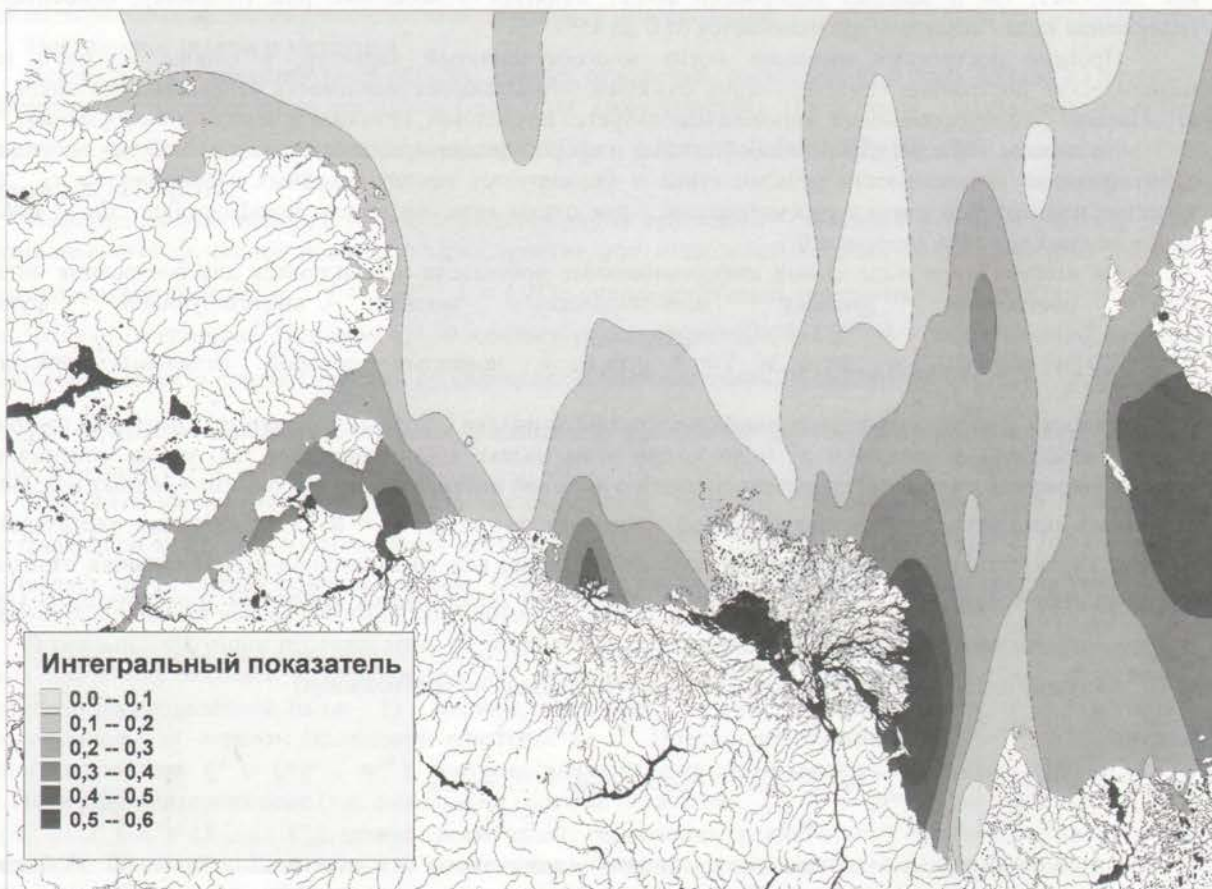


Рис. 1.. Интенсивность поступления речного стока на акваторию моря Лаптевых

В заключении необходимо отметить, что выполненная работа является инновационным детальным исследованием применения метода интегральных показателей, базирующегося на принципах АСПИД (анализ и синтез показателей при информационном дефиците) в палеогеографических морских исследованиях. Использование данного подхода в палинологии позволяет формализовать неопределенность информации и численно представить ее через характеристики сводного показателя (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования модельных индексов для палеорекострукции, не только изменений поступления речных вод на шельф, но и других гидроэкологических явлений и процессов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кловиткина Т.С., Баух Х.А. Изменения палеоокеанологических условий в море Лаптевых в голоцене по материалам исследования водных палиноморф // Океанология. 2006. – Т. 46. – № 6. – С. 911-921.
2. Кловиткина Т.С. Палеогеография моря Лаптевых в позднем плейстоцене и голоцене по материалам изучения ископаемых микроводорослей. Автореферат Дис. канд. геогр. наук по специальности 25.00.25. – М: МГУ, 2007. – 177 с.
3. Кловиткина Т.С., Полякова Е.И., Баух Х.А., Кассенс Х. Палеогеографическое развитие моря Лаптевых за последние 17.5 тыс. календарных лет по данным анализа водных палиноморф // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. I. – М.: 2007. – С. 222-224.
4. Мякишева Н. В., Трапезников Ю. А., Хомутова В.И., Хованов Н. В. Экспертно-статистический анализ спорово-пыльцевых спектров озерных осадков // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: Изд-во Астерион, 2006. – С. 197-204.
5. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. – СПб., 1996. – 196 с.
6. <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.56195>.
7. Matthiessen, Jens; Kunz-Pirrung, Martina; Mudie, Peta J. Freshwater chlorophycean algae from the Beaufort, Laptev and Kara Seas (Arctic Ocean) as indicators of river runoff. / International Journal of Earth Sciences, 2000. – №89(3). – Pp470-485.
8. M. Kunz-Pirrung, "Dinoflagellate Cyst Assemblages in Surface Sediments of the Laptev Sea Region (Arctic Ocean) and Their Relation to Hydrographic Conditions," J. Quaternary Science 16 (7), 637-649 (2001).

### INDONESIAN TRIHEDI'S CHILDREN MAP DROWING: A SPATIAL CARTOGRAPHIC MISSION FROM ONE OF THE WINNERS OF BARBARA PETCHENIC AWARD

*Sukendra Martha*

*President of the Association of Indonesian Cartography (AIC) /*

*Researcher at National Coordinating Agency for Surveys and Mapping (BAKOSURTANAL),*

*P.O. Box 46/CBI*

*Cibinong, Indonesia*

*E-mail: [sukendra@bakosurtanal.go.id](mailto:sukendra@bakosurtanal.go.id)*

**Abstract.** The interesting missions from kids – drawing maps expressing their hopes about the world is different from one country to another. How the perception of kid's thinking about the world and drawing it into map is a kind of how to present their understanding of our Earth's surface. In 2000, Trihedi Oktianto (12), the Indonesian child who was student in Yogyakarta Elementary School won Barbara Petchenik Prize. It became special since his picture was related to the spiritual cartographic mission. His map drawing has actually had a spiritual messages through cartographic visualization. He drew that map including the Kaaba as a centre of his drawing. It's understood that the meaningful picture like this would motivate young people to know how to present map that can contribute understanding for the world in peace. Such picture drawing 'lambaian tangan' (hand weaving) for other people in other countries indicated the symbols of peace.

#### INTRODUCTION

The world of children is often said differently compared with the world of adult people. This is understandable because children, with the young ages, their limited experiences, it is not possible to have a similar perception with the adult people like us. However, it is interesting to know their perception about the world. In reality, representation of earth's pictures through the children map drawing was mostly based on the inspiration from their daily life activities. This inspiration is required by children having high motivation and creative thinking.

On the other hand, to help children in understanding map, there is an effort needed by geography teachers,