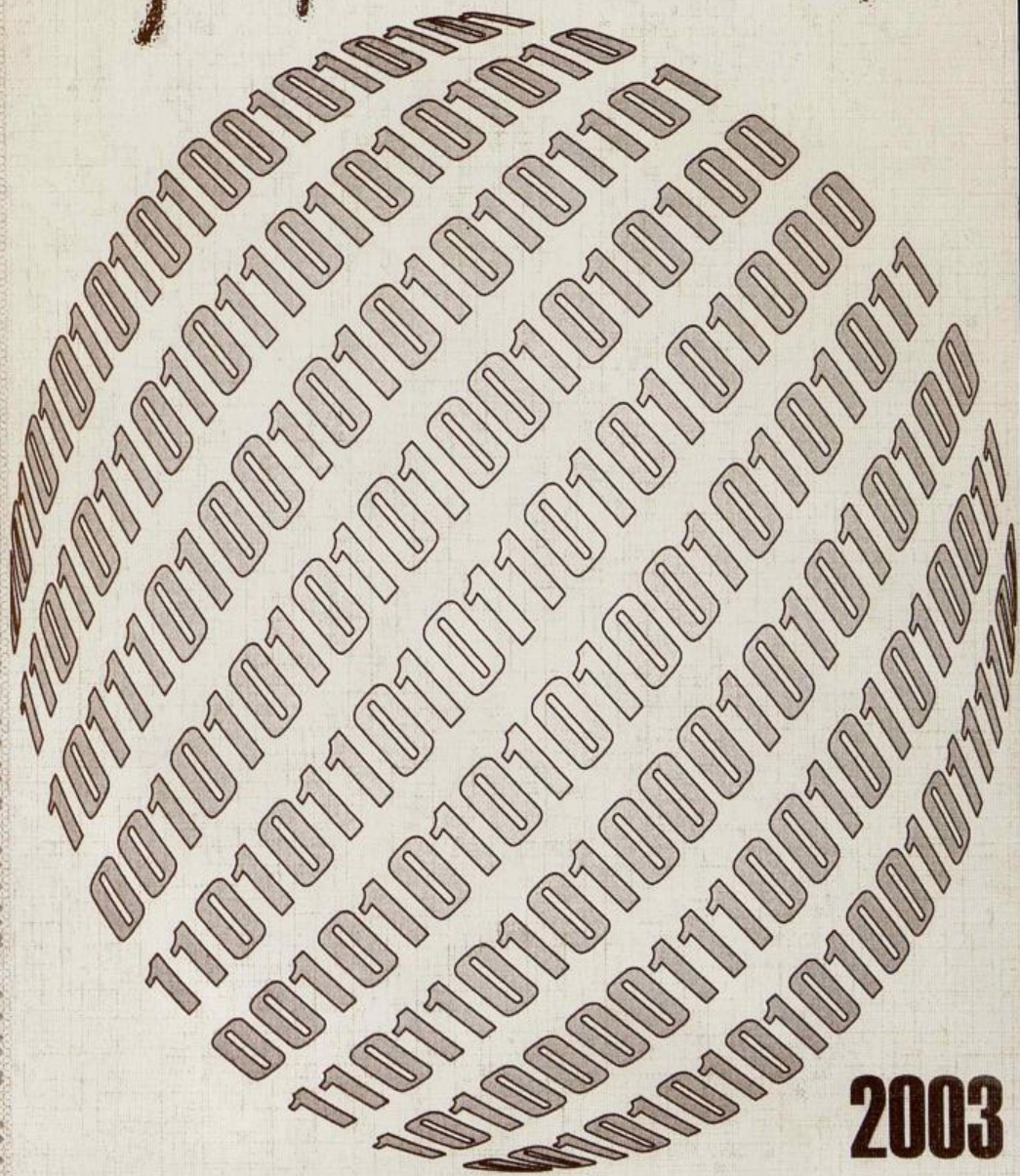


Информационные технологии
в гуманитарных исследованиях

5



2003

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ АРХЕОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

АССОЦИАЦИЯ "ИСТОРИЯ И КОМПЬЮТЕР"
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Выпуск 5

Ответственный редактор
Член-корр. РАН, доктор исторических наук Ю. П. Холушкин

Новосибирск
2003

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного научного фонда, Института "Открытое общество" (Фонда Сороса) и интеграционных программ Сибирского Отделения РАН

И 74 Информационные технологии в гуманитарных исследованиях:
Сборник трудов. Выпуск 5. Новосибирск: Новосибирский
государственный университет, 2003. 98 с.

Сборник посвящен памяти Петра Симоновича Ростовцева – видного специалиста в области применения информационных технологий в гуманитарных исследованиях. В издании излагаются подходы к подготовке, созданию, обработке и представлению информации в гуманитарных науках. Сборник рассчитан на гуманитариев, математиков и на широкий круг исследователей, интересующихся информационными технологиями в гуманитарных исследованиях и образовании.

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора	4
РАЗДЕЛ I. ПАМЯТИ НАШЕГО КОЛЛЕГИ.....	5
Холюшкин Ю.П., Воронин В.Т. Петр Симонович Ростовцев	5
Артемьев В.А. Объединенные файлы в количественном анализе социальных изменений	9
Костин В.С. П.С.Ростовцев: человек с большой буквы	10
Корнюхин Ю.Г. П.С.Ростовцев: жизнь, отданная людям	11
Ростовцева О.К. П.С.Ростовцев: жизненный и творческий путь (биографическая справка)	12
Ростовцева О.К., Ростовцева Д.П., Ростовцева Ю.П. П.С.Ростовцев: прекрасный муж, отец и человек	13
Казанцева Л.С. П.С.Ростовцев: профсоюзный лидер	14
РАЗДЕЛ II. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	16
Костин В.С., Нуртдинов А.Н., Жданов А.С., Корнюхин Ю.Г. Бета-регрессия как метод восстановления условного распределения случайной величины	16
Деревянко А.П., Холюшкин Ю.П., Воронин В.Т., Ростовцев П.С. Статистическое изучение технологических индексов мустьерских индустрий Кавказа и Ближнего Востока. Проблемы сопоставимости	27
Березин Д.Ю., Жилицкая Г.Ю. Попытка корреляции некоторых неолитических памятников на Нижней Ангаре на основе керамического материала	49
РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	58
Марчук А.Г., Холюшкин Ю.П., Загорюлько Ю.А., Воронин В.Т. Разработка новых методов и информационных технологий представления и обработки археологических и этнографических данных	58
Владимиров В.Н., Папин Д.В. Создание электронных научно- образовательных ресурсов по истории и археологии Юга Западной Сибири	63
РАЗДЕЛ IV. ГИС И КАРТОГРАФИЯ В АРХЕОЛОГИИ	67
Постнов А.В., Вергунов Е.Г. Применение спутниковых навигационных приёмников при проведении археологических исследований	67

ОТ РЕДАКТОРА

Очередной пятый выпуск сборника посвящен памяти одного из ведущих сотрудников сектора археологической теории и информатики Петру Симоновичу Ростовцеву. В должности старшего научного сотрудника П.С.Ростовцев активно участвовал в программе информатизации археологических исследований с 1993 года. Он разработал комплекс оригинальных алгоритмов, вычислительных процедур и схем, которые обеспечили многоэтапный анализ археологических данных по разным алгоритмам и правилам. Описание и теоретическое обоснование этих методов были опубликованы в ряде сборников научных трудов сотрудников сектора информатики и в коллективных монографиях, подготовленных сотрудниками САТИ. В основе созданных им алгоритмов анализа лежит комплекс взаимосвязанных идей: выявление структуры таблицы с помощью упорядочения строк и столбцов, нейтрализации неопределенных элементов таблицы, разбиение ее на связные области, построение и применение адекватного критерия качества разбиения, выбор последовательности процедур и критерия останова разбиения, алгоритмы перемещения границ, анализ матриц сопряженности, понятие и смысл автоматизации типологического группирования, построение критерия качества кластеризации для одномерного и многомерного случаев, для неколичественной переменной, устранение влияния малых групп, логика группирования, интерпретация результатов группирования, устойчивость выявленных структур, устойчивость в анализе структуры таблиц сопряженности, устойчивость при типологическом группировании и т.д. Описанный аналитический базис методологии статистического исследования объектов дополняется схемой применения в анализе данных метода повторной выборки с возвращением (bootstrap). Эти положения, теоретически обоснованные и сформулированные на языке алгоритмов и процедур, легли в основание новой методологии комплексного анализа, пригодной даже для «плохих» данных, какими являются данные археологических исследований.

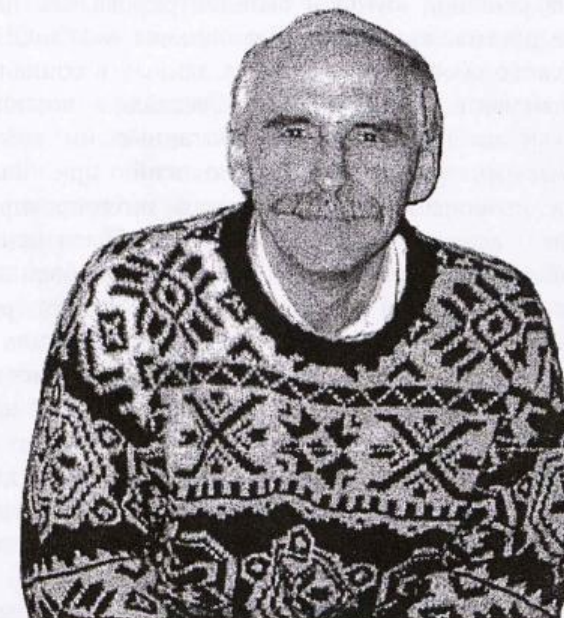
Второй раздел сборника посвящен применению методов статистического анализа в гуманитарных исследованиях. Статья В.С. Костина, А.Н. Нуртдинова, А.С. Жданова, Ю.Г.Корнюхина представляет собой развитие идей П.С.Ростовцева. В ней авторами ставится задача найти такой способ восстановления параметров Бета-распределения, который позволил бы максимально точно восстановить как отдельные значения, так и характер зависимости a и b от z , сведя к минимуму разрушительное действие статистического шума. В статье А.П. Деревянко, Ю.П.Холюшкина, П.С. Ростовцева, В.Т.Воронина рассматриваются проблемы применения методов структурного анализа палеолитических объектов Ближнего и Среднего Востока и Кавказа на основе анализа технологических индексов. Завершает раздел статья Д.Ю. Березина и Г.Ю.Жилицкой, в которой сделана попытка корреляции некоторых неолитических памятников на Нижней Ангаре на основе керамического материала.

Третий раздел сборника открывается статьей А.Г.Марчука, Ю.П.Холюшкина, Ю.А.Загорулько и В.Т.Воронина по проблемам разработки специализированного Интернет-портала, обеспечивающего ускоренный содержательный доступ к информационным ресурсам по археологии и этнографии. В основу портала знаний закладывается онтология, содержащая наряду с традиционным описанием предметной области соотнесенное с ним описание структуры и типологии соответствующих сетевых ресурсов. Значительно сократить время обработки запроса пользователя и количество выдаваемых ресурсов позволяет более точное определение их релевантности и хранение ссылок на них непосредственно на портале знаний, накапливаемых коллекционером онтологической информации о ресурсах. В статье В.Н. Владимирова и Д.В. Папина рассматриваются проблемы, связанные с наполнением русскоязычной части сети Интернет электронными ресурсами для исторической науки и образования.

Завершается сборник статьей А.В. Постнова и Е.Г. Вергунова, в которой авторы предлагают использовать возможности современных спутниковых технологий.



ПАМЯТИ НАШЕГО КОЛЛЕГИ



Холюшкин Ю.П. Петр Симонович Ростовцев
Воронин В.Т.

Прошел год после невосполнимой утраты для сектора археологической теории и информатики (САТИ) Института археологии и этнографии (ИАЭТ) СО РАН – кончины ведущего математика сектора Ростовцева Петра Симоновича. Мы потеряли доброго друга и редкой души человека. При его активном и плодотворном участии в Институте оформилось самостоятельное научное направление в археологических исследованиях – технология комплексного анализа данных на основе современных и оригинальных методов математико-статистических исследований. Впечатляющие итоги этих усилий зафиксированы в многочисленных публикациях сотрудников сектора, отражающих основные результаты исследований в этой области. Значительная часть научных публикаций написана Петром Симоновичем или в соавторстве с ним.

Однако многие результаты исследований сектора, в которых он принимал активное участие, еще не опубликованы. Мы намерены эту работу завершить. Сейчас готовится к изданию наиболее объемное издание, в котором представлены наиболее значимые результаты совместного труда П.С.Ростовцева и его коллег-археологов, обобщающие итоги коллективной работы за последние пять лет до его безвременной кончины.

В разработку основ технологии комплексного анализа данных в археологических исследованиях Петр Симонович включился в 1992 году. Он принял участие в этой инициативе на общественных началах, чтобы помочь археологам освоить и использовать возможности статистического пакета SPSS.

С образованием в Институте археологии и этнографии неструктурной научной группы информатики он влился в этот творческий коллектив в должности старшего научного сотрудника на правах совместителя.

Его основное место работы в течение многолетнего взаимодействия с археологами – Институт экономики и организации промышленного производства (ИЭиОПП) СО

РАН, отдел социально-экономических исследований. В этом Институте он проработал 30 лет вплоть до своей кончины и оставил там память о себе как прекрасной души человек и выдающийся исследователь и практик. Он прошел путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника, руководителя неструктурной группы. В последующих текстах этого раздела мы приводим рассказы о Петре Симоновиче, которые любезно предоставили нам его коллеги (социологи, экономисты и математики) из ИЭиОПП СО РАН и близкие в авторской редакции.

Главной задачей, на решении которой сконцентрировались научно-практические интересы и творческие достижения Петра Симоновича в ИЭиОПП СО РАН, стала разработка математического обеспечения анализа данных в социально-экономических исследованиях. Как отмечают в откровенных беседах и воспоминаниях о Петре Симоновиче его коллеги по институту, разработанные им методы, алгоритмы и программы автоматического построения типологий при анализе социально-экономических данных позволяют получать легко интерпретируемые результаты, автоматизируют многие аспекты анализа данных. Применение этих методов, доведенных до отработанных технологий и ориентированных на получение достоверных и надежных выводов и результатов, позволяет решать проблемные вопросы практически по всему спектру задач, соответствующих профилю научной деятельности многих отделов ИЭиОПП СО РАН. Разумеется, разработка и последующая доводка этого инструментария одному человеку не под силу. Нужен слаженный творческий коллектив, в котором его участники имели бы четкую специализацию и в то же время могли заменять друг друга. Ему удалось создать такую творческую группу. Эта группа, в которой создавалась и оттачивалась технология анализа социологических данных, стала единственной не только в Сибири, но и, пожалуй, в России.

Однако возможности использования результатов П.С.Ростовцева и его группы выходят далеко за пределы социально-экономической научной практики. Примеры их апробации в задачах анализа данных в археологических исследованиях показали, что они не имеют альтернативы для постановки и решения многих задач анализа данных и обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционно применяемыми методами в археологии, особенно в археологии палеолита.

В должности старшего научного сотрудника по совместительству П.С.Ростовцев принял участие в программе информатизации археологических исследований: сначала в группе информатики, а с 1995 года в составе сектора археологической теории и информатики (САТИ) Института археологии и этнографии СО РАН. Он разработал комплекс оригинальных алгоритмов, вычислительных процедур и схем, которые обеспечивают многоэтапный анализ археологических данных по разным алгоритмам и правилам.

Описание и теоретическое обоснование этих методов были опубликованы в двух сборниках научных трудов сотрудников группы информатики и в коллективной монографии, подготовленной сотрудниками САТИ. Исходные концепции и теоретические основы многоэтапного анализа данных описаны им в научной статье «Алгоритмы анализа структуры и типологического группирования в анализе археологических данных» (в соавторстве с Ю.Г.Корнюхиным, В.С.Костиным и Н.С.Смирновой, где вклад соавторов относится к программной реализации сформулированных и обоснованных П.С.Ростовцевым алгоритмов и схем). В основе алгоритмов анализа лежит комплекс взаимосвязанных идей: выявление структуры таблицы с помощью упорядочения строк и столбцов, нейтрализации неопределенных элементов таблицы, разбиение ее на связные области, построение и применение адекватного критерия качества разбиения, выбор последовательности процедур и критерия остановки разбиения, алгоритмы перемещения границ, анализ матриц сопряженности, понятие и смысл автоматизации типологического группирования, построение критерия качества кластеризации для одномерного и многомерного случаев, для неколичественной переменной, устранение влияния малых групп, логика группирования, интерпретация результатов группирования, устойчивость выявленных

структур, устойчивость в анализе структуры таблиц сопряженности, устойчивость при типологическом группировании и т.д.

Эти положения, теоретически обоснованные и сформулированные на языке алгоритмов и процедур, легли в основание новой методологии комплексного анализа, пригодной даже для «плохих» данных, какими являются данные археологических исследований. Ведь они характеризуются тем, что они уникальны (невоспроизводимы), существенно неполны и мало сопоставимы. Только многократный анализ по различным вычислительным схемам и алгоритмам при достаточной устойчивости и надежности его результатов может обеспечить обоснованность (валидность) его итогам.

Описанный аналитический базис методологии статического исследования объектов дополняется схемой применения в анализе данных метода повторной выборки с возвращением (BootStrap), описанного в статье Петра Симоновича «Значимость и устойчивость автоматической классификации – возможности исследования при анализе археологических данных». Петр Симонович отмечает, что «кластеры, замечательным образом найденные в первый раз и разумно описанные исследователем, после повторного сбора информации и применения кластерного анализа могут «рассыпаться» из-за случайности выявленной кластерной структуры. Это разрушение может произойти тогда, когда реальная кластерная структура может отсутствовать вообще (исследуемая совокупность однородна) или когда задано не соответствующее реальности число классов. Первое означает по сути однокластерную структуру совокупности». Благодаря методу BootStrap, имитирующему повторный сбор данных, можно оценить как устойчивость классификации в целом, так и устойчивость классов и отдельных объектов. Как отмечает П.С.Ростовцев, имитация повторного сбора данных предполагает, что данные представительны, т.е. их распределение близко к распределению генеральной совокупности. Для археологической информации это соответствует, к примеру, предположению о том, что данные отражают структуру каменной индустрии в заданной пространственно-временной точке. Если исходить из этого предположения, то выборка с возвращением из совокупности объектов будет имитировать вторичный сбор данных.

Эти идеи были обобщены и развиты в одном из разделов коллективной монографии «Математические методы в археологических реконструкциях», написанном П.С.Ростовцевым также совместно с Ю.Г.Корнюхиным, В.С.Костиным и Н.С.Смирновой с тем же распределением ролей. Описывается алгоритм кластеризации с оценкой качества разбиения в виде модификации известного локально-оптимального алгоритма минимизации доли остаточной дисперсии. Приведены примеры вычислительных экспериментов на основе археологических данных, проанализированы и обобщены их результаты. Эти примеры иллюстрируют применение на практике ключевых процедур комплексной технологии анализа данных в археологии.

Комплексная технология анализа была разработана сотрудниками САТИ в содружестве с Петром Симоновичем. Главная задача подобной технологии состоит в том, чтобы с помощью многократных вычислений по различным методологическим основаниям обеспечить надежность и устойчивость выводов в пользу принятия выдвигаемых гипотез или обоснованного отказа от них. Эта технология была отработана при реализации многолетней обширной программы археологических исследований, проводимой в САТИ по материалам публикаций по археологии палеолита Северной Азии и сопредельных территорий.

Что же дает археологам технология анализа данных, теоретическую основу которых разработал Петр Симонович?

Конечной целью этой технологии является создание аналитико-интерпретационной теории, позволяющей осуществлять количественный анализ данных по археологии палеолита для формирования, верификации и обоснования гипотез по организационной и распределительной вариативности археологических объектов.

Прошло полвека с того времени, как появилась статья Алберта Сполдинга

(Spaulding, 1953), предлагающая использовать в археологии современное статистическое мышление. Но лишь полтора десятилетия спустя это предложение нашло практическое применение, когда Льюис и Сэлли Бинфорд (Binford & Binford, 1966) применили многовариантный факторный анализ к исследованию мустьерских комплексов из южной Франции и Ближнего Востока. Для многих археологов нашего поколения (Read, 1989: 6-7) эти исследования продемонстрировали возможности количественных методов. При этом если А. Сполдинг стремился показать, что типы артефактов могут быть объективно определены и реконструированы, то при использовании Бинфордом факторного анализа уже принимался во внимание большой и сложный набор палеолитических данных. Это, по-видимому, имело смысл для создания функциональной модели сезонных изменений воздействия человека на окружающую природную среду. Методически эти две статьи находятся на разных полюсах: если модели Сполдинга ориентированы на простые количественные процедуры, то статья Бинфорда немедленно вызвала мистическое удивление своим комплексным подходом.

В настоящее время большая часть математических методов уже нашла применение в российской археологии. Однако они ограничиваются пока набором простейших дивизивных методов, основанных на евклидовой или линейной метриках.

Археологу зачастую приходится иметь дело с пестрящими цифрами полотнами таблиц, при общении с которыми в поисках интересных фактов и обобщения информации нужно обладать исключительной интуицией, трудолюбием и опытом. В технологии предусмотрены специально разработанные средства упорядочения неоднородной археологической информации и выявления ее структуры.

Эти средства дают возможность анализа всевозможных статистик, соответствующих ячейкам приводимых в монографии таблиц, не требуя выделения общей характеристики связи. При этом таблицы статистик, соответствующие ячейкам таблиц сопряженностей археологических комплексов, рассматриваются как матрицы сравниваемых между собой коэффициентов. Они предварительно подвергаются упорядочению перестановкой строк и столбцов, при которой строки (столбцы) рассматриваются как вершины графа и для этих вершин решается задача "коммивояжера" (Майника, 1983).

Дополнительно на этом этапе в качестве отдельных методов и инструментов, встроженных в технологию обработки информации, включены другие методы анализа данных:

- методы регрессионных моделей – для восполнения пробелов, пропусков и недостающих данных, когда пропущенные значения оцениваются с помощью регрессионного моделирования. Известно, что археологические данные характеризуются большим количеством пропусков. Это создает проблемы при анализе и интерпретации археологических комплексов, приводя к сильному различию статистических выводов, сделанных при наличии в археологических данных пропусков и при их отсутствии. В российской археологии проблема пропусков до сих пор практически не решалась;

- методы дисперсионного анализа – для выявления количественных связей между признаками объектов;

- методы факторного анализа и многомерного шкалирования – для выявления скрытых связей между объектами и признаками их описания. Метод главных компонент связан с представлением о пространстве, расстоянии и измерении. Используются три основные методологические идеи. Первая сводилась к тому, что объекты рассматриваются как точки в пространстве, расстояние между которыми принимается равным расстоянию между объектами. Вторая основная идея была связана с выбором системы координат, при которой исследуемое пространство может вращаться вокруг фиксированного центра равновесия. Третья идея основана на упрощении, т.е. на уменьшении числа показателей по сравнению с тем, которое требовалось для первоначального представления данных;

- методы группирования и кластерного анализа – для выделения кластеров и типов объектов – как средство исследования топологической структуры совокупности объектов. Обнаруженные этими методами «сгустки» объектов, называемые кластерами (таксонами, классами), позволяют сформулировать, в конечном итоге, гипотезы о логической структуре совокупности. В частности, этим методами можно изучать кластерную структуру множества археологических памятников по наличию и частоте встречаемости артефактов, исследовать информацию по другим совокупностям, представимым прямоугольными матрицами вида «объект-признак». Кроме этого, предусмотрен кластерный анализ таблиц с использованием логики группирования по множеству "независимых" переменных. При использовании кластерного анализа в классических вариантах такая логика группирования не дается.

Эффективность новой технологии анализа была показана при выполнении указанной выше программы исследований по материалам публикаций. Впечатляющим результатом выполнения этой комплексной программы, в которой Петр Симонович был задействован как один ее основных исполнителей, послужили публикации семи монографий и более двух десятков статей в научных журналах и обзорах и в сборниках научных трудов сотрудников сектора.

Трудно переоценить роль и значение вклада Петра Симоновича в развитие археологической науки, хотя безвременная кончина не позволила завершить многие его творческие замыслы, идеи и разработки.

Нам так же трудно свыкнуться с мыслью, что этот прекрасной души, бескорыстный и общительный друг и чрезвычайно талантливый и продуктивный коллега уже год как не с нами.

Литература:

- Ростовцев П.С., Костин В.С., Корнюхин Ю.Г., Смирнова Н.С. Алгоритмы анализа структуры и типологического группирования в анализе археологических данных // Методология и методика археологических реконструкций. Новосибирск: 1994. С. 59-66.
- Ростовцев П.С. Значимость и устойчивость автоматической классификации – возможности исследования при анализе археологических данных // Методы естественных наук в археологических реконструкциях. Новосибирск: 1995. С. 59-68.
- Binford L.R., and Binford S.R. A Preliminary Analysis of Functional Variability in the Mousterian of Levallois Facies // American anthropologist - 1966, № 68:238-295.
- Read D. Intuitive typology and automatic classification: Divergence or full circle? // Journal of Anthropological Archaeology, 1989, N 8: 158-188.
- Spaulding A. Statistical techniques for the discovery of artifact types // American Antiquity, 1953, v. 18: 305-313.

Артемов В.А. Объединенные файлы в количественном анализе социальных изменений

С П.С.Ростовцевым я был знаком давно. Под его руководством и при непосредственном участии уже в 80-е годы разрабатывалась программа ввода данных бюджетов времени и их обработки с использованием SPSS. Но непосредственно совместные работы и тесные контакты начались в середине 90-х гг.

Вначале это была первая попытка получения объединенного файла части анкетной информации.

Эта информация была собрана по результатам обследований бюджетов времени и условий жизни работающего населения г. Рубцовска (1980 и 1990 гг.). Думаю, что это был первый в нашей социологии опыт такой работы. Идея создания объединенных «динамических» файлов пришла П.С.Ростовцеву по душе и уму. Объединенные файлы представляют большие возможности для количественного анализа социальных изменений. Мы продолжили эту совместную работу на данных бюджетов времени сельских работников двух бисезонных обследований (1975-76 и 1993-94 гг.). Был подготовлен совместный доклад для конференции Международной ассоциации исследований использования времени (Стокгольм, 1997), а затем статья для «Социологических исследований». Кстати, ее весьма положительно оценила

специалистка «бюджетно-количественного» профиля д.с.н. Г.Г.Татарова, которая намеревалась быть оппонентом докторской диссертации П.С.Ростовцева.

В дальнейшем, пользуясь методикой, разработанной под руководством и при непосредственном участии П.С.Ростовцева, мы смогли создать объединенный анкетно-бюджетный файл данных всех четырех бисезонных обследований сельских жителей (кроме упомянутых, в него включены данные 1986-87 и 1999 гг.).

П.С.Ростовцев всегда и с готовностью откликался на разного рода просьбы, не выбирая из них только те, которые соответствовали уровню его высокой квалификации и могли быть ему интересны. Он старался познакомить нас, социологов, со своими находками, новыми программами, надеясь на их использование в нашей социологической практике.

Но нам надо упрекнуть себя в том, что как-то тактично, но убедительно мы не смогли умерить его рабочую нагрузку. Бывало, уходишь вечером домой, а он идет из НГУ в институт. Если ты задержишься в институте до 7-8 часов вечера и у тебя возникнет какой-нибудь вопрос, идешь к «математикам» (как мы в обиходе называем группу П.С.Ростовцева). Наверняка знаешь, что застанешь и самого Петра Симоновича, и всю его команду и получишь необходимую помощь.

Эта обязательность, полная отдача свойственна и всем работавшим, и сейчас работающим в группе П.С.Ростовцева, когда его уже нет. Так что его дело живет и развивается.

Костин В.С. П.С.Ростовцев: человек с большой буквы

Сейчас наука в России не кормит своих приверженцев. Многие были вынуждены оставить это неблагодарное занятие. Петр Симонович, казалось, никогда и не задумывался о том, чтобы выбрать себе более легкий хлеб. Конечно, коммерсант бы из него все равно не вышел. Он мог говорить, что без денег жить нельзя на свете. Но он не ценил зарботки настолько, чтобы отказаться от любимого дела и оставить тех, кому помогал и кто на него надеялся. Здесь были его идеи, работали его методы и программы, здесь он был нужен.

Когда я смотрел, как он отдавал себя работе, то не мог понять, как нормальный человек может постоянно выдерживать такой темп. И это после того, как он перенес два инфаркта. Но остановить его не было никакой возможности. Только вечером, когда все запланированное на день, было сделано, можно было застать его за компьютером, играющим в "Lines". Мне кажется, он черпал силы в том, что создавал. Когда новая идея начинает работать, и работать так, как задумано, — это доставляет ни с чем не сравнимое удовольствие, дает огромную энергию. Петру Симоновичу повезло: он создал не один и не два новых метода. Он помогал стольким людям. Человеческая благодарность — тоже мощный источник энергии. Тем более, что он, казалось, никогда и ни с кем не конфликтовал. Его невозможно представить ни хмурым, ни злым, ни рассерженным. Отрицательным эмоциям, казалось, было не за что в нем зацепиться.

Со своей болезнью он не мирился, — активно боролся. Всегда по утрам шел из дома в институт пешком. А это три с половиной километра, да еще в горку. Обычно появлялся на работе рано. Но бывало иногда, придет часам к одиннадцати: "я тут с утра решил на лыжах пробежаться. До чего хорошо! Километров десять прошел". По вечерам, начиная с мая и до сентября, уходил чуть пораньше: "пойду, булькну". Это означало, что он доедет до Обского моря, поплывет минут 15-20 и домой. А дома еще перед сном занятия с компьютером английским языком.

В рабочем столе у него все время лежало несколько припасенных заранее подарков. Ни один день рождения не мог застать его врасплох. Не раз ему приходилось за какие-нибудь полчаса или час сочинять поздравительную оду. Конечно, это были не Стихи с большой буквы, но в них всегда было и доброе отношение к адресату, и мягкий юмор, и самоирония.

Готовился к занятиям в университете перед самым выходом. Каждый год придумывал студентам новые задачки. Поздно вечером придумает, а утром набивает на компьютере и распечатывает на матричном принтере. Берег лазерный. Когда на

грантовские деньги мы закупали оборудование, он себе оставлял самую слабую технику. Оправдывался так: "Я только тексты пишу, а вам, программистам, хорошая машина нужнее". Он вообще всегда о других больше думал, чем о себе. Мне родные часто говорили: "Ну что ты сидишь в этом институте на мизерной зарплате? Вон сколько мест, где больше платят!". В конце концов, я попробовал уйти в коммерческую фирму. Но больше года не выдержал! Я понял, что та удивительная атмосфера, которая царила в нашей группе благодаря Петру Симоновичу, его уникальным человеческим качествам, притягивает обратно, оказывается для меня важнее денег.

В научной работе он никогда не позволял себе суеты. Если он публиковал какой-нибудь результат, можно было не сомневаться, что все многократно проверено. Если же он вставлял какую-нибудь тему в план института или оформлял заявку на грант, значит, у него уже все было продумано, успех выполнения был гарантирован. Так получилось и с его последним грантом по бета-регрессии. 1 марта 2002 года пришла открытка из Российского Гуманитарного Научного Фонда с решением одобрить проект. Опоздала на 14 дней... Он не успел приступить к разработке своего последнего метода. И нам пришлось решать вопрос: сможем ли выполнить запланированные работы или же придется отказаться от гранта в связи со смертью автора заявки и руководителя научного коллектива. Но, как и всегда, оказалось, что все необходимое для начала он уже продумал и даже описал в статье и опубликовал! Мы нашли в статье и все необходимые формулы, и теоретическое обоснование метода. А в файлах его директории обнаружили расчеты, которые он делал для статьи. После этого сомнений в успешном выполнении начатого не осталось.

Невозможно поверить в случившееся. По утрам, проходя по коридору мимо его комнаты, я невольно проверяю, не пришел ли он раньше меня. И лишь потом осознаю, что это невозможно. Приходится жить с тем, что предназначено судьбой. Но в наших силах сделать так, чтоб в этой жизни даже самое печальное не тянуло нас назад, а переплавлялось в светлое и чистое.

Теперь мне кажется, что умер он не от инфаркта, а просто на «отлично» выполнил свое земную миссию. На Земле таких людей немного. Они появляются как гости из другого мира, чтобы мы почувствовали, как хорошо может стать на нашей планете, если каждый человек станет действительно Человеком. И их забирают в тот момент, когда эта потеря отзовется в очень многих сердцах, сделает людей лучше и чище. Сам Петр Симонович не верил в бессмертие души. Но мне хочется надеяться: сейчас глаза его открыты и, ему дарованы отдых и награда за его земную жизнь.

Корнюхин Ю.Г. П.С.Ростовцев: жизнь, отданная людям

Удивительно, как много может сделать один человек, если он действительно день изо дня старается сделать что-то реальное, нужное людям. Именно таким человеком был Петр Симонович Ростовцев. При этом определяющими для него всегда были потребности людей, а не личные научные интересы.

В начале 80-х годов отдел социологии нашего института перешел на использование в основной массе расчетов пакета SPSS, как более быстродействующего и универсального по сравнению с имевшимися к тому времени программами нашей разработки. Но и с этим пакетом проблема эффективного использования вычислительных ресурсов оставалась острой. Например, вычисления в SPSS производились над полной копией данных, даже если в расчетах были заняты всего два-три признака из нескольких сотен. Потери времени из-за этого были огромные. Петр Симонович разработал свою систему хранения массивов информации и подключения нужных признаков к расчетам. Даже имеющие иерархическую структуру данные хранились в ней предельно компактно, без дублирования. А для расчетов динамически формировался временный массив, в который на основе предварительного анализа счетного задания включались только необходимые признаки. В эту, казалось бы, рутинную, — не для ученого — задачу Петр Симонович вложил всю свою

изобретательность и тщательность. В результате скорость прохождения счетных заданий повысилась во много раз.

И какой момент из работы рядом с ним ни вспомнишь, всегда он был нацелен на новую проблему, решение которой обещало не меньшую отдачу. И всегда спокойно, последовательно, без суеты добивался результата. Дерево типологического анализа, «черно-белый» анализ, исследование свойств Z-критерия, автоматизированный анализ таблиц сопряженности, собственный метод сглаживания одномерных распределений («Camel»), огромная методическая и организаторская работа по освоению и популяризации SPSS... Всего не охватить, даже упоминая через две работы третью. Одна задача заканчивалась - и тут же на первый план выходила другая. Причем позднее почти всегда оказывалось, что на один и тот же отрезок времени приходится сразу несколько полновесных добротных результатов, что параллельно с любой текущей задачей Петр Симонович столь же последовательно и методично работал над чем-то еще. Например, - работа по профсоюзной линии, в пользовательской комиссии, рутинные процедуры по продвижению гранта или работы по заданию администрации института и т. д. Пришлось ему как-то провести анализ движения кадров... Эти расчеты потом не раз вспоминали, жалея, что после них не осталось достаточно универсальной программы.

Возможно, Петр Симонович был не очень хорошим начальником. Никогда не требовал, не наказывал, не умел жестко проводить свою политику в группе исполнителей. Поэтому у него никогда не было исполнителей, были соавторы. Невыносимо для совести пренебрегать работой, когда первый и единственный вопрос при опоздании на работу - сдержанно встревоженное: «у Вас ничего не случилось?». И это не наивность, просто такой была его первая мысль и забота.

Он не пытался волевым решением перенаправить нас, когда мы увлеклись программой ввода, потратив на ее развитие и «вылизывание» более года. Наоборот, активно и заинтересованно участвовал в ее обсуждении, делясь собственным опытом и пытаясь извлечь из несколько побочного увлечения сотрудников максимум. Программа, которая получилась, при всех своих недостатках продолжает использоваться, спустя уже более десятилетия, пережив по крайней мере на семь лет свой «родной» век DOS. Да, Петр Симонович не был в строгом смысле слова начальником, но при нем расцвели инициатива и творчество, сохранялась идеальная для работы атмосфера в коллективе.

Очень тяжело, когда уходят такие люди. За нами остается огромный долг восполнить образовавшуюся брешь, чтобы с уходом Петра Симоновича в мире не стало темнее...

Ростовцева О.К. П.С.Ростовцев: жизненный и творческий путь (биографическая справка)

Ростовцев Петр Симонович родился 2 апреля 1950 г.

В 1972 году окончил механико-математический факультет Новосибирского университета и был направлен на работу в ИЭиОПП СО АН СССР. Работал в должностях стажера-исследователя, инженера, старшего инженера, младшего научного сотрудника, научного сотрудника, с апреля 1988 г. в должности старшего научного сотрудника, с 1997 г. ведущим научным сотрудником. Общий стаж работы - 35 лет, стаж работы в ИЭиОПП СО РАН - 30 лет.

Основным направлением работы П.С.Ростовцева в ИЭиОПП была разработка математического обеспечения анализа данных в социально-экономических исследованиях. Разработанные им методы, алгоритмы и программы автоматического построения типологий при анализе социально-экономических данных дают возможность ставить и решать новые задачи анализа данных и позволяют получать легко интерпретируемые результаты.

Методы и алгоритмы, разработанные П.С.Ростовцевым использованы в различных областях социологии и экономики: для исследования образа жизни сельского

населения, внутризаводского движения рабочих кадров, для выявления социально-гигиенических факторов риска бронхо-легочных заболеваний, для исследования перспективности месторождений вольфрама, проблем адаптации рабочих кадров в нефтяной промышленности, исследования проблемы занятости в районах Омской области, исследования депрессивных регионов РСФСР и др.

С использованием его разработок защищен ряд кандидатских и докторских диссертаций, эти разработки постоянно используются в дипломных работах студентов ЭФ НГУ.

П.С.Ростовцев многократно участвовал во многих научных конференциях, семинарах, симпозиумах - от регионального до международного уровней.

На основании своих научных результатов П.С.Ростовцев в 1986 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.10 - управление в социальных и экономических системах. Под его руководством работала, вероятно, единственная в России группа, разрабатывающая математическое обеспечение и методы анализа социологических данных.

Им опубликовано более 60 печатных работ. В их числе ряд монографий, 2 учебных пособия. Он являлся членом редколлегии журнала «Методика, Методология и Математические Методы в социологии», г. Москва (4М). Значительную часть времени П.С.Ростовцев уделял консультациям по вопросам обработки данных для сотрудников отдела и Института.

Вместе с руководимой им группой он сотрудничал с рядом отделов ИЭиОПП: отделом планирования многоотраслевых комплексов и отраслей, отделом территориальных систем, отделом управления социально-экономическими процессами региона и др., а также с сектором археологической теории и информатики Института археологии и этнографии СО РАН. Он являлся членом Научных советов отдела социальных проблем, отдела экономической информатики. П.С.Ростовцев осуществлял руководство группой методов обработки информации при отделе социальных проблем. Под его руководством выполнялся научный проект «Автоматизация типологического исследования социально-экономических процессов», финансируемый Российским фондом гуманитарных исследований (№ 95-06-17638), а также проект «Математико-статистическое образование студентов гуманитарного направления в Новосибирском университете», финансируемый институтом «Открытое общество» Дж. Сороса (№ 96-104-140696-1306). В качестве основного исполнителя он также принимал участие в ряде других проектов.

С 1980 г. он был преподавателем на экономическом факультете НГУ, где читал основные курсы лекций по теории вероятностей, математической статистике и анализу данных, а также проводил семинары и практические занятия для студентов-социологов.

Таковы фрагменты и факты насыщенной биографии Петра Симоновича, зафиксированные в документах (характеристиках, представлениях на присвоение ученых званий и т.д.).

Ростовцева О.К. Ростовцева Д.П. П.С.Ростовцев: прекрасный муж, отец и человек Ростовцева Ю.П.

Коллеги и товарищи Петра Симоновича Ростовцева с большим теплом отзываются о нем, отмечая его блестящий ум, отзывчивость и бескорыстное желание помочь всем, кто бы из них к нему ни обращался. Для нас же он был и остается просто папа и просто Петя.

Человека можно хорошо понять, увидев его семью. Петр Симонович создал замечательную, здоровую семью. Прожив двадцать шесть лет с любимой и единственной женой, он вырастил двух прекрасных дочерей.

В семейной жизни он был исключительно спокойным, мягким и даже кротким человеком. Любому конфликту он предпочитал компромисс, никого не тиранил и

ничто не навязывал. Воспитывая дочерей, старался их не ограничивать, а наоборот, давал как можно больше свободы и возможности «найти себя» самостоятельно. Он учил дочерей не ограничивать собственный рост, не занижать «планку» и не бояться трудностей («Не боги горшки обжигают!»). Сейчас обе дочери создали собственные семьи и нашли себе профессии по душе: старшая Юлия завершает процесс поступления в интернатуру престижной медицинской школы в США, а младшая Даша ведет исследования в области социальных услуг и работает с «трудными» подростками и их семьями.

Петр Симонович был чрезвычайно неприхотливым в быту и мог обходиться самым малым. К излишествам и роскоши он был совершенно равнодушен, и его желание много работать никогда ими не было мотивировано. Однако он всегда заботился о том, чтобы его семья не бедствовала и была обеспечена всем необходимым.

На праздниках, в компании друзей он был незаменим, как и везде. Он с удовольствием распевал песни из «В нашу гавань заходили корабли», играл на гитаре и произносил иронические тосты в честь именинников.

Одним из немногих его хобби было виноделие. Каждую осень он закупал на рынке килограмм по двадцать-тридцать перезрелого винограда и потом целый вечер проводил на кухне, выжимая сок из спелых ягод, при этом непременно напевая и забрызгивая все вокруг сладким соком. Но зато зимой, когда вино поспевало, он выставлял на праздничный стол бутылочку ароматного домашнего напитка. Или захватывал бутылку «своего» (как он его называл) на работу, чтоб и коллеги тоже могли пригубить и оценить его творение. Иногда по вечерам в обычные дни он принимался дрессировать нашего пожилого кота и даже научил его подавать лапчатку. Но работа, конечно, была его самым большим увлечением и хобби.

Хотя надо признаться, его безмерная погруженность в работу, по меньшей мере, последние десять лет сильно тревожила нас. Пренебрегая некрепким здоровьем, он не позволял себе «сбавлять скорость» и по двенадцать-пятнадцать часов пропадал на работе. Никакие уговоры не могли убедить его бережнее относиться к себе. Даже приходя домой, он продолжал работать: или брал в руки книгу с последними публикациями по статистике, или начинал готовиться к лекциям в университете, или принимался за изучение английского. Такая нагрузка и здоровому-то человеку была бы не под силу, но он по-другому, видимо, не мог. Теперь уже нет смысла задавать себе вопрос, кто виноват в том, что он так скоро сгорел: он сам выбрал для себя эту дорогу. И он, по-видимому, считал ее самой правильной...

Прошел уже целый год с тех пор, как его не стало. Но каждый день, каждый час разные мелочи напоминают нам о том, что его больше нет с нами. И до сих пор в это как-то не верится. Кажется, вот-вот зашуршит ключ в двери, и он войдет.

Казанцева Л.С. П.С.Ростовцев: профсоюзный лидер

Приближались переборы профсоюзного комитета института. Много хотелось изменить в профсоюзной работе, возродить старые традиции и понемногу прививать новые. Очень хотелось, чтобы наши сотрудники чувствовали внимание и заботу о них со стороны профкома. Поэтому с большой тщательностью подбиралась команда для избрания в новый состав.

Когда я поделилась с коллегами, какими я вижу членов профкома – максимально доброжелательными к людям, очень ответственными, готовыми добровольно поработать на благо коллектива, – тогда почти сразу несколько человек назвали имя Петра Симоновича Ростовцева.

При первом же знакомстве мы, мне кажется, оценили друг друга и «подошли» друг другу. Договорились поработать вместе:

Петр Симонович согласился возглавить производственную комиссию и стать первым замом председателя профкома.

Работать с ним было удивительно легко. Мы очень хорошо понимали друг друга. Часто, прежде чем обсудить вопрос с членами профкома или с дирекцией, мы подолгу

анализировали все ситуации со всех сторон, проигрывали возможные варианты решения проблем. И почти всегда наши мнения совпадали.

Спокойный, доброжелательный, слегка ироничный, он легко общался с людьми. Без суеты и громкой саморекламы он брался за сложные дела и делал то, что для этого было необходимо. Я училась у него этому.

Так, в институте долгие годы не проводилась аттестация рабочих мест. Наконец, по инициативе профкома, был издан соответствующий приказ, создана комиссия из представителей дирекции и профкома, Петр Симонович стал в ней зам.председателя. Со стороны администрации (за редким исключением) работа комиссии свелась к чисто символической, а вот свою часть П.С.Ростовцев с членами профкома выполнил грамотно, обстоятельно и в срок. По итогам аттестации планировались серьезные мероприятия. Но их итоги мы подводили уже без него...

В нашей памяти Петр Симонович останется навсегда невероятно добрым и мягким человеком. Добрым светом лучились его глаза, доброй была его непрменная улыбка, добротой он щедро делился с другими людьми. Его очень любили. А он, много делая для коллектива, постоянно как бы оправдывался, что многое, мол, еще не успел, что еще не все сделал, что мог бы. Потому что Петр Симонович был также невероятно совестливым и скромным человеком. Этому мы продолжаем учиться у него.

Посмотри, любезный читатель, мой снимок (размещенный под заголовком данного раздела). Эту фотографию мне довелось сделать на заседании профсоюзного кабинета незадолго до его кончины. Да, он был светлый человек. И наша память о нем тоже светлая.

Костин В.С.

Нуртдинов А.Н. Бета-регрессия как метод восстановления

Жданов А.С. условного распределения случайной величины

Корнюхин Ю.Г.

Распределение случайной величины дает наиболее полное статистическое описание наблюдаемых объектов. В работе рассматривается метод восстановления функции условного распределения случайной величины x путем ее аппроксимации Бета-распределением. Коэффициенты Бета-распределения a и b отыскиваются в виде функций от произвольного параметра z . Зависимости $a(z)$ и $b(z)$ аппроксимируются одномерными кубическими сплайнами. Определение оптимальной степени сглаживания рассматривается как статистическая задача о распределении регрессионных остатков. Регрессионные остатки измеряются значимостью отклонения эмпирического условного распределения от теоретического (восстановленного) по непараметрическому тесту Колмогорова-Смирнова. Возможности метода проверяются на специально сгенерированных тестовых выборках различного объема.

Постановка задачи

Данная работа является развитием идеи П.С.Ростовцева [1, с. 121-122] и поддерживается грантом РГНФ №02-02-00216а.

Входными данными для рассматриваемого метода восстановления двумерного распределения является выборка из N наблюдений, описываемая случайными величинами x и z . Предполагается, что x изменяется в интервале $(0,1)$ и условная плотность распределения $f(x|z)$ может быть аппроксимирована Бета-распределением с параметрами $a(z)$, $b(z)$:

$$f(x|z) = \frac{x^{a(z)-1}(1-x)^{b(z)-1}}{B(a(z), b(z))} \quad (1)$$

Зависимость параметров a и b от z может быть достаточно сложной. Поэтому для ее восстановления необходимо выбрать класс функций, позволяющий строить приближение практически любой функции и при этом полностью контролировать точность аппроксимации. С учетом этих требований мы выбрали кубические сплайны, математический аппарат построения которых описан в [2, с.54-58 и 3, с. 194-213], а программный код открыто выложен в интернете [4].

Первым шагом восстановления двумерного распределения является выбор значений z_i , $i=\{0, 1, \dots, m\}$, которые разбивают весь диапазон изменения z на интервалы (z_{i-1}, z_i) . Число интервалов выбирается, исходя из двух противоположных требований. Во-первых, каждый интервал должен быть достаточно широким (содержать много наблюдений), чтобы получить хорошие оценки значений a_i и b_i . Во-вторых, интервалы не должны быть широкими, чтобы не терять информацию о зависимости a и b от z в процессе усреднения. Итак, следует избегать как слишком малого числа интервалов, так и слишком большого.

Кроме количества интервалов, необходимо выбрать и способ разбиения. Здесь существует, по крайней мере, два решения.

Во-первых, сетка с равномерным шагом, где шаг сетки:

$$h = (z_m - z_0) / N \quad (2)$$

Во-вторых, сетка с равнонаполненными ячейками, где объем i -ой ячейки:

$$N_i = \frac{N - \sum_{k=1}^{i-1} N_k}{m - i + 1} \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (3)$$

Процедура разбиения немного усложняется в том случае, когда наблюдения с одним и тем же z оказываются в разных ячейках.

Если наблюдения распределены равномерно по z , то имеет смысл выбрать равномерную сетку, если же нарушения равномерности существенные, то лучшим вариантом будет разбиение по квантилям.

После разбиения выборки на ячейки по z , можно переходить к вычислению a_i и b_i для каждой ячейки $i = \{1, \dots, m\}$. Получить оценки параметров a_i и b_i проще всего методом моментов:

$$a_i = \bar{x}_i(\bar{x}_i(1 - \bar{x}_i) / s_i^2 - 1) \quad (4)$$

$$b_i = (1 - \bar{x}_i)(\bar{x}_i(1 - \bar{x}_i) / s_i^2 - 1) \quad (5)$$

где \bar{x}_i - выборочное среднее x , а s_i^2 - выборочная дисперсия (смещенная).

Альтернативный способ получить оценки a и b основан на процедуре максимизации функции правдоподобия, имеющей смысл вероятности совместного наблюдения выборочных данных x_j при имеющейся плотности распределения (1):

$$L_i = \prod_{j=1}^{N_i} x_{ij}^{a(z_i)-1} (1 - x_{ij})^{b(z_i)-1} / B(a(z_i), b(z_i)) \quad (6)$$

Учитывая ограничения точности и диапазона представления чисел в компьютере, удобнее оптимизировать не саму функцию правдоподобия, а ее логарифм, вместо произведения накапливая суммы:

$$\ln L_i = \sum_j (a(z_i) - 1) \ln x_{ij} + \sum_j (b(z_i) - 1) \ln(1 - x_{ij}) - \sum_j \ln(B(a(z_i), b(z_i))) \quad (7)$$

Генерация исходных данных

Для проверки работоспособности метода необходимо большое количество выборок с точно известным распределением в генеральной совокупности. Отсутствие реального источника данных требуемого объема, разнообразия и качества вынуждает обратиться к альтернативному источнику - методу Монте-Карло, то есть искусственной генерации данных с использованием датчика псевдослучайных чисел. Такой подход хорош тем, что позволяет практически мгновенно получать выборки произвольного размера, в точном соответствии с теоретически заданными параметрами распределения на генеральной совокупности.

Процедура генерации выборки включает следующие шаги:

1. Задание границ изменения z : (z_{min}, z_{max}) .
2. Задание функциональной зависимости $a(z)$ и $b(z)$.
3. Задание объема выборки N .

Генерация каждого из N наблюдений:

4. Генерация псевдослучайного числа z в интервале (z_{min}, z_{max}) .
5. Определение параметров Бета-распределения по z : $a(z)$ и $b(z)$.
6. Генерация псевдослучайного числа P в интервале $(0, 1)$. Здесь P имеет смысл вероятности.
7. Определение x , при котором интегральная функция распределения принимает значение P :

$$F(x, z) = \int_0^x f(t, z) dt = \int_0^x \frac{t^{a(z)-1} (1-t)^{b(z)-1}}{B(a(z), b(z))} dt = P \quad (8)$$

8. Добавление полученных значений $\{z, x\}$ к выборке.

Проиллюстрируем выполнение этой процедуры на примере.

1. Границы изменения z :
 $\triangleright z_{min} = 0, z_{max} = 100.$
2. Зависимости $a(z)$ и $b(z)$:

$$\triangleright a(z) = 0.5 + 0.05 \cdot z \quad (9)$$

$$\triangleright b(z) = 5.5 - 0.05 \cdot z \quad (10)$$

3. Объем выборки N :

$$\triangleright N = 400$$

❖ Генерируем первое из 400 наблюдений (см. рис. 1):

4. Генерируем случайное число z в интервале от 0 до 100:

$$\triangleright z = 73.009$$

5. Определяем параметры Бета-распределения:

$$\triangleright a(73.009) = 0.5 + 0.05 \cdot 73.009 = 4.150$$

$$\triangleright b(73.009) = 5.5 - 0.05 \cdot 73.009 = 1.850$$

6. Генерируем случайное число P в интервале от 0 до 1:

$$\triangleright P = 0.354463126$$

7. Определяем x , при котором интегральная функция распределения принимает значение $P = 0.354463126$:

$$\triangleright x = 0.6394$$

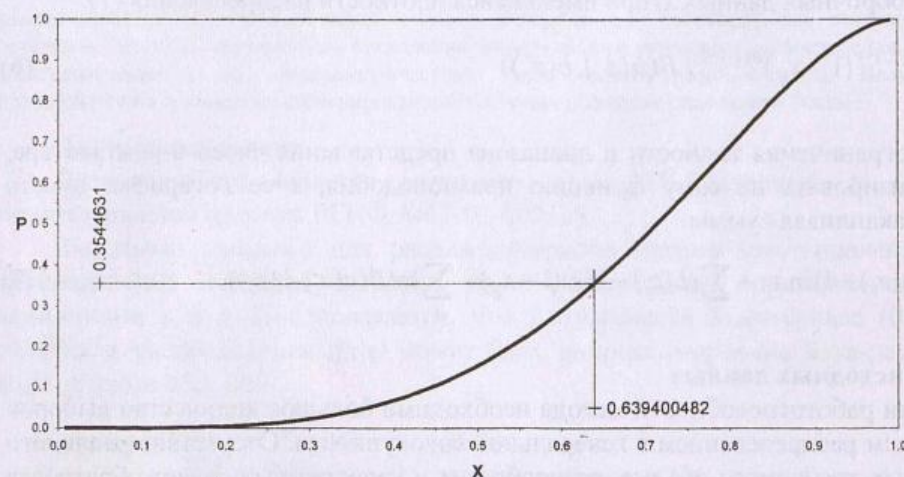


Рис. 1. Преобразование равномерно распределенного случайного числа P в наблюдаемое значение x по Бета-распределению $F(x, a(z), b(z))$

8. Добавляем полученные значения $\{z=73.009, x=0.6394\}$ к выборке (рис.2):

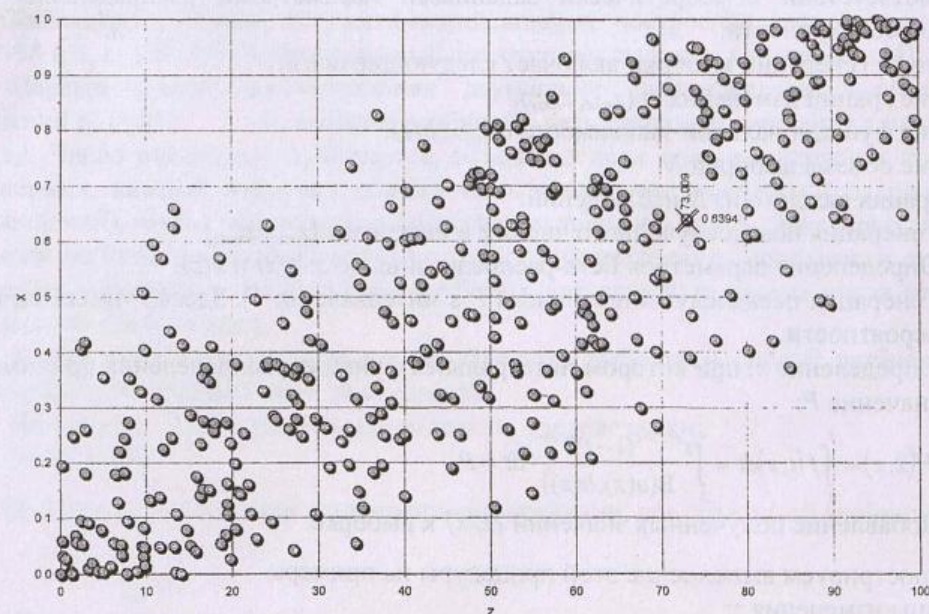


Рис. 2. Выборка из 400 наблюдений по Бета-распределению с параметрами (9, 10). Крестиком обозначено наблюдение $\{z=73.009, x=0.6394\}$.

Разбиение на интервалы и оценивание параметров распределения

Как уже было сказано выше, первым шагом восстановления двумерного распределения является задание сетки $z_i, i=\{0,1, \dots, m\}$. Здесь $z_0 = z_{\min}$, а $z_m = z_{\max}$. Количество ячеек m должно быть таким, чтобы внутри каждой ячейки было достаточно наблюдений для вычисления a_i и b_i . Если сетка с постоянным шагом не позволяет вычислить параметры во всех ячейках, можно, во-первых, уменьшить m , увеличив наполненность ячеек, а во-вторых, перейти к сетке с равнонаполненными ячейками. В этом случае z_i определяется как значение квантиля i/m .

После того, как интервалы будут получены, можно приступить к расчету a_i и b_i . Для этого достаточно вычислить на каждом интервале среднее значение \bar{x}_i и смещенную оценку дисперсии s_i^2 :

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_j x_{ij} \quad (11)$$

$$s_i^2 = \frac{1}{n_i} \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (12)$$

После этого можно рассчитать a_i и b_i , применив формулы (4) и (5). Если мы хотим получить оценки методом максимального правдоподобия, необходимо найти максимум логарифма функции правдоподобия (7). А в качестве начального приближения при поиске максимума можно воспользоваться только что полученными (методом моментов) оценками a_i и b_i .

При разбиении приведенной выше выборки на 10 равных интервалов мы получим следующие результаты (см. таблицу и рис. 3 ниже):

$Z_{i-1}-Z_i$	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
N_i	46	41	35	33	39	52	44	31	37	42
\bar{z}_i	5.11	15.56	25.17	35.57	44.86	54.20	64.87	75.51	85.08	94.79
\bar{x}_i	0.130	0.239	0.300	0.379	0.510	0.562	0.585	0.767	0.769	0.899
s_i^2	0.019	0.032	0.021	0.035	0.031	0.042	0.033	0.028	0.033	0.012
a_i^z	0.755	1.278	1.759	2.279	2.743	3.210	3.744	4.275	4.754	5.239
a_i^{moment}	0.638	1.099	2.695	2.145	3.581	2.737	3.718	4.201	3.418	6.129
a_i^{maxL}	0.563	0.853	2.442	2.262	3.748	2.900	3.516	5.162	3.396	6.081
b_i^z	5.245	4.722	4.241	3.721	3.257	2.790	2.256	1.725	1.246	0.761
b_i^{moment}	4.265	3.503	6.299	3.508	3.438	2.129	2.637	1.275	1.024	0.692
b_i^{maxL}	3.860	2.839	5.786	3.663	3.634	2.295	2.439	1.599	1.001	0.682

где $Z_{i-1}-Z_i$ – границы ячейки, N_i – число наблюдений в ячейке, \bar{z}_i – среднее значение z в ячейке, \bar{x}_i – среднее значение x в ячейке i , рассчитанное по формуле (11), s_i^2 – смещенная оценка дисперсии в ячейке (12), a_i^z – теоретическое значение, рассчитанное по формуле (9), a_i^{moment} – оценка a_i по методу моментов (4), a_i^{maxL} – оценка a_i по методу максимального правдоподобия, b_i^z – теоретическое значение, рассчитанное по формуле (10), b_i^{moment} – оценка b_i по методу моментов (5), b_i^{maxL} – оценка b_i по методу максимального правдоподобия. Как видно из таблицы и рисунка, параметры распределения, восстановленные по случайной выборке, достаточно сильно отклоняются от теоретически заданных. Видно, что не сохраняется монотонность изменения параметров распределения. Иными словами, в восстановленном таким путем двумерном распределении слишком велик уровень статистического шума, который не позволяет увидеть теоретически заложенной в выборке линейной зависимости a и b от z . Этот шум обусловлен случайным характером формирования выборки и не может быть преодолен иначе, как увеличением ее объема.

В данной работе мы ставим перед собой задачу найти такой способ восстановления параметров Бета-распределения, который позволит максимально точно восстановить

как отдельные значения, так и характер зависимости a и b от z , сведя к минимуму разрушительное действие статистического шума.

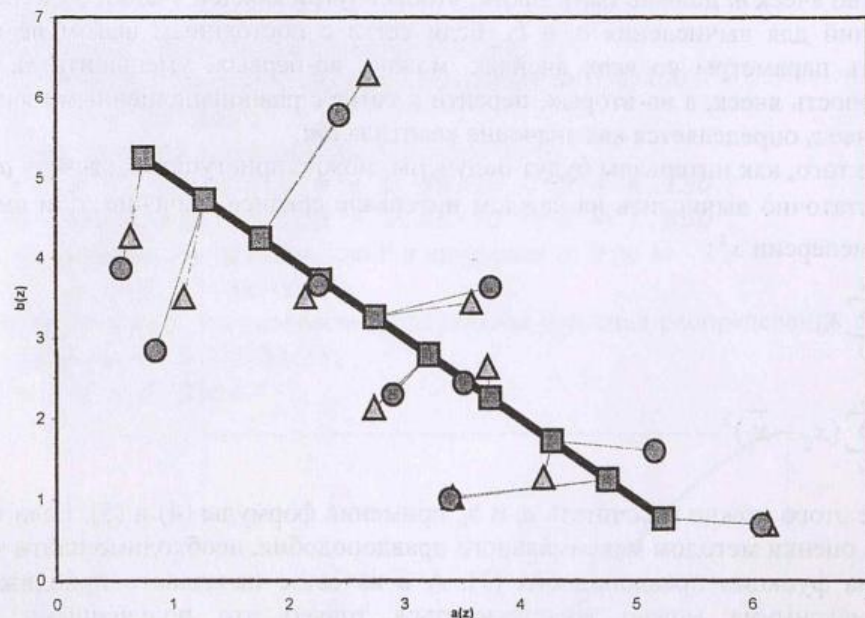


Рис. 3. Параметры Бета-распределения a_i и b_i : квадраты - теория, треугольники - метод моментов, кружки - метод максимального правдоподобия.

Аппроксимация параметров распределения сглаживающими сплайнами

Чтобы решить поставленную задачу, необходимо найти класс функций, позволяющий аппроксимировать эмпирические данные с контролируемой степенью точности, то есть с произвольно заданной ошибкой аппроксимации. Чем выше точность (меньше допустимая ошибка), тем ближе будет аппроксимирующая функция к эмпирическим точкам. Но, как мы видели на рисунке, точность воспроизведения эмпирических значений далеко не то же самое, что точность воспроизведения теоретически заложенной зависимости, поскольку эмпирические значения в значительной степени поражены статистическим шумом. Должна существовать некоторая оптимальная степень сглаживания, которая бы позволила отсеять шум, сохранив при этом заложенную в данных теоретическую зависимость. Естественно, что восстановленная зависимость будет отличаться от теоретической. Задача состоит в том, чтобы это отклонение минимизировать.

Поиск необходимого класса функций начался с полиномов, коэффициенты которых легко определяются из требования минимизации суммы квадратов отклонений значений полинома от эмпирических точек. Но аппроксимация полиномами обладает весьма существенными недостатками.

Во-первых, для полиномов легко подобрать примеры практически неаппроксимируемых функций. В качестве такого примера можно привести ступенчатую (S-образную) кривую с длинными хвостами. Ни один полином конечной степени не в состоянии дать ее удовлетворительное приближение.

Во-вторых, для сглаживания полиномами нет другой возможности управлять степенью сглаживания, кроме изменения степени полинома. А это очень грубая настройка хотя бы в силу того, что она дискретна.

В то же время в последние десятилетия интенсивно развивается новый раздел современной вычислительной математики - теория сплайнов. Сглаживающие сплайны позволяют не только хорошо интерполировать функции по отдельным точно заданным значениям, но и эффективно строить аппроксимацию эмпирических данных с заданной

точностью. При минимальной точности мы получаем чисто линейную зависимость с равной нулю второй производной на всей области определения сплайна. При максимальной точности сплайн становится интерполирующим, то есть проходит строго через все точки. В промежутке от минимальной до максимальной точности параметр сглаживания меняется непрерывно, позволяя найти оптимальную степень сглаживания.

Итак, сплайны действительно являются подходящим классом функций, в точности удовлетворяющим выдвинутым требованиям.

Выбранный нами вид сглаживающих сплайнов [см. 2, 4] минимизирует усредненный квадрат второй производной по всей области определения функции:

$$\int_{z_0}^{z_m} (s''(z))^2 dz \rightarrow \min \quad (13)$$

Кроме того, выполняется ограничение на отклонение сплайна от эмпирически заданных точек:

$$\sum_{i=1}^m N_i (s(z_i) - f_i)^2 \leq \delta^2 \quad (14)$$

Здесь квадраты отклонений взвешиваются на количество точек в интервале i , поскольку точность определения значений f_i обратно пропорциональна корню из N_i :

$$\delta(f_i) \sim \frac{1}{\sqrt{N_i}} \quad (15)$$

Если мы зададим δ^2 в ограничении (14) равной остаточной дисперсии для случая линейной регрессии δ_r^2 , то сплайн выродится в линейную функцию от z . Если задать δ^2 равным нулю, то сплайн станет интерполирующим и будет проходить через все эмпирические точки f_i .

Для удобства параметризации степени сглаживания вместо δ^2 будем использовать безразмерный параметр точности λ :

$$\delta^2 = 2(1 - \lambda)\delta_r^2 \quad (16)$$

При уменьшении λ от 1 до $\frac{1}{2}$ δ^2 возрастает от 0 до δ_r^2 . Таким образом, λ задает точность аппроксимации, нормированную на единицу. Точность, равная единице, будет означать абсолютную точность. Точность, равная $\frac{1}{2}$, будет означать точность линейного приближения. Точность меньше $\frac{1}{2}$ не будет приводить к дальнейшему огрублению приближения, если пользоваться тем же алгоритмом. Для обобщения мы искусственно продолжим эту зависимость. Что может быть грубее линейной зависимости? Естественно, только отсутствие всякой зависимости, то есть константа. Тогда точность между $\frac{1}{2}$ и 0 будет соответствовать переходу от линейного приближения к среднему значению f :

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m N_i f_i \quad (17)$$

Имеет смысл дополнить область изменения λ еще одним значением: -1. Этому значению можно сопоставить отсутствие не только изменений в распределении, но и фактически отсутствие самого распределения. Для параметров Бета-распределения это означает их равенство единице, при котором распределение вырождается в равномерное.

Изменение кривой, аппроксимирующей зависимость $a(z)$, при изменении параметра точности λ от -1 до 1 можно видеть на рис. 4.

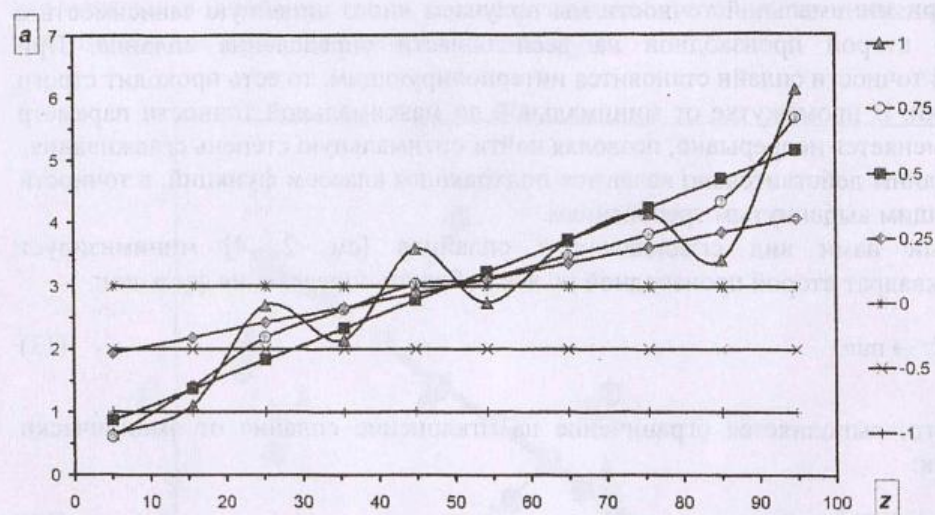


Рис. 4. Восстановление $a(z)$ с разной точностью аппроксимации.

В фазовом пространстве $\{a, b\}$ это же будет выглядеть так:

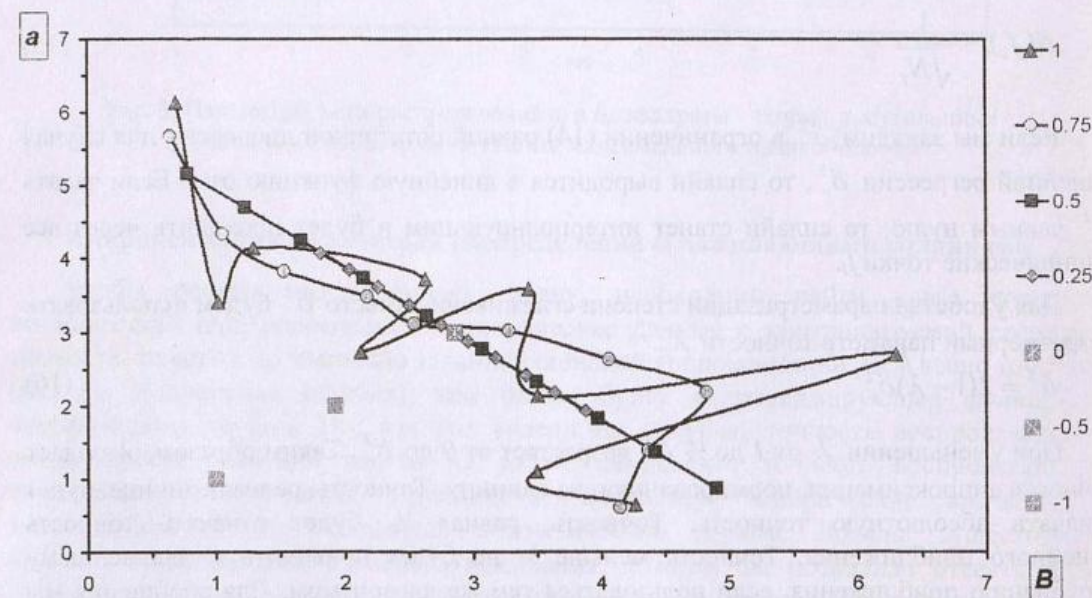


Рис. 5. Восстановление $\{a(z), b(z)\}$ с разной точностью аппроксимации.

Определив вид функции, которая может аппроксимировать параметры распределения с контролируемой точностью, остается найти критерий, который позволит определить оптимальное значение точности.

Выбор оптимальной степени сглаживания

Отклонения параметров a_i и b_i от теоретических значений $a(z_i)$ и $b(z_i)$ имеют стохастическую природу, то есть вызваны случайным характером формирования выборки. Гипотеза о том, что эти отклонения действительно случайны, а не носят систематический характер, поддается проверке. В математической статистике хорошо известен непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова, который позволяет проверить гипотезу о случайности отклонения эмпирического распределения $F_n(x)$ от известного теоретического $F(x)$ на основании статистики D_n :

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (18)$$

Чем больше значение статистики D_n , тем с меньшей вероятностью можно получить его случайно. Чтобы отвергнуть гипотезу о случайности отклонения, эта вероятность должна быть достаточно мала, меньше некоторого порога, например 5% или 0,1%. Но так поступают при сравнении единственного имеющегося у исследователя эмпирического распределения с теоретическим. Мы же имеем дело с целым набором из m эмпирических распределений (по одному на каждый интервал $z_{i-1}-z_i$, где $i=1..m$), каждому из них соответствует свое теоретическое (восстановленное) распределение. Оказывается, что и в этом случае процедура принятия решения о случайности наблюдаемых отклонений в распределениях ненамного сложнее. Действительно, для этого достаточно отметить тривиальное свойство вероятности, рассчитываемой по статистике D_n . Если гипотеза о случайном отклонении эмпирических распределений имеет место, то рассчитываемая по критерию Колмогорова-Смирнова вероятность $P(D > D_n)$ будет распределена равномерно (рис. 6).

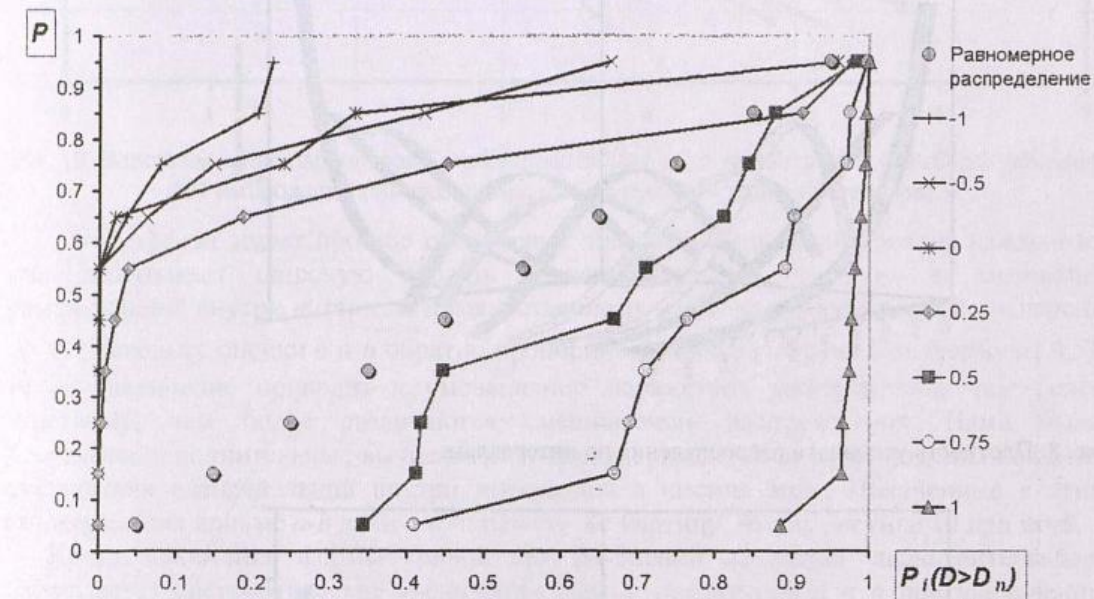


Рис. 6. Зависимость формы распределения $P_i(D > D_n)$ от точности аппроксимации.

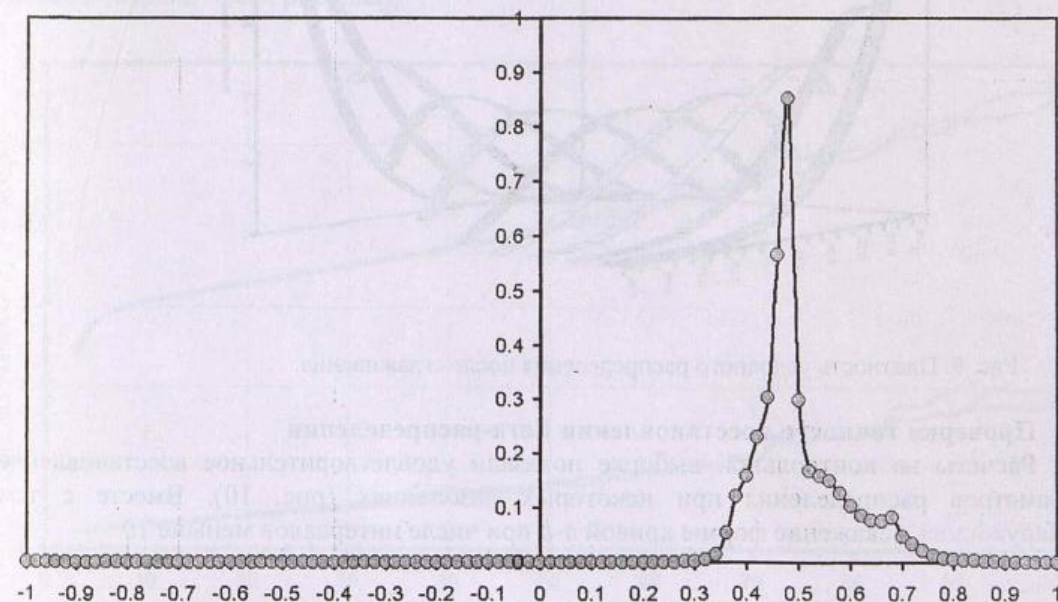


Рис. 7. Поиск оптимальной точности аппроксимации по максимальной близости распределения $P_i(D > D_n)$ к равномерному.

Отсюда сразу вытекает формулировка критерия оптимальности: при наилучшем сглаживании параметров Бета-распределения наблюдается наиболее близкое к равномерному распределение вероятностей $P_i(D > D_n)$, вычисленных для всех интервалов (i) по критерию Колмогорова-Смирнова. Для определения близости этого распределения к равномерному можно еще раз использовать тот же критерий (Колмогорова-Смирнова), взяв на этот раз в качестве теоретического распределения равномерное (рис. 7).

Изменение плотности условного распределения на сетке из 10 интервалов в результате сглаживания, можно видеть на рис. 8 и 9.

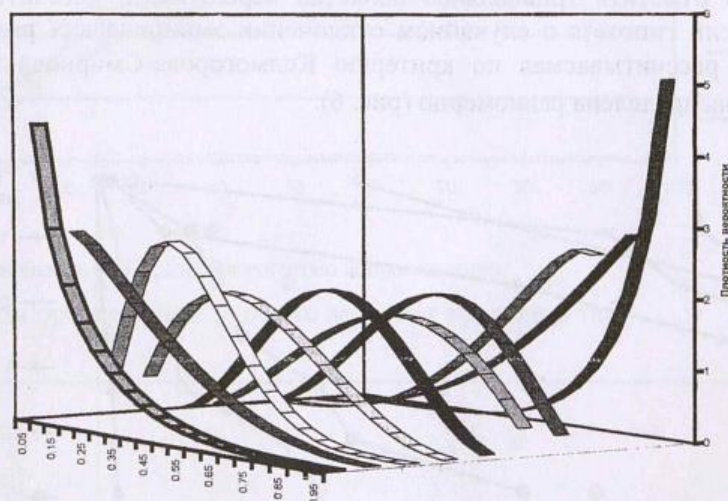


Рис. 8. Плотность условного распределения по интервалам.

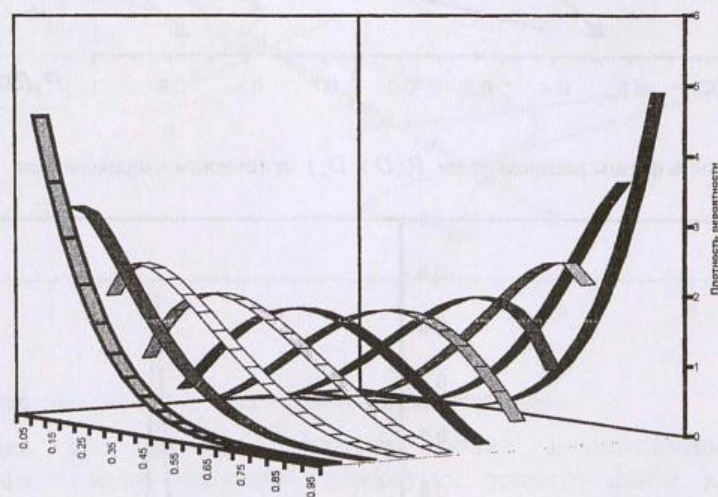


Рис. 9. Плотность условного распределения после сглаживания.

Проверка точности восстановления Бета-распределения

Расчеты на контрольной выборке показали удовлетворительное восстановление параметров распределения при некоторых разбиениях (рис. 10). Вместе с тем обнаружилось искажение формы кривой $a-b$ при числе интервалов меньше 10.

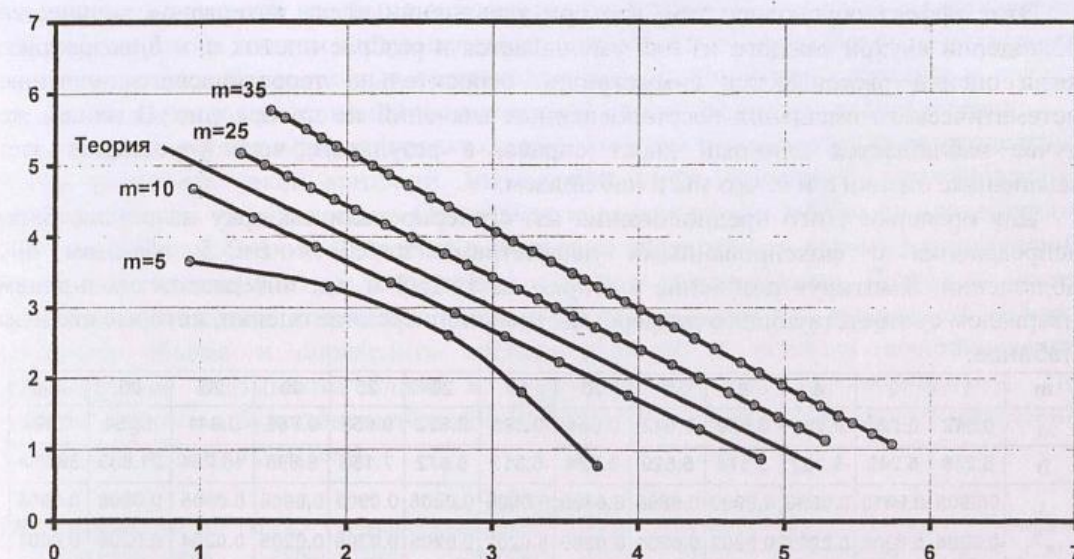


Рис. 10. Восстановление параметров Бета-распределения a и b на контрольной выборке объемом 400 наблюдений при различных разбиениях (m - число интервалов).

Этот эффект имеет простое объяснение: при малом числе интервалов каждый из них захватывает широкую область значений z , что приводит к смешению распределений внутри интервала и искусственному увеличению выборочной дисперсии s_i^2 . А поскольку оценки a и b обратно пропорциональны дисперсии (см. формулы 4,5), то ее увеличение приводит к уменьшению параметров распределения тем более заметному, чем более различаются смешиваемые распределения. Нами были проведены дополнительные вычислительные эксперименты, которые выделили эффект смешивания распределений внутри интервалов в чистом виде. Полученные в этих экспериментах кривые $a-b$ дали в точности ту же картину, что на рисунке 10 при $m=5$.

Кроме искажения формы кривой при разбиении на малое число интервалов, наблюдается систематическое увеличение оценок параметров a и b при увеличении числа интервалов. На рис. 11 показано, как растут средние оценки параметров (теоретическое значение равно 3.0) и разброс этих оценок относительно средних (кривая в нижней части рисунка).

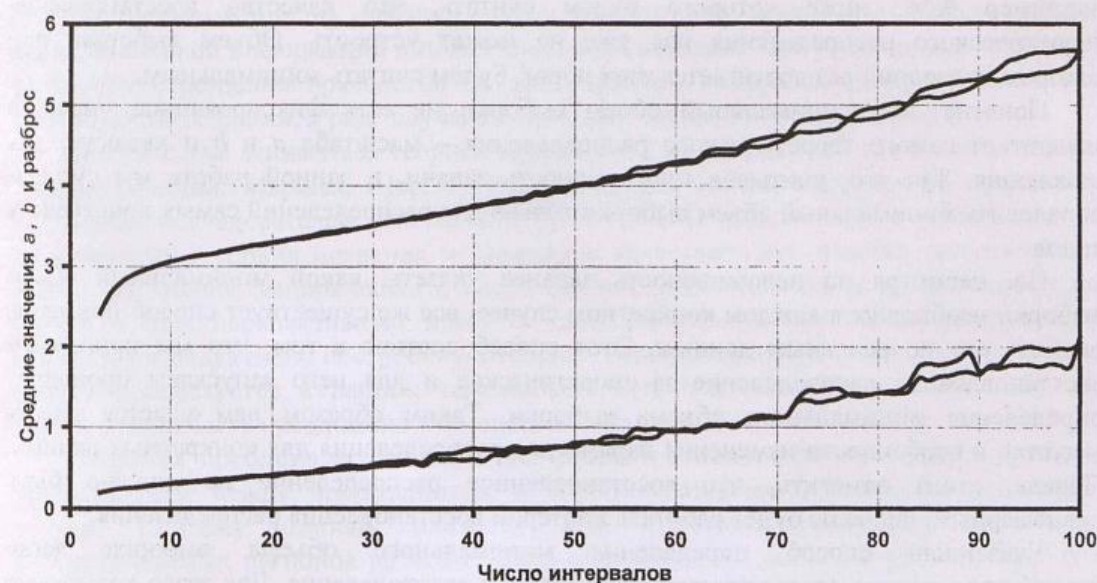


Рис. 11. Зависимость восстановленных значений a и b (сверху) и их среднеквадратичных разбросов (снизу) от числа интервалов m .

Этот эффект обусловлен тем, что при увеличении числа интервалов количество наблюдений внутри каждого из них уменьшается и разброс оценок a_i и b_i возрастает. Когда оценки рассеиваются симметрично относительно теоретического значения, систематического смещения восстановленных значений не происходит. В нашем же случае наблюдается длинный хвост справа, в результате чего усреднение дает завышенные оценки a и b , что мы и наблюдаем.

Для проверки этого предположения мы сгенерировали выборку на основе Бета-распределения с фиксированными параметрами $a=0.5$ и $b=5.5$ объемом 400 наблюдений. Имитируя разбиение выборки на 1, 2, 4 и т.д. интервалов скользящим интервалом соответствующего размера, мы получили средние оценки, которые сведены в таблице:

m	1	2	4	5	8	10	16	20	25	40	50	80	100
\bar{a}	0.519	0.524	0.524	0.529	0.542	0.554	0.595	0.622	0.658	0.766	0.841	1.254	1.996
\bar{b}	5.218	5.240	5.352	5.374	5.529	5.724	6.313	6.672	7.158	8.895	10.234	21.838	38.258
\bar{x}	0.0905	0.0910	0.0896	0.0900	0.0898	0.0896	0.0900	0.0906	0.0909	0.0906	0.0905	0.0905	0.0904
\bar{x}^2	0.0204	0.0206	0.0201	0.0202	0.0201	0.0200	0.0202	0.0205	0.0206	0.0205	0.0204	0.0204	0.0204

Из таблицы видно, что оценки \bar{a} и \bar{b} существенно отличаются от исходных, начиная уже с $m=10$.

В то же время, оценки \bar{x} и \bar{x}^2 не зависят от разбиения и восстановленные по ним a и b также не должны от него зависеть. Тем не менее, алгоритмическая реализация такого подхода является нетривиальной задачей и требует дополнительной проработки, что предполагается осуществить в ходе дальнейшего развития метода.

Определение минимального объема выборки

Если представить себе последовательный ряд выборок постепенно уменьшающегося объема от бесконечного количества до одного наблюдения, нетрудно увидеть, что к концу этого ряда мы полностью теряем какую бы то ни было информацию о распределении в генеральной совокупности. Но нам хотелось бы более точно определить границу, до которой еще возможно восстановить исходное распределение. Для этого мы должны найти критерий, позволяющий отличить ситуацию, в которой исходное распределение восстановлено, от той, в которой оно не восстановлено или восстановлено неверно. Если такой критерий будет статистическим, то его результат должен носить вероятностный характер, то есть он позволит нам рассчитать вероятность восстановления распределения. Мы можем задать порог, например 95%, ниже которого будем считать, что качество восстановления теоретического распределения нас уже не может устроить. Объем выборки, при котором последний раз достигается этот порог, будем считать минимальным.

Понятно, что минимальный объем выборки не есть фиксированное число, а зависит от самого теоретического распределения – масштаба a и b и характера их изменения. Так что, учитывая многомерность задачи, в данной работе мы сможем определить минимальный объем выборки только для распределений самых простейших видов.

Но, несмотря на невозможность заранее указать, какой минимальный объем выборки необходим в каждом конкретном случае, все же существует способ примерно оценить его по реальным данным. Этот способ состоит в том, что мы принимаем восстановленное распределение за теоретическое и для него запускаем процедуру определения минимального объема выборки. Таким образом нам удастся учесть масштаб и особенности изменения параметров распределения для конкретных данных. Правда, стоит заметить, что восстановленное распределение не должно быть равномерным, иначе не будет работать критерий восстановления распределения.

Указанный способ определения минимального объема выборки легко трансформируется в стратегию точного изучения распределения. Для этого достаточно применять его итерационно: получив на очередном шаге некоторое приближение к функции распределения, по нему определяем минимальный объем выборки,

закладывая в критерий все более и более жесткий порог вероятности восстановления распределения. На каждом следующем шаге, увеличивая объем выборки до расчетного, мы получаем все более точные восстановленные распределения, достигая в пределе цель исследования в виде точной теоретической модели условного распределения.

Теперь перейдем к формулировке самого критерия восстановления распределения. Чтобы построить такой критерий, мы должны уметь сравнивать восстановленное распределение с теоретическим. Одна такая мера расстояния между распределениями нам уже известна. Значит, мы всегда в состоянии определить, к какому распределению ближе восстановленное – к теоретическому или к равномерному. Далее, мы можем провести достаточное количество численных экспериментов с генерацией выборок заданного объема и определить процент случаев, в которых восстановленное распределение оказывается ближе к теоретическому, чем к равномерному. Этот процент случаев и будет оценкой искомой вероятности восстановления распределения по выборке заданного объема.

Литература

- БЧА НИВЦ МГУ. IS01R. Сплайн-сглаживание. (Текст подпрограммы построения одномерного сглаживающего кубического сплайна на языках Фортран и С++).// http://www.srcc.msu.su/num_anal/lib_na/cat/i/is01r.htm Ссылка действительна на 09.12.2002
- Морозов В.А. О задаче дифференцирования и некоторых алгоритмах приближения экспериментальной информации // Вычислительные методы и программирование. 1970. Вып. XIV. М.:Изд-во МГУ: 46-62.
- Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. М: МИКАП, 1994: 382 с.
- Ростовцев П.С. Бета-анализ иерархии социально-экономических объектов // Регион: экономика и социология. 2001. N4: 121-138.

Деревянко А.П. Холушкин Ю.П. Воронин В.Т. Ростовцев П.С. Статистическое изучение технологических индексов мустьерских индустрий Кавказа и Ближнего Востока. Проблемы сопоставимости

1.1. К проблеме корреляции мустьерских индустрий Ближнего и Среднего Востока и Кавказа

Теоретические разработки проблем корреляции мустьерских комплексов Кавказа с синхронными комплексами сопредельных областей Евразии периодически привлекают внимание специалистов.

Современный прилив интереса к этой проблематике связан с огромным потоком археологической информации и появлением многих новых проблем, определившихся в результате стремления археологов заменить прежние эмпирические представления по возможности точными, в ряде случаев с помощью математических методов.

Вместе с тем заниматься теорией невозможно, не владея всей полнотой исходных данных [Колчин, Маршак, Шер, 1970:4]. В данном тезисе, несмотря на возражения некоторых исследователей [см. Клейн, 1977: 19-20], нельзя видеть абсолютизацию эмпирического уровня познания и отрицание качественного отличия теоретического знания от знания эмпирического, свойственного позитивистам. Гораздо правильнее видеть в нем перспективную идею о наиболее полном вхождении индуктивных элементов в дедуктивно построенную теорию. Каждый археолог знает, что чем больше фактов используется в работе, тем меньше непротиворечивых истолкований этих фактов может быть предложено [Каменецкий, Маршак, Шер, 1975: 103].

Поднятая проблема актуальна и для рассматриваемого региона. Здесь проблема диспропорции между накопленными и опубликованными материалами достаточно велика. Поэтому степень близости или отличия мустьерских комплексов рассматриваемых регионов не может быть обоснована на должном уровне. Проблема усугубляется отсутствием строгих критериев оценки культурного своеобразия палеолитических комплексов, а в ряде случаев и проблемой несопоставимости археологических данных.

Возможно, по этой причине рассмотрение проблемы сходства и различия мустьерских индустрий до сих пор производилось лишь на умозрительной основе.

Однако, касаясь истории вопроса о локальных различиях, следует отметить работы выдающегося русского исследователя позапрошлого века К.С. Мережковского. В одной из них он на основе собственных полевых исследований и материалов других стран уже тогда отметил существенное отличие крымских находок от французских и других западноевропейских и чрезвычайную близость их с одновременными находками Египта, Палестины и Сирии. Это позволило ему заявить, что «каменная культура Египта и Крыма была общей» [Мережковский, 1881: 305].

Таким образом, своеобразие культуры палеолитического человека средиземноморских стран было отмечено Мережковским за тридцать лет до известного доклада А. Брейля на Международном конгрессе в Женеве.

В послереволюционные годы, в эпоху господства теории стадильности и благодаря работам С.Н.Замятнина, считалось, что мустьерская культура была повсеместно однообразной, не имеющей заметных различий. А все отмечаемые различия являлись или явлениями хронологического порядка, или «отражением различных моментов из жизни и хозяйственной деятельности одних и тех же человеческих групп» [Замятнин, 1951: 117-120].

Пожалуй, первое высказывание в пользу поиска аналогов за пределами Кавказа можно отметить у М.З.Паничкиной, которая на основании незначительного присутствия бифасиальной техники в Закавказье и Сочинском Причерноморье сочла возможным сопоставить материалы Кавказа с материалами из пещер Ирана, Сирии и Палестины [Паничкина, 1951: 85].

Этот тезис был подхвачен А.А.Формозовым, который писал о том, что в мустьерскую эпоху наметились две группировки памятников: на Русской равнине – памятников с бифасами, а на Кавказе и Передней Азии – памятников с орудиями на отщепках [Формозов, 1958а, 1958б].

В последующие годы по-прежнему делаются попытки указать лишь на отдельные черты сходства при характеристике индустрий Кавказа и сопредельных регионов. Так, А.К. Джафаровым отмечались отдельные параллели индустрии пещеры Таглар в Ереванской пещерной стоянке и в загросских стоянках Биситун, Хазар-Мерд, Кунджи и др. [Джафаров, 1983: 62-63].

Однако наиболее развернутое обоснование возможной связи между среднепалеолитическими индустриями этих регионов было дано в статье Е.В. Беляевой и В.П. Любина [Believa E.V., Lioubine V.P., 1998]. В этой публикации отмечается, что в Закавказье имеется группа мустьерских стоянок (Джручугла, мустьерские горизонты пещер Кударо I, Кударо III и Цона) и местонахождений открытого типа (Каркустакау, Тамарашени, Кусрети) с высокими значениями IL, I_{am}, удаленно напоминающих по этим показателям "классические" леваллуазские индустрии Леванта. В этих индустриях, как и в Леванте, имеется большое количество леваллуазских острий и удлиненных мустьерских остроконечников, которые несмотря на некоторые локальные особенности методики ретуширования имеют определенные аналогии. Мустьерские индустрии Транскавказского нагорья, граничащие с Ираном и Турцией, также предполагают вероятные отношения с Югом. В карстовых пещерах восточной части Малого Кавказа, имеется группа индустрий, (Таглар, Газма) которые достаточно близки к индустриям Загроса. Эта группа индустрий отличается от Загросских более высокими индексами леваллуа и пластин (IL = 38-53; I_{am} = 25-43) и значительным числом леваллуазских острий. Однако по мнению указанных исследователей, эти комплексы подобны мустье Загроса по следующим позициям:

сходством техники первичного расщепления;

большим процентом ретушируемых артефактов, включая различные типы боковых скребел (двойные, конвергентные, угловатые) и острий;

высокой степенью редукции;

использования техники транкирования изделий;

очень низким процентом верхнепалеолитических форм.

Наконец, этими авторами отмечена внешне архаичная и экзотическая мустьерская индустрия Цопи, которая абсолютно противостоит всем линиям развития кавказского мустье. Она напоминает по своему облику мустье типа Кина, из-за господства боковых скребел типа Кина (73.5) %, включая боковые и поперечные выпуклые экземпляры, сопровождаемые конвергентными скреблами и *deje*. По некоторым показателям авторы считают возможным связать эту индустрию с Ябрудиеном, хотя и она и отличается от него избытком боковых скребел и меньшим количеством конвергентных скребел и *deje*.

В итоге авторы статьи приходят к выводу о том, что ряд мустьерских индустрий Кавказа имеет некоторое подобие как в левантийском, так и в загросском мустье. Однако, по их мнению, некоторые прямые контакты могут быть постулируемы только с последним.

Относительно Леванта предполагаются лишь довольно удаленные генетические отношения (распространение леваллуазской техники в ряде упомянутых кавказских индустрий, "ябрудийский" аспект индустрии Цопи).

Наконец, на основании незначительного числа бифасов в индустриях среднего палеолита в этих трех областях (за исключением северной части Кавказа) авторы предполагают возможным далекое общее происхождение их мустьерских традиций.

1.2. Структурный анализ данных

В предыдущем разделе было показано, что исследователи палеолита Кавказа пытались рассматривать набор единичных признаков, отмечая как определенные черты сходства, так и различия индустрий Ближнего Востока и Кавказа. Подобные расхождения диктуют необходимость применения инструментария в виде различного вида таблиц сопряженности, которые служат важным инструментом отражения феноменологической идеи присутствия или отсутствия какой-либо формы структурированности в соотношениях взаимодействия, а также отсутствия или присутствия взаимодействия, взаимозависимости процессов. Потребность в таблицах возникает тогда, когда мы пытаемся понять особенности поведения выборки некоторых объектов через приписываемые им свойства. Причем, желание сопрягать несколько свойств возникает, как правило, когда каждое свойство было исследовано поодиночке, а результатов получить не удалось.

В настоящем разделе предпринята попытка сопряжения нескольких технологических свойств данных по Ближнему и Среднему Востоку и Кавказу. Эта попытка имеет цель не только выявить элементы сходства и различий мустьерских археологических комплексов Ближнего и Среднего Востока, с одной стороны, и Кавказа, с другой, но и выделить и исследовать структурные элементы региона в целом. Для исследования технологических индексов мустьерских комплексов привлекались данные по технологическим индексам, которые опубликованы ранее и сведены в таблицу 1.

Выявление структуры сводной таблицы технологических индексов мустьерских комплексов памятников Ближнего и Среднего Востока и Кавказа (табл. 1) производилось также в 2 этапа. Первый этап состоял в упорядочении строк и столбцов таким образом, чтобы мало отличающиеся строки и столбцы оказались рядом (см. табл. 2).

В результате подобного упорядочения строк и столбцов таблицы 1 сумма расстояний между соседними столбцами уменьшилась на 19.5 %, а сумма расстояний между соседними строками уменьшилась на 51 %.

Это позволило осуществить второй этап, на котором на матрице исходных данных были выделены 34 связанных области (см. таблицу 3 и рис. 1). Как и раньше, линиями обведены области, номера областей выделены жирными цифрами внутри областей.

В таблице 4 представлены вклады областей в объяснение разброса элементов таблицы. В частности, наиболее существенными являются области 1, 3, 8, 15, 17, 23, 29, существенными 6, 9, 14, 20, 25, 32.

Таблица 1. Исходные данные

		IL	ILty	IF	IFst	ILam
1	Барам	2.300	13.800	...	8.500	2.800
2	Эврон-Зиннад	33.100	27.300	46.800	...	22.800
3	Киссуфим	54.700	48.900	73.000	...	15.900
4	Табун В80	1.000	1.200	22.200	4.300	20.900
5	Табун В48В	5.000	1.900	25.200	10.000	50.000
6	Табун В48А	3.200	2.000	22.600	8.300	20.300
7	Табун В39	53.300	60.300	64.600	54.500	57.200
8	Табун (С)18-26	22.000	66.100	52.000	35.900	35.700
9	Табун (В)1-17	36.000	64.700	59.900	50.500	64.200
10	Табун IX(D)	56.300	62.200	61.400	48.400	76.200
11	Рош-эйн-Мор	14.600	60.600	54.600	34.700	19.500
12	Нахал-Акеф гор.3	8.700	47.100	57.400	43.100	25.300
13	Кебара Lay F	66.500	58.400	71.700	63.700	28.600
14	Тират-Кармел	6.400	8.000	35.100	28.500	14.600
15	Шубаббик I-IV	41.000	43.300	65.300	56.800	13.000
16	Джерф-Айла В	62.000	66.700	53.100	...	47.200
17	Джерф-Айла С	62.000	73.600	63.600	...	39.300
18	Джерф-Айла Е	81.700	80.600	63.400	...	43.300
19	Дуара С	72.200	55.000	70.900	...	30.200
20	Дуара D	74.900	59.400	81.500	...	34.300
21	Дуара Е	77.700	57.900	74.800	...	47.700
22	Кебара VII	18.100	...	58.200	53.100	12.000
23	Кебара VIII	19.400	...	59.100	54.100	10.900
24	Кебара IX	11.800	...	79.300	78.100	9.600
25	Кебара X	20.000	...	75.400	71.900	13.300
26	Кебара XI	22.600	...	70.200	64.100	20.200
27	Кебара XII	30.500	...	87.500	83.300	22.900
28	Кунджи Иран	11.100	7.600	72.100	22.800	11.100
29	Варвази D	...	4.430	...	...	...
30	Варвази С	7.400	9.340	50.200	40.600	43.200
31	Варвази В	7.400	15.630	53.800	39.600	45.300
32	Варвази А	13.100	20.940	50.200	30.800	38.000
33	Шанидар Аказава	10.900	8.620	...	...	...
34	Шанидар Скиннер	...	0.750	...	...	...
35	Хазар	3.000	1.050	43.200	...	12.700
36	Мерд	7.000	1.640	47.100	...	20.300
37	Биситун	55.800	10.630	64.710	...	55.100
38	Кзар-Акил XXVIA	30.300	26.400	75.900	62.900	23.700
39	Кзар-Акил XXVIB	26.500	43.500	75.200	57.800	19.700
40	Кзар-Акил XXVIIA	8.900	28.600	76.200	55.100	24.500
41	Кзар-Акил XXVIIБ	8.600	27.600	78.900	59.900	25.700
42	Кзар-Акил XXVIIIА	11.800	55.000	78.800	57.200	23.700
43	Кзар-Акил XXVIIIБ	13.500	58.600	67.500	44.600	27.600
44	Кеу I	66.100	48.900	79.100	61.700	25.700
45	Кеу II	66.700	53.300	83.700	66.100	21.300
46	Кеу III	70.900	48.100	78.300	57.000	27.200
47	Сефуним VI	34.000	65.000	54.000	41.000	25.000
48	Сефуним VII	46.000	63.000	83.000	65.000	17.000
49	Сефуним SH	11.500	38.100	40.500	45.900	8.100
50	Сефуним I2	5.000	30.000	25.000	15.000	30.000
51	Сефуним I3	30.000	71.000	40.000	30.000	30.000
52	Ябруд I,2	53.900	58.600	77.800	67.100	24.600
53	Ябруд I,7	47.000	44.600	78.600	68.700	37.100
54	Ябруд I,4	48.700	...	88.600	83.200	20.300
55	Кударо I	62.200	53.500	67.700	37.200	74.400
56	Кударо III	55.500	...	60.000	39.300	28.800
57	Цонская пещера	64.200	34.100	...	...	64.200
58	Бронзовая I сл.	17.300	6.900	28.200	23.500	10.400

Продолжение табл. 1.

59	Бронзовая II сл.	8.600	6.300	24.400	20.600	6.800
60	Бронзовая III сл.	12.200	7.200	30.500	24.400	12.200
61	Бронзовая IV сл.	10.300	9.000	29.600	24.400	9.700
62	Бронзовая V сл.	19.300	7.500	28.200	26.900	14.600
63	Каркустакау	41.600	44.600	74.300	43.800	30.800
64	Тамарашени	30.800	38.800	71.000	41.300	...
65	Монашеская	23.000	...	58.100	33.800	21.400
66	Губский Навес	20.700	...	...	...	16.000
67	Таглар 2 сл.	51.000	...	69.900	27.500	36.000
68	Таглар 3 сл.	51.300	...	73.100	29.700	33.100
69	Таглар 4а сл.	53.100	...	73.600	34.400	43.700
70	Таглар 4б сл.	52.600	...	62.800	31.400	39.000
71	Таглар 5 сл.	38.400	...	57.500	22.700	25.300
72	Таглар 6 сл.	38.400	...	60.800	33.300	30.700
73	Лусакерт В	25.400	...	53.000	34.000	22.400
74	Лусакерт CI	36.700	...	61.000	43.000	24.000
75	Лусакерт CII	15.000	...	18.000	10.500	13.000
76	Лусакерт D	3.700	...	18.000	7.000	13.000
77	Двойной Грот	17.000	...	25.500	...	21.200
78	Джручула I сл.	60.400	...	62.500	30.000	68.500
79	Джручула II сл.	36.300	...	38.800	18.800	41.200
80	Дашсалахлы	48.100	22.000	71.500	43.000	41.600
81	Ахштырская (в)	20.700	26.300	54.000	13.700	19.800
82	Ахштырская (низ)	22.900	25.800	64.400	22.200	21.100
83	Кусрети II	44.500	...	71.000	41.300	31.200

Таблица 2. Упорядоченные данные.

		IF	IFst	ILty	IL	ILam
28	Кунджи Иран	72.100	22.800	7.600	11.100	11.100
1	Барам	...	8.500	13.800	2.300	2.800
76	Лусакерт D	18.000	7.000	...	3.700	13.000
4	Табун В80	22.200	4.300	1.200	1.000	20.900
6	Табун В48А	22.600	8.300	2.000	3.200	20.300
75	Лусакерт CII	18.000	10.500	...	15.000	13.000
59	Бронзовая II сл.	24.400	20.600	6.300	8.600	6.800
58	Бронзовая I сл.	28.200	23.500	6.900	17.300	10.400
60	Бронзовая III сл.	30.500	24.400	7.200	12.200	12.200
61	Бронзовая IV сл.	29.600	24.400	9.000	10.300	9.700
14	Тират-Кармел	35.100	28.500	8.000	6.400	14.600
32	Варвази А	50.200	30.800	20.940	13.100	38.000
72	Таглар 6 сл.	60.800	33.300	...	38.400	30.700
56	Кударо III	60.000	39.300	...	55.500	28.800
68	Таглар 3 сл.	73.100	29.700	...	51.300	33.100
67	Таглар 2 сл.	69.900	27.500	...	51.000	36.000
70	Таглар 4б сл.	62.800	31.400	...	52.600	39.000
17	Джерф-Айла С	63.600	...	73.600	62.000	39.300
18	Джерф-Айла Е	63.400	...	80.600	81.700	43.300
21	Дуара Е	74.800	...	57.900	77.700	47.700
20	Дуара D	81.500	...	59.400	74.900	34.300
19	Дуара С	70.900	...	55.000	72.200	30.200
13	Кебара Lay F	71.700	63.700	58.400	66.500	28.600
3	Киссуфим	73.000	...	48.900	54.700	15.900
15	Шубаббик I-IV	65.300	56.800	43.300	41.000	13.000
23	Кебара VIII	59.100	54.100	...	19.400	10.900
22	Кебара VII	58.200	53.100	...	18.100	12.000
25	Кебара X	75.400	71.900	...	20.000	13.300
24	Кебара IX	79.300	78.100	...	11.800	9.600
33	Шанидар Аказава	...	...	8.620	10.900	...
31	Варвази В	53.800	39.600	15.630	7.400	45.300

Продолжение табл. 2.

30	Варвази С	50.200	40.600	9.340	7.400	43.200
29	Варвази D	...	...	4.430	...	...
5	Табун В48В	25.200	10.000	1.900	5.000	50.000
34	Шанидар Скиннер	...	...	0.750	...	...
35	Хазар	43.200	...	1.050	3.000	12.700
36	Мерд	47.100	...	1.640	7.000	20.300
40	Кзар-Акил XXVIA	76.200	55.100	28.600	8.900	24.500
41	Кзар-Акил XXVIIA	78.900	59.900	27.600	8.600	25.700
26	Кебара XI	70.200	64.100	...	22.600	20.200
48	Сефуним VII	83.000	65.000	63.000	46.000	17.000
52	Ябруд I,2	77.800	67.100	58.600	53.900	24.600
45	Кей II	83.700	66.100	53.300	66.700	21.300
44	Кей I	79.100	61.700	48.900	66.100	25.700
46	Кей III	78.300	57.000	48.100	70.900	27.200
39	Кзар-Акил XXVIB	75.200	57.800	43.500	26.500	19.700
42	Кзар-Акил XXVIII A	78.800	57.200	55.000	11.800	23.700
43	Кзар-Акил XXVIII B	67.500	44.600	58.600	13.500	27.600
12	Нахал-Акеф гор.3	57.400	43.100	47.100	8.700	25.300
49	Сефуним SH	40.500	45.900	38.100	11.500	8.100
73	Лусакерт В	53.000	34.000	...	25.400	22.400
47	Сефуним VI	54.000	41.000	65.000	34.000	25.000
74	Лусакерт CI	61.000	43.000	...	36.700	24.000
38	Кзар-Акил XXVIA	75.900	62.900	26.400	30.300	23.700
27	Кебара XII	87.500	83.300	...	30.500	22.900
54	Ябруд I,4	88.600	83.200	...	48.700	20.300
53	Ябруд I,7	78.600	68.700	44.600	47.000	37.100
7	Табун В39	64.600	54.500	60.300	53.300	57.200
16	Джерф-Айла В	53.100	...	66.700	62.000	47.200
79	Джручула II сл.	38.800	18.800	...	36.300	41.200
62	Бронзовая V сл.	28.200	26.900	7.500	19.300	14.600
66	Губский Навес	...	...	...	20.700	16.000
11	Рош-эйн-Мор	54.600	34.700	60.600	14.600	19.500
65	Монашеская	58.100	33.800	...	23.000	21.400
82	Ахштырская (низ)	64.400	22.200	25.800	22.900	21.100
71	Таглар 5 сл.	57.500	22.700	...	38.400	25.300
2	Эврон-Зиннад	46.800	...	27.300	33.100	22.800
81	Ахштырская (в)	54.000	13.700	26.300	20.700	19.800
50	Сефуним I2	25.000	15.000	30.000	5.000	30.000
77	Двойной Грот	25.500	...	...	17.000	21.200
51	Сефуним I3	40.000	30.000	71.000	30.000	30.000
8	Табун (C)18-26	52.000	35.900	66.100	22.000	35.700
9	Табун (B)1-17	59.900	50.500	64.700	36.000	64.200
10	Табун IX(D)	61.400	48.400	62.200	56.300	76.200
55	Кударо I	67.700	37.200	53.500	62.200	74.400
78	Джручула I сл.	62.500	30.000	...	60.400	68.500
57	Цонская пещера	...	...	34.100	64.200	64.200
37	Биситун	64.710	...	10.630	55.800	55.100
69	Таглар 4а сл.	73.600	34.400	...	53.100	43.700
80	Дашсалахлы	71.500	43.000	22.000	48.100	41.600
83	Кусрети II	71.000	41.300	...	44.500	31.200
63	Каркустакау	74.300	43.800	44.600	41.600	30.800
64	Тамарашени	71.000	41.300	38.800	30.800	...

В целом разбиение по таблице объясняет 92.7 % дисперсии. Среднеквадратичное отклонение по таблице = 22.83.

Разобьем теперь матрицу на 10 областей, последовательно объединяя два однородных кластера в неоднородный.

Итоги объединения приведены в таблицах 5, 6 и на рис. 2.

В таблице 6 показано распределение элементов по 10 областям.

В таблице 5 показан вклад каждой области в разброс значений данных в процентах. Наиболее существенный вклад в этот разброс внесли области 1, 3, 4, 5.

Меньший вклад (хотя и существенный) внесли области 7, 9. Объясненная дисперсия составляет 74.2 %.

На рис. 2 наглядно демонстрируется разделение таблицы на 10 связных областей.

Теперь разобьем матрицу на 5 областей, по-прежнему последовательно объединяя два однородных кластера в неоднородный кластер.

Таблица 3. Распределение элементов по 34 областям.

		IF		Ifst	ILty	IL	ILam
28	Кунджи Иран	72.100	0	22.800	7.600	11.100	11.100
1	Барам			8.500	13.800	2.300	2.800
76	Лусакерт D	18.000		7.000		3.700	13.000
4	Табун B80	22.200		4.300	1.200	1.000	20.900
6	Табун B48A	22.600		8.300	2.000	3.200	20.300
75	Лусакерт СИ	18.000		10.500		15.000	13.000
59	Бронзовая II сл.	24.400		20.600	6.300	8.600	6.800
58	Бронзовая I сл.	28.200		23.500	6.900	17.300	10.400
60	Бронзовая III сл.	30.500	2	24.400	7.200	12.200	12.200
61	Бронзовая IV сл.	29.600		24.400	9.000	10.300	9.700
14	Тират-Кармел	35.100		28.500	8.000	6.400	14.600
32	Варвази А	50.200		30.800	20.940	13.100	38.000
72	Таглар 6 сл.	60.800		33.300		38.400	30.700
56	Кударо III	60.000		39.300		55.500	28.800
68	Таглар 3 сл.	73.100		29.700		51.300	33.100
67	Таглар 2 сл.	69.900		27.500		51.000	36.000
70	Таглар 4б сл.	62.800		31.400		52.600	39.000
17	Джерф-Айла С	63.600	3		73.600	62.000	39.300
18	Джерф-Айла Е	63.400			80.600	81.700	43.300
21	Дуара Е	74.800			57.900	77.700	47.700
20	Дуара D	81.500			59.400	74.900	34.300
19	Дуара С	70.900			55.000	72.200	30.200
13	Кебара Lay F	71.700		63.700	58.400	66.500	28.600
3	Киссуфим	73.000			48.900	54.700	15.900
15	Шубабик I-IV	65.300		56.800	43.300	41.000	13.000
23	Кебара VIII	59.100		54.100		19.400	10.900
22	Кебара VII	58.200		53.100		18.100	12.000
25	Кебара X	75.400	9	71.900		20.000	13.300
24	Кебара IX	79.300		78.100		11.800	9.600
33	Шанидар Акава				8.620	10.900	
31	Варвази В	53.800	10	39.600	15.630	7.400	45.300
30	Варвази С	50.200		40.600	9.340	7.400	43.200
29	Варвази D				4.430		
5	Табун B48B	25.200		10.000	1.900	5.000	50.000
34	Шанидар Скиннер				0.750		
35	Хазар	43.200	13		1.050	3.000	12.700
36	Мерд	47.100			1.640	7.000	20.300
40	Кзар-Акил XXVIA	76.200		55.100	28.600	8.900	24.500
41	Кзар-Акил XXVIIA	78.900		59.900	27.600	8.600	25.700
26	Кебара XI	70.200		64.100		22.600	20.200
48	Сефуним VII	83.000		65.000	63.000	46.000	17.000
52	Ябруд I,2	77.800		67.100	58.600	53.900	24.600
45	Кей II	83.700		66.100	53.300	66.700	21.300
44	Кей I	79.100	17	61.700	48.900	66.100	25.700
46	Кей III	78.300		57.000	48.100	70.900	27.200
39	Кзар-Акил XXVIB	75.200		57.800	43.500	26.500	19.700
42	Кзар-Акил XXVIIIA	78.800		57.200	55.000	11.800	23.700
43	Кзар-Акил XXVIII B	67.500		44.600	58.600	13.500	27.600
12	Нахал-Акеф гор.3	57.400		43.100	47.100	8.700	25.300
49	Сефуним SH	40.500		45.900	38.100	11.500	8.100
73	Лусакерт В	53.000		34.000		25.400	22.400
47	Сефуним VI	54.000		41.000	65.000	34.000	25.000
74	Лусакерт CI	61.000		43.000		36.700	24.000
38	Кзар-Акил XXVIA	75.900		62.900	26.400	30.300	23.700
27	Кебара XII	87.500		83.300		30.500	22.900
54	Ябруд I,4	88.600	23	83.200		48.700	20.300
53	Ябруд I,7	78.600		68.700	44.600	47.000	37.100
7	Табун B39	64.600		54.500	60.300	53.300	57.200
16	Джерф-Айла В	53.100			66.700	62.000	47.200
79	Джручула II сл.	38.800		18.800		36.300	41.200
62	Бронзовая V сл.	28.200		26.900	7.500	19.300	14.600
66	Губский Навес					20.700	16.000
11	Рош-эйн-Мор	54.600		34.700	60.600	14.600	19.500
65	Монашеская	58.100		33.800		23.000	21.400
82	Ахштырская (низ)	64.400		22.200	25.800	22.900	21.100
71	Таглар 5 сл.	57.500	27	22.700		38.400	25.300
2	Эврон-Зиннад	46.800			27.300	33.100	22.800
81	Ахштырская (в)	54.000		13.700	26.300	20.700	19.800
50	Сефуним I2	25.000		15.000	30.000	5.000	30.000
77	Двойной Грот	25.500				17.000	21.200
51	Сефуним I3	40.000		30.000	71.000	30.000	30.000
8	Табун (C)18-26	52.000		35.900	66.100	22.000	35.700
9	Табун (B)1-17	59.900		50.500	64.700	36.000	64.200
10	Табун IX(D)	61.400		48.400	62.200	56.300	76.200
55	Кударо I	67.700		37.200	53.500	62.200	74.400
78	Джручула I сл.	62.500		30.000		60.400	68.500
57	Цонская пещера				34.100	64.200	64.200
37	Биситун	64.710			10.630	55.800	55.100
69	Таглар 4а сл.	73.600		34.400		53.100	43.700
80	Дашсалахлы	71.500		43.000	22.000	48.100	41.600
83	Кусрети II	71.000	32	41.300		44.500	31.200
63	Каркустакау	74.300		43.800	44.600	41.600	30.800
64	Тамарашени	71.000		41.300	38.800	30.800	

Результаты подобного объединения приведены в таблицах 7, 8 и на рис. 3.

В таблице 7 показано распределение элементов по 5 областям.

В таблице 8 показан вклад каждой из 5 областей в разброс значений данных в процентах. Наиболее существенный вклад в этот разброс внесли области 0, 1, 2. На их

долю приходится 59.1 % объясненной дисперсии. Меньший вклад (7.7 %) внесли области 3, 4. В целом выделение 5 областей объясняет 66.8 % разброса данных.

На рис. 3 наглядно демонстрируется разделение таблицы на 5 связных областей.

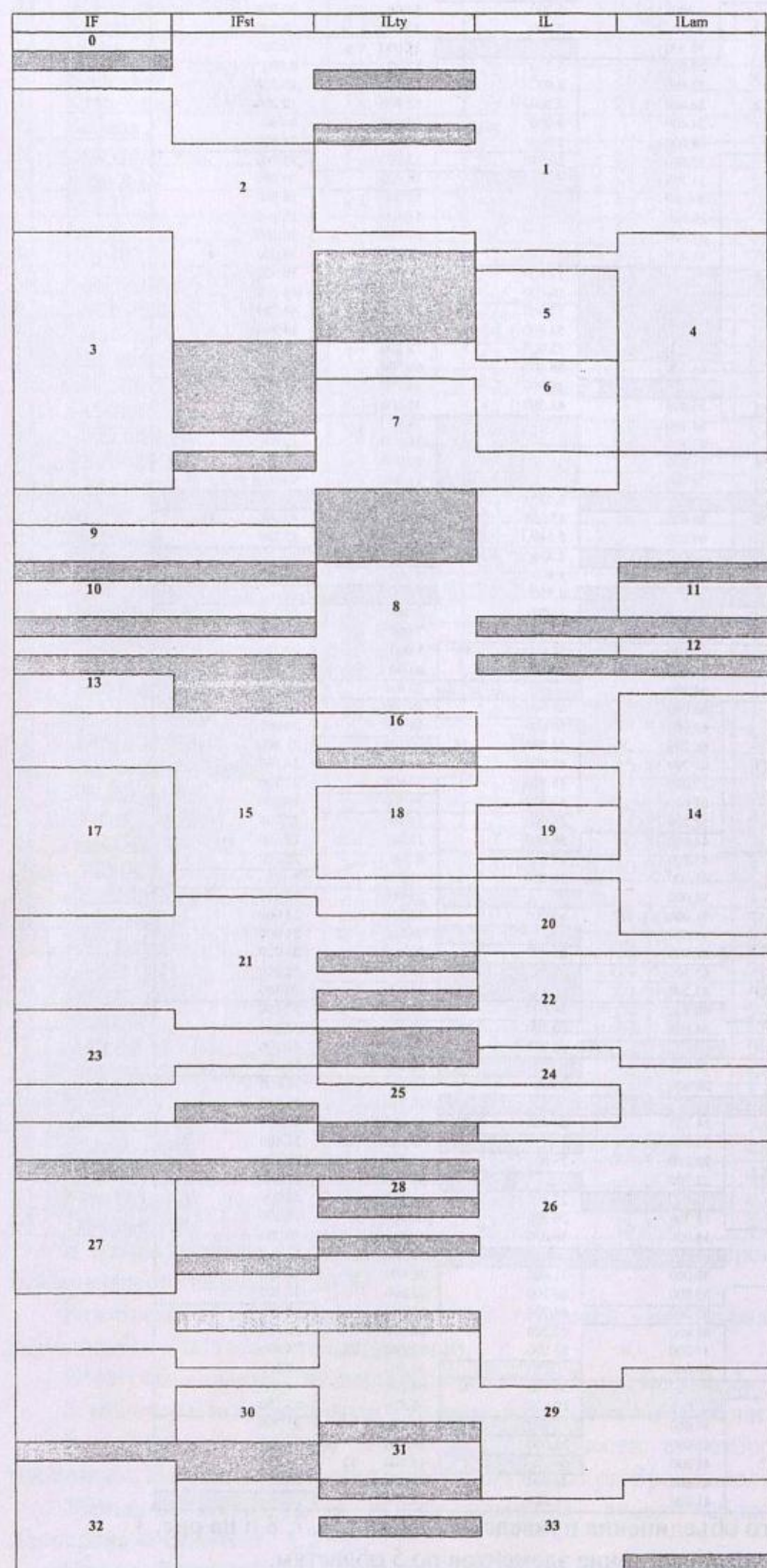


Рис.1. Схема расположения 34 областей.

Таблица 4. Дисперсионный анализ 34 областей.

Область	Среднее	Ср.кв.откл.	Объем	Объясняет долю дисперсии (в %)	
				Область	элемент
0	72.100	0.000	1	0.6	0.578
1	9.754	5.472	39	17.9	0.459
2	27.247	5.395	20	1.5	0.075
3	66.980	7.633	15	6.2	0.412
4	35.954	5.769	13	0.1	0.005
5	54.480	4.565	5	0.6	0.125
6	75.314	5.243	7	4.9	0.696
7	53.838	5.963	13	1.5	0.115
8	10.119	6.040	29	13.0	0.447
9	76.175	3.284	4	2.9	0.730
10	46.050	7.038	4	0.1	0.025
11	44.250	1.485	2	0.0	0.014
12	50.000	0.000	1	0.1	0.063
13	45.150	2.758	2	0.0	0.019
14	23.460	3.141	15	2.0	0.131
15	63.306	7.131	16	5.0	0.311
16	28.100	0.707	2	0.1	0.065
17	77.925	5.036	8	6.4	0.800
18	50.329	5.202	7	0.5	0.067
19	67.900	2.615	3	1.3	0.440
20	10.720	2.261	5	2.1	0.429
21	48.707	9.588	15	0.7	0.049
22	26.800	5.004	12	1.0	0.081
23	82.850	4.927	6	6.1	1.016
24	44.912	6.803	8	0.1	0.018
25	60.400	6.179	8	1.9	0.241
26	24.627	8.070	45	5.0	0.112
27	55.900	5.792	6	0.9	0.150
28	60.600	0.000	1	0.2	0.245
29	62.004	6.940	23	6.4	0.278
30	38.533	9.272	3	0.0	0.000
31	22.365	6.596	2	0.3	0.149
32	71.018	3.390	6	3.2	0.541
33	38.844	6.999	16	0.0	0.000

Таблица 5. Дисперсионный анализ 10 областей.

Область	Среднее	Ср.кв.откл.	Объем	Объясняет долю дисперсии (в %)	
				область	элемент
0	72.100	0.000	1	0.6	0.578
1	9.754	5.472	39	17.9	0.459
2	27.247	5.395	20	1.5	0.075
3	64.871	9.817	42	14.8	0.352
4	23.291	13.160	87	11.6	0.133
5	62.121	13.981	57	16.0	0.281
6	53.877	7.982	13	1.5	0.116
7	25.640	9.609	47	4.5	0.097
8	55.900	5.792	6	0.9	0.150
9	52.681	15.530	50	4.9	0.098

Анализ указанных таблиц при их последовательном разбиении на 34, 10 и 5 областей показал, что область 0 можно рассматривать как группу сопряженности аномально высокого по сравнению с другими сопоставляемыми индексами показателя

Таблица 6. Распределение элементов по 10 областям.

	IF	IFst	ILty	IL	ILam
28 Кунджи Иран	72.100	22.800	7.600	11.100	11.100
1 Барам	0	8.500	13.800	2.300	2.800
76 Лусакерт D	18.000	7.000		3.700	13.000
4 Табун B80	22.200	4.300	1.200	1.000	20.900
6 Табун B48A	22.600	8.300	2.000	3.200	20.300
75 Лусакерт CII	18.000	10.500		15.000	13.000
59 Бронзовая II сл.	24.400	20.600	6.300	8.600	6.800
58 Бронзовая I сл.	28.200	23.500	6.900	17.300	10.400
60 Бронзовая III сл.	30.500	24.400	7.200	12.200	12.200
61 Бронзовая IV сл.	29.600	24.400	9.000	10.300	9.700
14 Тират-Кармел	35.100	28.500	8.000	6.400	14.600
32 Варвази A	50.200	30.800	20.940	13.100	38.000
72 Таглар 6 сл.	60.800	33.300		38.400	30.700
56 Куларо III	60.000	39.300		55.500	28.800
68 Таглар 3 сл.	73.100	29.700		51.300	33.100
67 Таглар 2 сл.	69.900	27.500		51.000	36.000
70 Таглар 46 сл.	62.800	31.400		52.600	39.000
17 Джерф-Айла C	63.600		73.600	62.000	39.300
18 Джерф-Айла E	63.400		80.600	81.700	43.300
21 Дуара E	74.800		57.900	77.700	47.700
20 Дуара D	81.500		59.400	74.900	34.300
19 Дуара C	70.900		55.000	72.200	30.200
13 Кебара Lay F	71.700	63.700	58.400	66.500	28.600
3 Киссуфим	73.000		48.900	54.700	15.900
15 Шубабик I-IV	65.300	56.800	43.300	41.000	13.000
23 Кебара VIII	59.100	54.100		19.400	10.900
22 Кебара VII	58.200	53.100		18.100	12.000
25 Кебара X	75.400	71.900		20.000	13.300
24 Кебара IX	79.300	78.100		11.800	9.600
33 Шанидар Ахазава			8.620	10.900	
31 Варвази B	53.800	39.600	15.630	7.400	45.300
30 Варвази C	50.200	40.600	9.340	7.400	43.200
29 Варвази D			4.430		
5 Табун B48B	25.200	10.000	1.900	5.000	50.000
34 Шанидар Скиннер			0.750		
35 Хазар	43.200		1.050	3.000	12.700
36 Мерд	47.100		1.640	7.000	20.300
40 Кзар-Акил XXVIA	76.200	55.100	28.600	8.900	24.500
41 Кзар-Акил XXVIIA	78.900	59.900	27.600	8.600	25.700
26 Кебара XI	70.200	64.100		22.600	20.200
48 Сефуним VII	83.000	65.000	63.000	46.000	17.000
52 Ябруд I,2	77.800	67.100	58.600	53.900	24.600
45 Кеу II	83.700	66.100	53.300	66.700	21.300
44 Кеу I	79.100	61.700	48.900	66.100	25.700
46 Кеу III	78.300	57.000	48.100	70.900	27.200
39 Кзар-Акил XXVIB	75.200	57.800	43.500	26.500	19.700
42 Кзар-Акил XXVIII A	78.800	57.200	55.000	11.800	23.700
43 Кзар-Акил XXVIII B	67.500	44.600	58.600	13.500	27.600
12 Нахал-Акеф гор 3	57.400	43.100	47.100	8.700	25.300
49 Сефуним SH	40.500	45.900	38.100	11.500	8.100
73 Лусакерт B	53.000	34.000		25.400	22.400
47 Сефуним VI	54.000	41.000	65.000	34.000	25.000
74 Лусакерт CI	61.000	43.000		36.700	24.000
38 Кзар-Акил XXVIA	75.900	62.900	26.400	30.300	23.700
27 Кебара XII	87.500	83.300		30.500	22.900
54 Ябруд I,4	88.600	83.200		48.700	20.300
53 Ябруд I,7	78.600	68.700	44.600	47.000	37.100
7 Табун B39	64.600	54.500	60.300	53.300	57.200
16 Джерф-Айла B	53.100		66.700	62.000	47.200
79 Джручула II сл.	38.800	18.800		36.300	41.200
62 Бронзовая V сл.	28.200	26.900	7.500	19.300	14.600
66 Губский Навес				20.700	16.000
11 Рош-эйн-Мор	54.600	34.700	60.600	14.600	19.500
65 Монашеская	58.100	33.800		23.000	21.400
82 Ахштырская (низ)	64.400	22.200	25.800	22.900	21.100
71 Таглар 5 сл.	57.500	22.700		38.400	25.300
2 Эврон-Зиннал	46.800		27.300	33.100	22.800
81 Ахштырская (в)	54.000	13.700	26.300	20.700	19.800
50 Сефуним I2	25.000	15.000	30.000	5.000	30.000
77 Двойной Грот	25.500			17.000	21.200
51 Сефуним I3	40.000	30.000	71.000	30.000	30.000
8 Табун (C)18-26	52.000	35.900	66.100	22.000	35.700
9 Табун (B)1-17	59.900	50.500	64.700	36.000	64.200
10 Табун IX(D)	61.400	48.400	62.200	56.300	76.200
55 Куларо I	67.700	37.200	53.500	62.200	74.400
78 Джручула I сл.	62.500	30.000		60.400	68.500
57 Цонская пещера			34.100	64.200	64.200
37 Биситун	64.710		10.630	55.800	55.100
69 Таглар 4a сл.	73.600	34.400		53.100	43.700
80 Дашсалахлы	71.500	43.000	22.000	48.100	41.600
83 Кусрети II	71.000	41.300		44.500	31.200
63 Каркустакау	74.300	43.800	44.600	41.600	30.800
64 Тамарашени	71.000	41.300	38.800	30.800	

фасетирования (72.1%) с комплексом Кунджи. Поскольку при делении на 5 областей часть информации была потеряна, рассмотрим лишь ситуацию при делении на десять областей. В верхней части таблицы 6 обнаружены две смежные области, объясняющих

связь нефасетированных нелеваллуазских индустрий с достаточно низкими технологическими показателями.

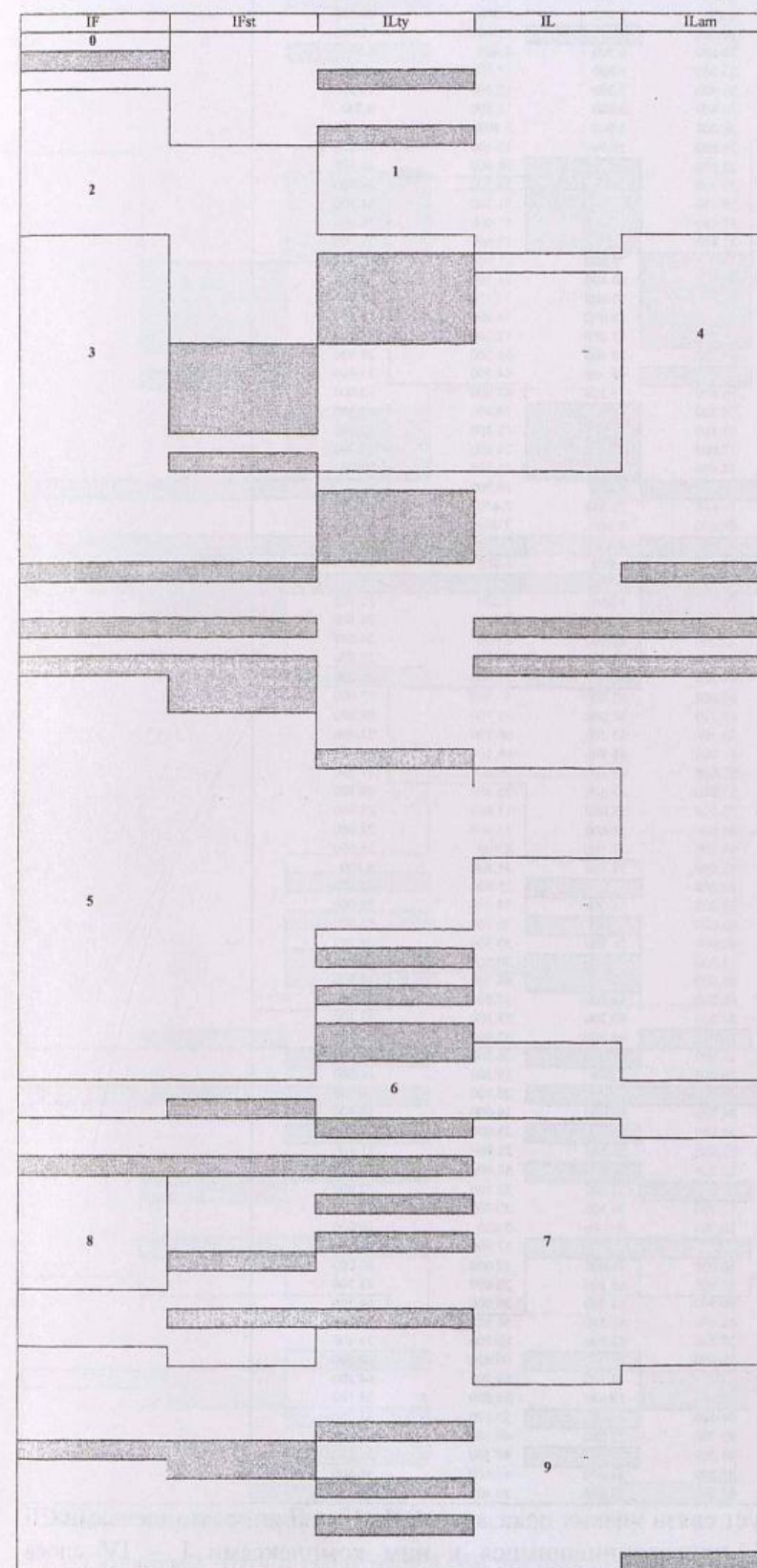


Рис.2. Схема расположения 10 областей.

Таблица 7. Распределение элементов по 5 областям.

	IF	IFst	ILty	IL	ILam
28 Кунджи Иран	72.100	0	22.800	7.600	11.100
1 Барам		8.500	13.800	2.300	2.800
76 Лусакерт D	18.000	7.000		3.700	13.000
4 Табун B80	22.200	4.300	1.200	1.000	20.900
6 Табун B48A	22.600	8.300	2.000	3.200	20.300
75 Лусакерт CII	18.000	10.500		15.000	13.000
59 Бронзовая II сл.	24.400	20.600	6.300	8.600	6.800
58 Бронзовая I сл.	28.200	23.500	6.900	17.300	10.400
60 Бронзовая III сл.	30.500	24.400	7.200	12.200	12.200
61 Бронзовая IV сл.	29.600	24.400	9.000	10.300	9.700
14 Тират-Кармел	35.100	28.500	8.000	6.400	14.600
32 Варвази A	50.200	30.800	20.940	13.100	38.000
72 Таглар 6 сл.	60.800	33.300		38.400	30.700
56 Кударо III	60.000	39.300		55.500	28.800
68 Таглар 3 сл.	73.100	29.700		51.300	33.100
67 Таглар 2 сл.	69.900	27.500		51.000	36.000
70 Таглар 46 сл.	62.800	31.400		52.600	39.000
17 Джерф-Айла C	63.600	1	73.600	62.000	39.300
18 Джерф-Айла E	63.400		80.600	81.700	43.300
21 Дуара E	74.800		57.900	77.700	47.700
20 Дуара D	81.500		59.400	74.900	34.300
19 Дуара C	70.900		55.000	72.200	30.200
13 Кебара Lay F	71.700	63.700	58.400	66.500	28.600
3 Киссуфин	73.000		48.900	54.700	15.900
15 Шубаббин I-IV	65.300	56.800	43.300	41.000	13.000
23 Кебара VIII	59.100	54.100		19.400	10.900
22 Кебара VII	58.200	53.100		18.100	12.000
25 Кебара X	75.400	71.900		20.000	13.300
24 Кебара IX	79.300	78.100		11.800	9.600
33 Шанидар Аказава			8.620	10.900	
31 Варвази B	53.800	39.600	15.630	7.400	45.300
30 Варвази C	50.200	40.600	9.340	7.400	43.200
29 Варвази D			4.430		
5 Табун B48B	25.200	10.000	1.900	5.000	50.000
34 Шанидар Скинер			0.750		
35 Хазар	43.200		1.050	3.000	12.700
36 Мерд	47.100		1.640	7.000	20.300
40 Кзар-Акил XXVIIA	76.200	55.100	28.600	8.900	24.500
41 Кзар-Акил XXVII B	78.900	59.900	27.600	8.600	25.700
20 Кебара XI	70.200	64.100		22.600	20.200
48 Сефуним VII	83.000	65.000	63.000	46.000	17.000
52 Ябруд 1,2	77.800	67.100	58.600	53.900	24.600
45 Кеу II	83.700	66.100	53.300	66.700	21.300
44 Кеу I	79.100	61.700	48.900	66.100	25.700
46 Кеу III	78.300	57.000	48.100	70.900	27.200
39 Кзар-Акил XXVIB	75.200	57.800	43.500	26.500	19.700
42 Кзар-Акил XXVIIA	78.800	57.200	55.000	11.800	23.700
43 Кзар-Акил XXVII B	67.500	44.600	58.600	13.500	27.600
12 Нахал-Акеф гор.3	57.400	43.100	47.100	8.700	25.300
49 Сефуним SH	40.500	45.900	38.100	11.500	8.100
73 Лусакерт B	53.000	34.000		25.400	22.400
47 Сефуним VI	54.000	41.000	65.000	34.000	25.000
74 Лусакерт CI	61.000	43.000		36.700	24.000
38 Кзар-Акил XXVIA	75.900	62.900	26.400	30.300	23.700
27 Кебара XII	87.500	83.300		30.500	22.900
54 Ябруд 1,4	88.600	83.200		48.700	20.300
53 Ябруд 1,7	78.600	68.700	44.600	47.000	37.100
7 Табун B39	64.600	54.500	60.300	53.300	57.200
16 Джерф-Айла B	53.100		66.700	62.000	47.200
79 Джручула II сл.	38.800	18.800		36.300	41.200
62 Бронзовая V сл.	28.200	26.900	7.500	19.300	14.600
66 Губский Навес				20.700	16.000
11 Рош-эйн-Мор	54.600	34.700	60.600	14.600	19.500
65 Монашеская	58.100	33.800		23.000	21.400
82 Ахштырская (низ)	64.400	22.200	25.800	22.900	21.100
71 Таглар 5 сл.	57.500	22.700		38.400	25.300
2 Эврон-Зиннад	46.800		27.300	33.100	22.800
81 Ахштырская (в)	54.000	13.700	26.300	20.700	19.800
50 Сефуним 12	25.000	15.000	30.000	5.000	30.000
77 Двойной Грот	25.500			17.000	21.200
51 Сефуним 13	40.000	30.000	71.000	30.000	30.000
8 Табун (C)18-26	52.000	35.900	66.100	22.000	35.700
9 Табун (B)1-17	59.900	50.500	64.700	36.000	64.200
10 Табун IX(D)	61.400	48.400	62.200	56.300	76.200
55 Кударо I	67.700	37.200	53.500	62.200	74.400
78 Джручула I сл.	62.500	30.000		60.400	68.500
57 Цонская пещера			34.100	64.200	64.200
37 Биситун	64.710		10.630	55.800	55.100
69 Таглар 4а сл.	73.600	34.400		53.100	43.700
80 Дашсалахлы	71.500	43.000	22.000	48.100	41.600
83 Кусрети II	71.000	41.300		44.500	31.200
63 Каркустаку	74.300	43.800	44.600	41.600	30.800
64 Тамарашени	71.000	41.300	38.800	30.800	

Область 1 характеризует связи низких показателей IL, ILty, ILam с комплексами CII и D пещеры Лусакерт I, присоединившимися к ним комплексами I – IV слоев Бронзовой пещеры. В группу вошли комплексы: Табун B80, Табун B48A и Тират-

Кармел. По этим показателям все указанные индустрии можно отнести к непластинчатым, нелеваллуазским.

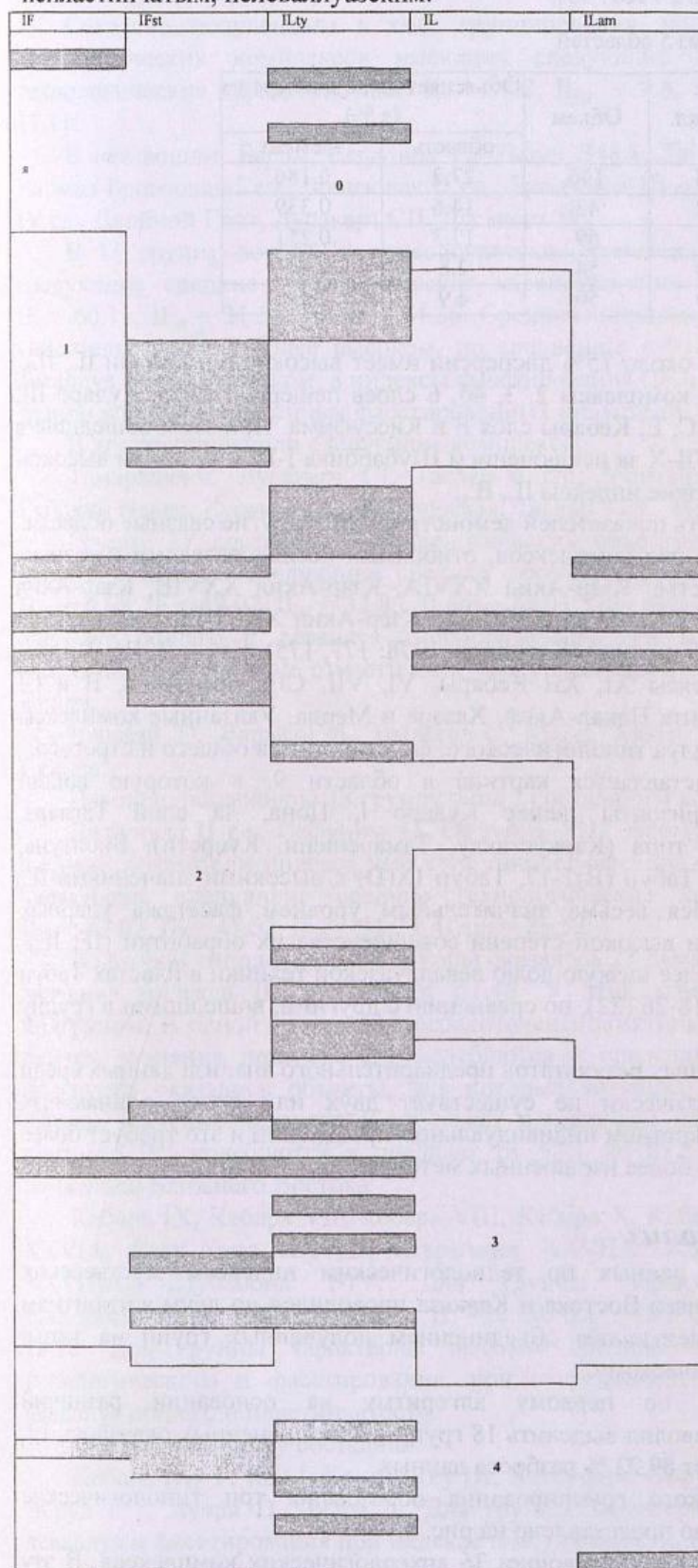


Рис.3. Схема расположения 5 областей.

Область 2, хотя и объясняет 1.5% дисперсии, тем не менее указывает на связь этих же комплексов с самыми низкими показателями IFst среди рассматриваемого круга памятников. Тем не менее показатель IFst указывает на то, что подправка ударных

площадок в слоях Бронзовой пещеры при всей ее ограниченности была почти исключительно тонкой [Любин, 1989: 43].

Таблица 8. Дисперсионный анализ 5 областей.

Область	Среднее	Ср. кв. откл.	Объем	Объясняет долю дисперсии (в %)	
				область	элемент
0	20.414	13.083	146	27.2	0.186
1	64.370	10.242	43	14.6	0.339
2	60.871	13.311	69	17.3	0.251
3	29.291	13.340	54	2.8	0.051
4	52.681	15.530	50	4.9	0.098

Область 3, объясняющая около 15% дисперсии имеет высокие показатели IL , IL_{ty} , IF ; IF_{st} . В эту область вошли комплексы 2, 3, 4б, 6 слоев пещеры Таглар, Кударо III, Дуары С, D, E, Джерф-Айлы С, E, Кебары слоя F и Киссуфима. При этом вошедшие в область Комплексы Кебары VII-X за исключением Шубаббика I-IV имели при высокой степени фасетированности низкие индексы IL , IL_{ty} .

Такую же неравномерность показателей демонстрируют и другие связанные области.

Так, область 5 образовал ряд комплексов, относимых исследователями к разным вариантам левантийского мустье: Кзар-Акил XXVIA, Кзар-Акил XXVIB, Кзар-Акил XXVIA, Кзар-Акил XXVIB, Кзар-Акил XXVIA, Кзар-Акил XXVIB, относимые к леваллу-мустье Ябруда (по Скинеру) (Коробков, 1978: 177, 175), Key I, II, III, 2, 4 и 7 комплексы Ябруда I, комплексы XI, XII Кебары, VI, VII, CH, Сефунима, В и CI Лусакерт I, а так же 3 горизонта Нахал-Акеф, Хазара и Мерда. Указанные комплексы имеют высокие индексы леваллу типологического, фасетирования общего и строгого.

Более однородной представляется картина в области 9, в которую вошли (Джручула, мустьерские горизонты пещер Кударо I, Цона, 4а слой Таглара, местонахождений открытого типа (Каркустакау, Тамарашени, Кусрети), Биситуна, комплексов Табун (C) 18-26, Табун (B) 1-17, Табун IX(D) с высокими значениями IL , IL_{ty} , IL_{am} , сопровождающийся весьма значительным уровнем фасетажа ударных площадок ($IF = 59.9-64.6$) при высокой степени совершенства их обработки (IF ; IF_{st}). При этом следует отметить более низкую долю леваллуазской техники в пластах Табун (B) 1-17 ($IL = 36$) и Табун (C) 18-26 (22), по сравнению с другими, вошедшими в группу комплексами.

Как видно из представленных результатов предварительного анализа данных среди объектов исследования практически не существует двух или более одинаковых сочетаний признаков в их конкретном индивидуальном проявлении и это требует более сложной проверки с помощью более изощренных методов.

1.3. Типологический анализ

Типологический анализ данных по технологическим индексам мустьерских комплексов Ближнего и Среднего Востока и Кавказа проводился по двум алгоритмам разбиения на группы с последующим объединением полученных групп на типы: дихотомическому и трихотомическому.

Типологический анализ по первому алгоритму на основании различий технологических индексов позволил выделить 18 групп, из них конечных оказалось 10. Разбиение на группы объясняет 89.22 % разброса данных.

На основе типологического группирования образованы три типологические группы. Типологическое дерево представлено на рис. 4.

В первую типологическую группу вошли 36 археологических комплексов. В эту группу вошли те объекты, для которых значения признака IF не превышают 51.46. Кроме того, в нее вошли те комплексы с большими значениями признака IF , для которых значения признака IL не превышают 41, а значения признака IF_{st} лежат в

коридоре 13.7-50.5 и значения признака IL_{ty} – в интервале 7.6-38.8. В состав этого типа вошли 4 группы: 9, 11, 17, 18.

Согласно полученным в ходе группирования данным в группу 9 вошли 14 археологических комплексов имеющих следующие достаточно низкие средние технологические характеристики: $IL = 9.02$, $IL_{ty} = 9.8$, $IF = 25.63$, $IF_{st} = 16.28$, $IL_{am} = 17.11$.

В нее вошли: Барам, Сефуним 12, Табун B48A, Табун B48B, Табун B80, Тират-Кармел Бронзовая I сл., Бронзовая II сл., Бронзовая III сл., Бронзовая V сл., Бронзовая IV сл., Двойной Грот, Лусакерт CII, Лусакерт D.

В 11 группу вошли 11 археологических комплексов, для которых характерны следующие средние технологические характеристики: $IL = 25.05$, $IL_{ty} = 27.56$, $IF = 60.11$, $IF_{st} = 31.54$, $IL_{am} = 24.26$. Средние показатели технологических индексов свидетельствуют о более высоком, по сравнению с 9 группой, индексе леваллу и леваллу типологическом, а индексы фасетирования (IF и IF_{st}) ранжируются в пределах границ хорошо выраженных фасетированных индустрий.

В эту группу вошли следующие комплексы:

Тамарашени, Лусакерт CI, Таглар 6 сл., Ахштырская (в), Ахштырская (низ), Губский Навес, Лусакерт B, Монашеская, Таглар 5 сл., Варвази B, Кунджи Иран.

Группу 17 составили 7 археологических объектов из одного географического района, имеющих следующие средние технологические характеристики: $IL = 9.93$, $IL_{ty} = 6.68$, $IF = 49.02$, $IF_{st} = 32.83$, $IL_{am} = 25.03$. При низких средних значениях индекса леваллу общего и леваллу типологического эти комплексы имеют показатели фасетажа, позволяющие отнести их к числу фасетированных индустрий. В эту группу вошли:

Варвази D, Варвази A, Варвази C, Мерд, Хазар, Шанидар Аказава, Шанидар Скинер,

Наконец, последнюю 18 группу типа 1 составили 4 комплекса:

Джручула II сл., Сефуним 13, Сефуним SH, Эврон-Зиннад. Эту группу отличают высокие показатели индекса леваллу типологического и фасетирования. Для группы характерны следующие средние технологические характеристики: $IL = 27.72$, $IL_{ty} = 42.02$, $IF = 41.52$, $IF_{st} = 31.23$, $IL_{am} = 25.52$.

Во второй типологической группе оказалось 23 памятника из числа тех, у которых значения индекса IF превышают 51.46. У этих комплексов две типологические подгруппы. В одной подгруппе сосредоточены памятники с признаком IL не выше 41, причем значения признака IF_{st} колеблются в пределах от 53.1 до 83.3. В другой подгруппе оказались объекты, для которых значения признака IL превышают 41, причем значения признака IL_{am} лежат в числовом коридоре 15.9-37.1, а значения признака IF_{st} колеблются в пределах от 53.1 до 83.2. В первую 8 группу вошли памятники Ближнего Востока:

Кебара IX, Кебара VII, Кебара VIII, Кебара X, Кебара XI, Кебара XII, Кзар-Акил XXVIA, Кзар-Акил XXVIB, Кзар-Акил XXVIA, Кзар-Акил XXVIB, Кзар-Акил XXVIA, Шубаббик I-IV. Для группы характерны следующие средние технологические характеристики: $IL = 20.79$, $IL_{ty} = 38.03$, $IF = 73.33$, $IF_{st} = 62.86$, $IL_{am} = 18.28$. Для группы характерны высокие средние показатели индекса леваллу типологического и фасетирования, при относительно низких показателях индекса леваллу общего и пластинчатости.

Вторую 14 группу составили:

Кебара Lay F, Key I, Key II, Key III, Киссуфим, Сефуним VII, Ябруд I 2, Ябруд I 4, Ябруд I 7, Дуара D, Дуара C. Для группы характерны очень высокие показатели леваллу и фасетирования при индексе пластинчатости, немного превышающем 25%.

Остальные 24 объекта вошли в третью типологическую группу. Тип 3 (группы 12, 13, 15, 16) имеет следующие средние технологические характеристики: $IL = 48.42$; $IL_{ty} = 51.31$; $IF = 64.33$; $IF_{st} = 39.61$; $IL_{am} = 43.94$.

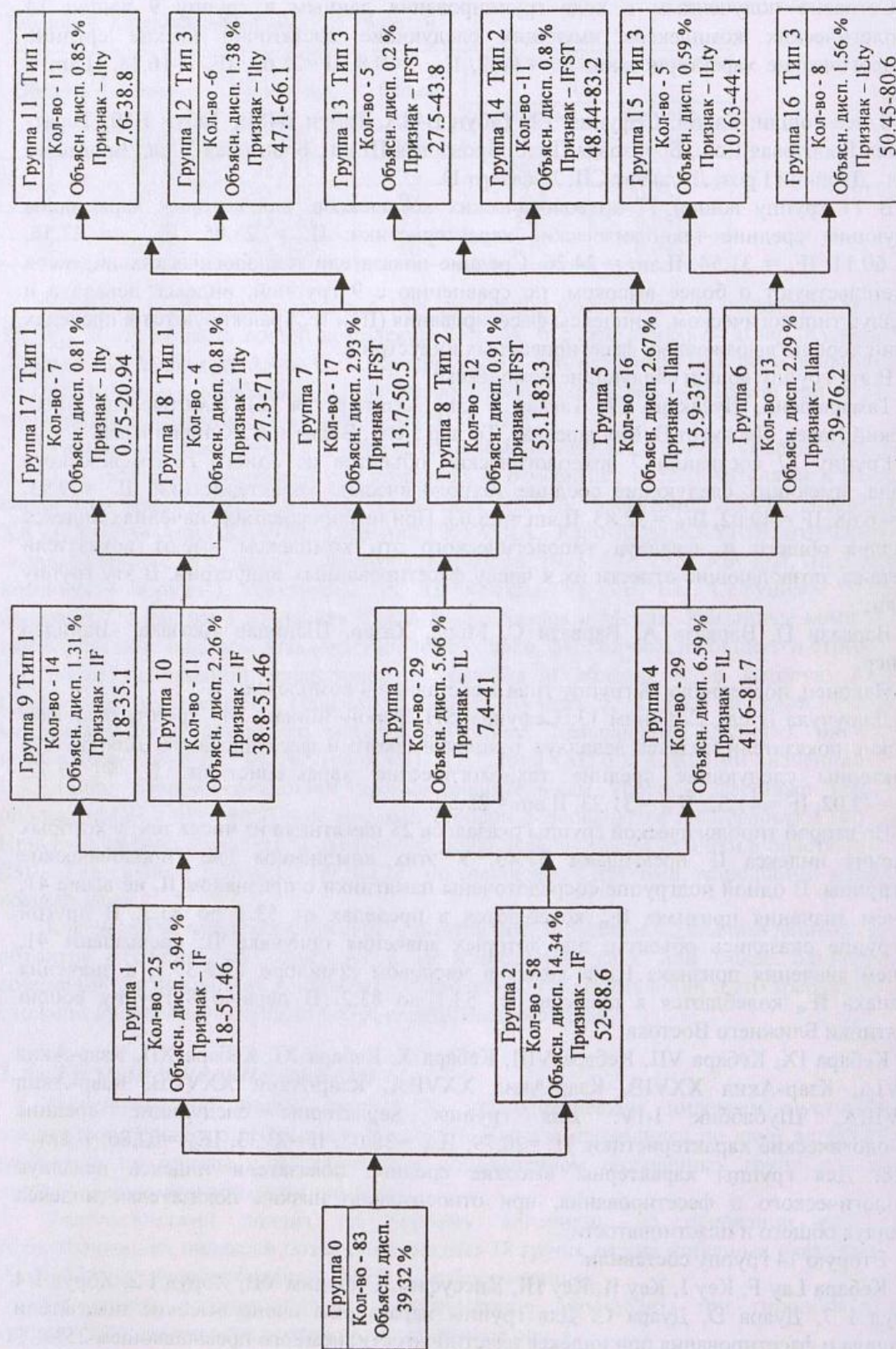


Рис. 4. Типологическое дерево (дихотомия).

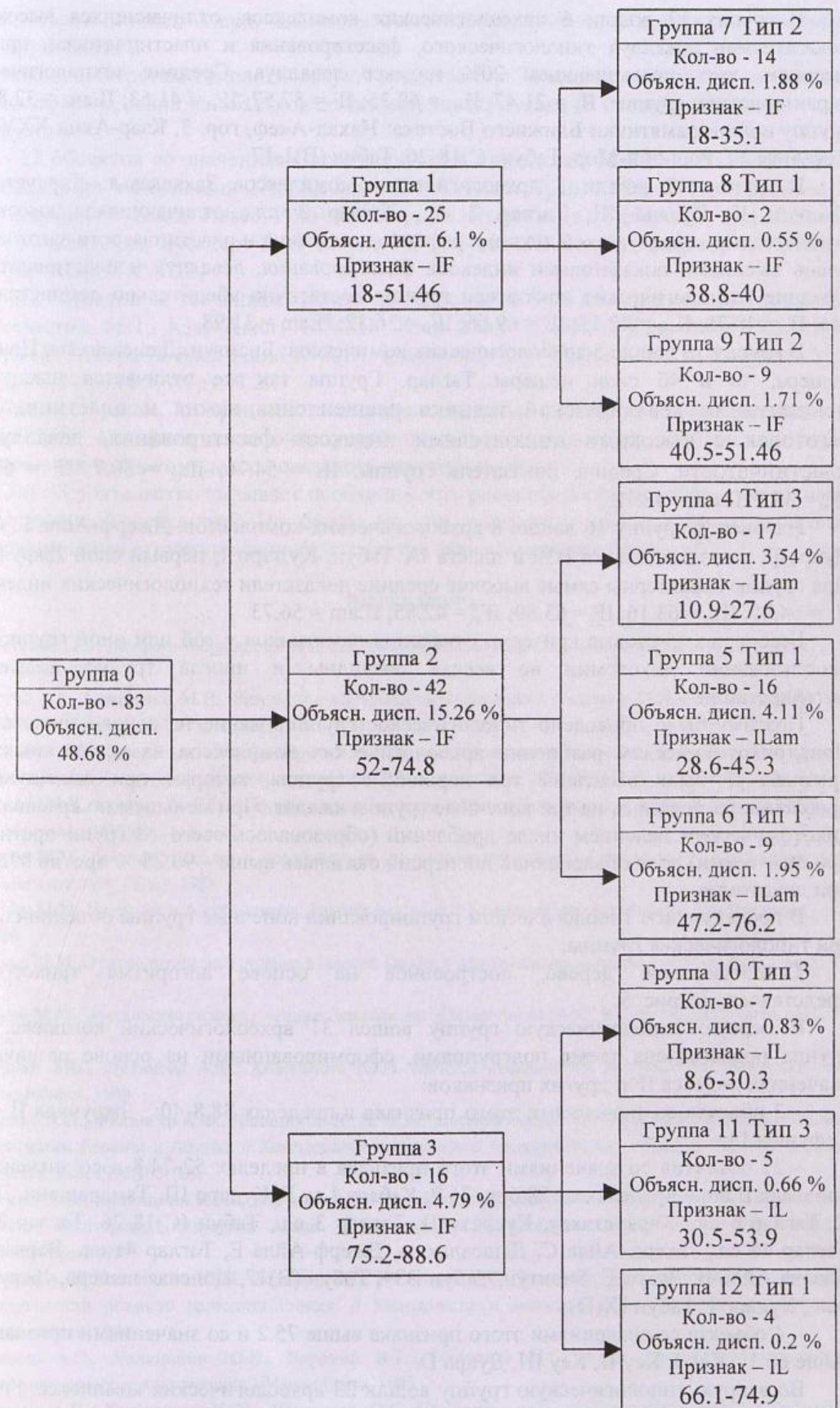


Рис. 5. Трихотомическое типологическое дерево.

В группу 12 вошли 6 археологических комплексов, отличающихся высокими показателями леваллуа типологического, фасетирования и пластинчатости, при не высоком, чуть превышающем 20% индексе леваллуа. Средние технологические характеристики группы: $IL = 21.47$; $IL_{ty} = 60.35$; $IF = 57.57$; $IF_{st} = 41.63$; $ILam = 32.88$. В группу вошли памятники Ближнего Востока: Нахал-Акеф, гор. 3, Кзар-Акил XXVIIIВ, Сефуним VI, Рош-эйн-Мор, Табун (С)18-26, Табун (В)1-17.

В группу 13 вошли 5 археологических комплексов Закавказья: Каркустакау, Кусрети II, Кударо III, Таглар 2 сл., Таглар 3 сл., отличающихся высокими показателями леваллуазской техники расщепления камня и пластинчатости заготовок с очень высокими показателями индексов фасетирования, леваллуа и пластинчатости. Средние технологические показатели группы достаточно убедительно демонстрируют это: $IL = 48.78$; $IL_{ty} = 42.13$; $IF = 69.66$; $IF_{st} = 36.32$; $ILam = 31.98$.

В группу 15 вошли 5 археологических комплексов: Биситун, Дашсалахлы, Цонская пещера, 4а и 4б слои пещеры Таглар. Группа так же отличается высокими показателями леваллуазской техники расщепления камня и пластинчатости заготовок с высокими показателями индексов фасетирования, леваллуа и пластинчатости. Средние показатели группы: $IL = 54.76$; $IL_{ty} = 30.7$; $IF = 67.83$; $IF_{st} = 35.3$; $ILam = 48.72$.

Наконец, в группу 16 вошли 8 археологических комплексов: Джерф-Айла В, С, Е, Дуара Е, комплекс пласта В39 и пласта IX Табун, Кударо I, первый слой Джручулы. Для группы характерны самые высокие средние показатели технологических индексов: $IL = 64.45$; $IL_{ty} = 63.16$; $IF = 63.89$; $IF_{st} = 42.85$; $ILam = 56.73$.

Бесспорно, числовые критерии отнесения памятников у той или иной группы при использовании дихотомии не всегда очевидны и иногда трудно поддаются интерпретации.

Поэтому было проведено типологическое группирование на основе трихотомии. При трихотомическом разбиении археологических комплексов на основе значений признака IF были выделены три первичные группы, которые при последующем дроблении разделились на три конечные группы каждая. При меньшем по сравнению с дихотомическим делением числе дроблений (образовалось всего 12 групп против 18 при дихотомии) доля объясненной дисперсии оказалась выше – 90.26 % против 89.22 % при дихотомии.

В последующем типологическом группировании конечные группы объединились в три типологические группы.

Типологическое дерево, построенное на основе алгоритма трихотомии, представлено на рис. 5.

В первую типологическую группу вошел 31 археологический комплекс. Эта группа представлена тремя подгруппами, сформированными на основе различий в значениях индекса IF и других признаков:

– 2 объекта со значениями этого признака в пределах 38.8-40: Джручула II сл. и Сефуним I3;

– 25 объектов со значениями этого признака в пределах 52-74.8 и со значениями признака $ILam$ в пределах от 28.6 до 76.2: Кебара Lay F, Кударо III, Тамарашени, Дуара С, Таглар 6 сл., Каркустакау, Кусрети II, Таглар 3 сл., Табун (С)18-26, Таглар 2 сл., Таглар 4б сл., Джерф-Айла С, Дашсалахлы, Джерф-Айла Е, Таглар 4а сл., Варвази В, Джерф-Айла В, Дуара Е, Биситун, Табун В39, Табун (В)17, Цонская пещера, Джручула I сл., Кударо I, Табун IX(D);

– 4 объекта со значениями этого признака выше 75.2 и со значениями признака IL выше 66.1: Key I, Key II, Key III, Дуара D.

Во вторую типологическую группу вошли 23 археологических комплекса. Группа сформирована из объектов, для которых значения признака IF находятся в интервалах от 18 до 35.1 и от 40.5 до 51.46: Лусакерт СII, Лусакерт D, Табун В80, Табун В48А, Бронзовая II сл., Сефуним 12, Табун В48В, Двойной Грот, Барам, Бронзовая I сл., Бронзовая V сл., Бронзовая IV сл., Бронзовая III сл., Тират-Кармел, Сефуним SH,

Хазар, Эврон-Зиннад, Мерд, Шанидар Аказава, Варвази С, Варвази А, Шанидар Скинер, Варвази D.

Наконец, в третью типологическую группу вошли 29 археологических комплексов. Группа сформирована из объектов со значениями признака IF выше 52 и включает две подгруппы.

– 17 объектов со значениями этого признака в пределах 52-74.8 и со значениями признака $ILam$, не больших 27.6: Кебара VIII, Кунджи Иран, Кебара VII, Шубаббик I-IV, Киссуфим, Губский Навес, Рош-эйн-Мор, Ахштырская (в), Кебара XI, Ахштырская (низ), Монашеская, Лусакерт В, Лусакерт CI, Сефуним VI, Нахал-Акеф гор.3, Таглар 5 сл., Кзар-Акил XXVIIIВ;

– 12 объектов со значениями этого признака выше 74.8 и со значениями признака IL , меньших 66.1: Кзар-Акил XXVIIIВ, Кзар-Акил XXVIIА, Кзар-Акил XXVIIIА, Кебара IX, Кебара X, Кзар-Акил XXVIВ, Кзар-Акил XXVIA, Кебара XII, Сефуним VII, Ябруд I 7, Ябруд I 4, Ябруд I 2.

Таким образом, в процессе построения дихотомического и трихотомического дерева было выявлено достаточно устойчивое ядро памятников. Однако при этом значительная часть комплексов оказалась неустойчивой.

Это обстоятельство вызывает необходимость решения вопроса о том, а не случаен ли полученный результат? Не будет ли при повторном сборе данных выявлена совершенно иная структура данных, структура взаимосвязи переменных?

ЛИТЕРАТУРА

- Анисюткин Н.К. К вопросу о принципах подразделения мустье. // Палеолит и неолит СССР, т. VI, (МИА, 173) - Л., 1971: 167 - 172.
- Векилова Е.А., Грищенко М.Н. Результаты исследования Ахштырской пещеры в 1961 - 1965 гг. // МИА, №185 (Палеолит и неолит СССР, т. VII, - Л., 1972: 41-54.
- Вишняцкий Л.Б. Пресориньяк и внутри-ябрудийский эпизод. // палеоэкология плейстоцена и культуры каменного века Северной Азии и сопредельных территорий. Т. 2 - Новосибирск, 1998: 401-412.
- Гвоздовец М.Д., Григорьев Г.П. О фашиальности в верхнем палеолите (по материалам Каменной Балки II). // КСИА. - М., 1975, вып. 141, с. 12.
- Гусейнов М.М. Древний палеолит в Азербайджане (по материалам пещеры Азы и др.) // Автореферат дис. ... доктора ист. наук. - Баку, 1985.
- Гусейнов М.М. Палеолит в Азербайджане: Ранний палеолит. // Каменный век и энеолит в Азербайджане. - Баку, 1984.
- Гусейнов М.М. О палеолитической стоянке в пещере Таглар. // Материальная культура Азербайджана. - Баку, 1973, Т. 7.
- Гусейнов М.М. Мустьерская стоянка в пещере Дашсалахлы. // Известия АН АзССР. Сер. общественных наук. 1959, № 6.
- Деревянко А.П., Фелингер А.Ф., Холюшкин Ю.П. Методы информатики в археологии каменного века. - Новосибирск, 1989.
- Деревянко А.П., Фелингер А.Ф., Холюшкин Ю.П. Опыт статистического группирования раннепалеолитических комплексов Евразии и Африки // Комплексные исследования палеолитических объектов бассейна р. Ануй. - Новосибирск, 1990: 165-188.
- Деревянко А.П., Холюшкин Ю.П., Воронин В.Т. Предварительные результаты информационно-статистического анализа мустьерских индустрий Алтая. // Методология и методика археологических реконструкций. - Новосибирск, 1994.
- Деревянко А.П., Холюшкин Ю.П., Воронин В.Т., Ростовцев П.С. Некоторые статистические подходы к оценке фашиальности позднего палеолита Енисея. // Методология и методика археологических реконструкций. - Новосибирск, 1994.
- Деревянко А.П., Холюшкин Ю.П., Воронин В.Т., Ростовцев П.С. и др. Математические методы в археологических реконструкциях. - Новосибирск, 1995.
- Деревянко А.П., Холюшкин Ю.П., Ростовцев П.С. Неандертальская проблема как задача статистического анализа. // III Итоговая сессия Института археологии и этнографии СО РАН. Тезисы докладов. - Новосибирск, 1995: 47-49.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С. Неандертальская проблема как задача статистического анализа (предварительные результаты). // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях. - Новосибирск, 1998.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Воронин В.Т., Ростовцев П.С. Некоторые статистические подходы к оценке фациальности мустьерских памятников Алтая. // Гуманитарные науки в Сибири, №3, - Новосибирск, 1996: 3-10.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Воронин В.Т., Ростовцев П.С. Структурный анализ мустьерских памятников Алтая. // Каменный век Казахстана и сопредельных территорий. - Туркестан, 1998: 93-111.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ позднелептостеовых комплексов Северной Азии. - Новосибирск, 1998.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ среднепалеолитических индустрий Ближнего и Среднего Востока. - Новосибирск, 1999.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Неандертальская проблема как задача статистического анализа. - Новосибирск, 2001.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ мустьерских индустрий Кавказа. Часть 1. Технологические индексы. - Новосибирск, 2002а.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ мустьерских индустрий Кавказа. Часть 2. Технологические индексы. - Новосибирск, 2002а.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ индексов мустьерских памятников Средней Азии // Проблемы каменного века Средней и Центральной Азии. - Новосибирск, Изд. ИАЭТ СО РАН, 2002: 92-101.

Джафаров А.К. Мустьерская культура Азербайджана. - Баку, 1983.

Джафаров А.К. Мустьерская культура Азербайджана (по материалам Тагларской пещеры). Автореферат дис..... канд. ист. наук. - Л., 1982.

Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. - М.: ИЛ, 1977.

Ерицян Б.Г. Новая нижнепалеолитическая пещерная стоянка Лусакерт I (Армения) // КСИА - 1975, вып. 141: 42 - 50.

Ефименко П. К вопросу о стадиях каменного века в Палестине. // Ежегодник Русского Антропологического Общества. Т. V, 1915.

Жамбю М. Иерархический кластерный анализ и соответствия. - М.: Финансы и статистика, 1988.

Замятин С.Н. О возникновении локальных различий в культуре палеолитического периода. // Происхождение человека и древнейшее расселение человечества. - М., 1951 (Труды Института этнографии, н.с., Т. 16).

Замятин С.Н. Древнее население Кавказа и его культура. // Народы Кавказа. Т. 1. - М., 1960.

Клейн Л.С. К оценке эмпиризма в современной археологии // Проблемы археологии и этнографии. Вып. 1. - Л., 1977.

Колчин Б.А., Маршак Б.И., Шер Я.А. Археология и математика // Статистико-комбинаторные методы в археологии. - М., 1970.

Коробков И.И. Палеолит Восточного Средиземноморья // Палеолит мира: Палеолит Ближнего и Среднего Востока. - Л., 1978: 9 - 185.

Коробков И.И. К вопросу о дивергентном характере эволюции древнепалеолитических индустрий (По материалам памятников Черноморского побережья Кавказа). // Actes du VIIe Congr. Intern. des sciences Préhist. Et Protohist. Prague (21-27 VIII 1966). - Prague, 1970.

Коробков И.И. К вопросу о дивергентном характере эволюции древнепалеолитических индустрий (По материалам памятников Черноморского побережья Кавказа). // Доклады и сообщения археологов СССР на VII Международном конгрессе доисториков и протоисториков. - М., 1966

Лбов Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. - Новосибирск: наука, 1981, 1983

Любин В.П. Палеолит Кавказа. // Палеолит мира: Палеолит Кавказа и Северной Азии. - Л., 1989: 9 - 142.

Любин В.П. Мустьерские культуры Кавказа. - Л., 1977: 222.

Любин В.П. К вопросу о методике изучения нижнепалеолитических каменных орудий. // Палеолит и неолит СССР, Т. 5. - М.-Л., 1965: 7-75.

Любин В.П., Соловьев Л.Н. Исследования Малой Воронцовской пещеры на черноморском побережье Кавказа. // Материалы и исследования по археологии СССР. - Л., 1971, № 173: 7 - 40.

Миркин Б.Г. Анализ качественных данных и структур. - М., 1980.

Муратов В.М., Ауглев П.У. Среднекавказское раннепалеолитическое поселение. // Материалы по археологии СССР. - Л., 1971 (палеолит и неолит СССР, том 6): 41 -48.

Ранов В.А. Парадокс леваллуа. // Каменный век. Памятники. Методика. Проблемы. - Киев: Наукова Думка, 1989: 46-50.

Ростовцев П.С. Статистическое согласование мер связи в анализе социально-экономической информации. // Экономика и математические методы, 1991, т. 27, вып. 1: 150-156.

Ростовцев П.С., Костин В.С. Автоматизация типологического группирования. Препринт №137. - Новосибирск, 1995

Сулейманов Р.Х. Статистическое изучение культуры грота Оби-Рахмат. - Ташкент, 1972.

Тушабрамишвили Н.Д., Твалчрелидзе М.Г., Лордкипанидзе О.Д., Буачидзе Ц.И. Палеолитическая стоянка Ортвала-Клде // Хроностратиграфия палеолита Северной, Центральной и Восточной Азии и Америки. - Новосибирск, 1990: 293-295.

Фелингер А.Ф., Холушкин Ю.П. Опыт статистического группирования палеолитических памятников Алтая. // Историография и источники изучения исторического опыта освоения Сибири, вып. I. Досоветский период. - Новосибирск, 1988: 6-8.

Формозов А.А. Этнокультурные области на территории европейской части СССР в каменном веке. - М., 1959.

Формозов А.А. Проблема локальных различий в древнем палеолите СССР. // СА, 19586, №1.

Холушкин Ю.П. Кластерный анализ технологических индексов мустьерских комплексов Средней Азии. // Археология и этнография Сибири и Дальнего Востока. Тезисы докладов XXXVIII Региональной археолого-этнографической студенческой конференции, посвященной 90-летию академика А.П.Окладникова. - Улан-Удэ, 1998: 164-165.

Холушкин Ю.П. Новые направления в изучении палеолита Северной Азии. Диссертация на соискание ученой степени доктора исторических наук в виде научного доклада. - Новосибирск, 1992.

Холушкин Ю.П., Жилицкая Г.Ю. К методике восстановления данных при анализе технологических индексов мустьерских комплексов Средней Азии. // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях. - Новосибирск, 1998:

Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С. О методике исследования устойчивости выявленных структур на материалах мустье Средней Азии. // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Т. IV - Новосибирск, 1998а: 516-517.

Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С. Структурный анализ технологических индексов мустьерских комплексов Средней Азии. // Каменный век Казахстана и сопредельных территорий. - Туркестан, 1998б: 211-215.

Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С. Проблема статистического обоснования критериев выделения мустьерских фаций на территории Средней Азии. // Гуманитарные науки в Сибири, №3, - Новосибирск, 1997: 3-6.

Akazawa T. The ecology of the Middle Paleolithic occupation at Douara Cave, Syria. // Bulletin of the University Museum, University of Tokyo. - Tokyo, 1987, N 29: 155-166.

Bar-Yosef O. The role of Western Asia in modern human origin. // The Origin of Modern Humans and the Impact of Chronometric Dating. - Princeton, 1993: 132 - 147.

Bar-Yosef O. A Middle Paleolithic chronology and the transition to the Upper Palaeolithic in southwest Asia. // Continuity or Replacement: Controversies in Homo sapiens Evolution. - Rotterdam, 1992: 589 -610.

Bar-Yosef O., Goldberg P. An Outline of the Chronology of the Middle Palaeolithic in the Levant. // L'homme de Néandertal. Vol. 2. - Liege, 1988: 13-21.

Bar-Yosef O., Meignen L. Insight into Levantine Middle Paleolithic Cultural Variability. // The Middle Paleolithic: Adaptation, Behavior, and Variability. University Museum Monograph 78, University of Pa, 1992: 163-182.

Bar-Yosef O., Vandermeersch B., Arensburg B., Belfer-Cohen A., Goldberg P., Laville H., Meignen L., Rak Y., Speth J.D., Tchernov E., Tillier A.-M., Weiner S. The Excavation in Kebara Cave, Mt. Carmel // Current Anthropology. - 1992, Vol. 33, N.5: 497 -550.

Baumer M.F., Speth J. A Middle Paleolithic Assemblage from Kundji Cave, Iran. // The Paleolithic of the Zagros-Taurus. - Philadelphia, 1993: 1-73.

Believa E.V., Lioubine V.P. The Caucasus-Levant-Zagros: Possible relations in the Middle Paleolithic. // Prehistoire d'Anatolian Prehistory at the Crossroad of two Worlds. Vol 1. Actes du Colloque international Liege 25 avril -3 mai 1997. Liege, 1998: 39-56.

Binford L.R., An archaeological perspective. - N.Y.- London, 1972.

Binford L.R., and Binford S.R. A Preliminary Analysis of Functional Variability in the Mousterian of Levallois Facies // American anthropologist - 1966, № 68:238-295.

Bordes F. Le Paleolithique inferieur et moen de Jabrud (Syrie) et la question du pre-Aurignacien. // L'Anthropologie, 59 (5-6), 1955: 486-507.

Bordes F. Principes d'une methode d'etude des techniques de debitage et de typologie du Paleolithique ancien et moyen // L'anthropologie, 1950, v. 54:19-34.

Copeland L. The Middle and Upper Palaeolithic of Lebanon and Syria in the light of recent research. // Problems in Prehistory: North Africa and the Levant. - Dallas, 1975: 317-350.

Crew H.L. The Mousterian Site of Rosh Ein Mor. // Prehistory and Paleoenvirments in the Central Negev, Israel, Vol. 1. - Dallas, 1976: 427-438.

Dibble H.L., Holdaway S.J. A Middle Paleolithic Industries of Warwasi. // The Paleolithic of the Zagros-Taurus. - Philadelphia, 1993: 73-99.

- Derevianko A.P., Kholiouchkine Y.P., Voronine V.T., Rostovtsev P.S. L'Analyse statistique des Ensembles de paleolithique moyen du proche-et Moyen-Orient. -Novosibirsk, 2001
- Efron B. & Diaconis P. Computer intensive methods in statistics. // Scientific American, 1983: 116-130.
- Efron B. Better bootstrap condidence intervals // J. American Statist. Association, 1986, 81
- Eving J.F. Preliminary Note on the Exavational the Paleolithic Site of Kzar Akil, Republic of Lebanon. // Antiquity, 21, 1947: 186-196.
- Garrod D. Notes sur le Paléolithique supérieur du Moyen Orient. // Bulletin de la Société Préhistorique de France - Paris, 1957, T. 54, N. 5-6.
- Garrod D., Bate D. The Stone Age of Mount Carmel. -Clarendon Press, 1937, vol. 1.
- Gilead I. Problems and Perspects in the study of the Levallois Technology in the Levant: The Case of Fara II, Israel // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 79.
- Haller J. Notes de préhistoire phénicienne: L'Abri d'Abou Halka (Tripoli). // Bulletin du Musée de Beyrouth, 6, 1946: 1-20.
- Hartigan J.A. Clustering algorithms // Wiley. - N.Y., 1975.
- Henry D.O. Summary of Prehistoric and Paleoenviromental Research in the Northern Hisma. // The Prehistoric of Jordan^ The State of Research in 1986. BAR International Series 396(i) - Oxford, 1988: 7-37.
- Henry D.O. The Influence of Mobility Levels on Levallois Point Production, Late Levantine Mousterian, Southery Jordan // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 185 - 200.
- Hours F., Copeland L., Aurenche O. Les industries paléolithiques du Proche-Orient, essei du corrélation.// L'Anthropologie, 1973, T. 77, N 3-4.
- Jelinek A.J. Technology, Typology, and Culture in the Middle Paleolithic. // Upper Pleistocene Preghistory of Western Eurasia, 1988: 199-214.
- Jelinek A.J. Tabun Cave and Paleolithic Man in the Levant.// Scince, 282, 1982: 1369-1375.
- Jelinek A.J. The Middle Paleolithic in the southern Levant.// Préhistoire du Levant. - Lyon, 1981.
- Jelinek A.J. A Preliminary report on some Lower and Middle Paleolithic industries from the Tabun Cave, Mount Carmel (Israel).// Problems in Prehistory: North Africa and the Levant. - Dallas: SMU Press, 1975: 297-315.
- Kendell M.G. A Course in multivariate analysis. - London, 1957.
- Kholushkin Yu.P., Rostovtsev P.S. Problem of statistical Grounding of the Criteria for identification of the Mousterian faciies in the Central Asia. // Pre'histoire Europe'enne? Vol. 11, 1977.
- Kintigh K. Measuring archaeological diversity by comparison with Simulated assemblages.// American Antiquety, vol. 49, 1984: 44-54.
- Marks A.E. Typological Variability in the Levantine Middle Paleolithic.// The Middle Paleolithic: Adaptation, Behavior and Variability. University Museum series, vol.2., 1992: 127-142.
- Marks A.E. Early Mousterian Settlement Patterns in the Sentral Negev, Israel: Their Social and Economic Implications. // L' Homme de Neandertal. - Liege, 1989, vol. 6: 115-126.
- Marks A.E. The Levantine Middle to Upper Paleolithic Transition: the past and present.// Studi di paletnologia in onore di Salvatore M. Puglisi. - Roma, 1985: 123-136.
- Marks A.E. The Middle Paleolithic of The Negev. // Préhistoire du Levant. - Paris: CNRS, 1981: 287-298.
- Marks A.E., Monigal K. The Production of Elongated Blanks from the Early Levantine Mousterian at Rosh Ein Mor: A Technological Perspective// The Definition and Interpretation of Levallois Technology. International Conference (11.05.93-15.05.93), The University of Pennsylvania and Harvard University., 1993.
- Marks A.E., Monigal K. Modeling the Production of Elongated Blanks from Early Levantine Mousterian at Rosh Ein Mor // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 267-277.
- Marks A.E., Volkman P. The Mousterian of Ksar Akil: levels XXVIA through XXIIIB.// Paleorient, 1986, vol. 12/1: 5-20.
- Meignen L. Levallois Lithic Production Systems in the Middle Paleolithic of the Near East: The Case of the Unidirectional Method // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 361-379.
- Movius H.L. Early man and Pleistocene stratigraphy in Southern and Eastern Asia. // Papers of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology, 1944, vol. 19, N 3.
- Muhsen S. The Transitional Lower-Middle Paleolithic industries in Syria. // The Evolution & Dispersial of modern humans in Asia. - Tokio, 1992: 51-65.
- Neuville R. Le Préhistorique de Palestine. // Revue Biblique, 43, 1934: 237-259.
- Nishiaky Y., Copeland L. Keoue Cave, Northern Lebanon and the context of the Levantin Mousterian. // The Evolution & Dispersial of modern humans in Asia. - Tokio, 1992:107-127.
- Ohnuma Katsuhiko. The sagnificance of Layer B (square 8-9) of the Amud Cave (Israel) in the Levantine Levalloiso-Mousterian: a technological study. // The Evolution & Dispersial of modern humans in Asia. - Tokio, 1992: 83-106.
- Perrot J. La Préhistoire palestinienne.// Supplément au dictionnaire de la Bible, 1967, t. 8, N.43.

- Ringrose T. Bootstrapping and correspondenting analysis in archaeology. // Journal of Archaeological Sciences, vol. 19, 1992: 615-629.
- Roland N.I. Dibble H.L. A new synthesis of middle paleolithic variability // American Antiquity. - 1990, v. 55, № 3: 480-499.
- Ronen A. Sefunim Prehistoric Sites Mount Carmel, Israel. // BAR International Series 230 (ii), vol.2- Oxford, 1984
- Ronen A. The Levallois Method as a Cultural Constraint. // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 293-304.
- Ronen A. The Levallois method as a cultural marker. // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995.
- Rust A. Die Hondlenfunde von Jabrud, Syrien. // Offa-Büher. - Neumünster, 1950.
- Shea J.J. Behavioral Factors Affecting the Production of Levallois Points in the Levantine Mousterian. // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 279 - 292.
- Simon J. Resampling: The New Statistics, Resampling Stats. - Arlington, VA, 1993.
- Simon J. What some puzzling problems teach about the theory of simulation and the use of resampling. // American Statistician, vol. 48, 1994: 290-293.
- Skinner J. The flake industries of Southwest Asia:a typological study. PhD dissert. (Microfilms). - Columbia Univers., 1965.
- Solecki Rose L., Solecki Ralph S. The Mousterian Industries of Yabroud Shelter I: a Reconsideration // The definition and Interpretation of Levallois Technology.-Madison, 1995: 381-397.
- Waechter J. The exavation of Jabrud and its relations to the prehistory of Palestine and Syria.// VIII Annal. Report Univ. Inst. Of Archaeol. - L., 1952.

Березин Д.Ю. Попытка корреляции некоторых неолитических Жилицкая Г.Ю. памятников на Нижней Ангаре на основе керамического материала

Памятники Усть-Илим, Бадарма I, II, III, Тушама, Колпаковка и Окуневка являются многослойными стоянками, содержащими в себе материалы охватывающие период от различных стадий неолита до железного века [Васильевский, Бурилов, Дроздов, 1988: 31-77; Привалихин, Березин, 1995; Васильевский, Березин, Дроздов, 1993: 150-153].

Расположены они на р. Ангара между Шаманским и Анлинским порогами. Данный участок имеет протяженность более трехсот км и представляется достаточно изолированным. Желая установить степень сходства и различия перечисленных выше объектов в неолитическое время, авторы взяли за основу керамику, так как она является наиболее массовым и самым показательным археологическим материалом для изучения памятников неолита и бронзы в Прибайкалье [О.И. Горюнова, Н.А. Савельев, 1975: 50]. Производство керамики – это система навыков труда, взаимосвязанных между собой, выработанная эмпирическим путем, передающаяся из поколения в поколение и превращенная, таким образом, в традицию [Ломан, 1992: 3]. Наиболее же традиционными являются орнаментальные мотивы и их сочетания, орнаментальные штампы, способы и техника нанесения орнамента на внешнюю поверхность тулова сосуда.

Для этой цели была составлена сводная таблица (табл. 3) по 19 неолитическим памятникам Ангары (табл. 1), охватывающая более шести тысяч образцов и включающая в себя 44 вида орнаментов, включая технические (табл. 2). По столбцам в сводной таблице расположены памятники, по строкам – типы орнаментов.

Таблица 1. Памятники Ангары.

№	Наименование	№	Наименование
1	Усть-Илим, раскоп I, слой II	11	Бадарма III, слой I
2	Усть-Илим, раскоп III, слой	12	Бадарма III, слой II
3	Бадарма I, слой II, горизонт I	13	Тушама, слой IV
4	Бадарма I, слой II, горизонт II	14	Тушама, слой V
5	Бадарма I, слой III	15	Колпаковка, слой II
6	Бадарма II, слой I, горизонт II	16	Парта, слой II, горизонт I
7	Бадарма II, слой I, горизонт	17	Парта, слой II, горизонт II
8	Бадарма II, слой I, горизонт V	18	Парта, слой III
9	Бадарма II, слой II, горизонт I	19	Окуневка, слой II
10	Бадарма II, слой II, горизонт		

Таблица 2. Типы орнаментов.

№	Наименование	№	Наименование
1	без орнамента	24	вдавления круглой палочкой с плоским рабочим концом
2	узкие валики	25	зубчатый штамп, вдавления круглой палочкой с плоским рабочим концом
3	сетка-плетенка	26	сетка-плетенка, вдавления круглой палочкой с плоским рабочим концом
4	прочерченный	27	ямки, отступающая плоская лопаточка с овальным рабочим концом
5	зубчатый штамп	28	ямки, вдавления плоской лопаточкой с овальным рабочим концом
6	описывающая круглая палочка с плоским рабочим концом	29	«личинки», отступающая круглая палочка с плоским рабочим концом
7	отступающая плоская лопаточка с прямоугольным рабочим концом	30	ямки, насечки
8	вдавления плоской лопаточкой с прямоугольным рабочим концом	31	«жемчужины», прочерченный.
9	«жемчужины»	32	«жемчужины», прочерченный, защиты пальцами
10	амурская плетенка	33	прочерченный, насечки
11	вдавления пальцем	34	вдавления ногтем, защиты пальцами
12	вдавления плоской лопаточкой с овальным рабочим концом	35	зубчатый штамп, вдавления пальцем.
13	зубчатый штамп, отступающая круглая палочка с плоским рабочим концом	36	«жемчужины», колесики
14	«жемчужины», ямки, насечки	37	«личинки», узкие валики
15	«жемчужины», насечки	38	прямоугольный налепной валик, отступающая плоская лопаточка с прямоугольным рабочим концом
16	колесико	39	узкие налепные валики, ямки
17	«жемчужины», зубчатый штамп	40	«жемчужины», колесико, вдавления плоской лопаточкой с овальным рабочим концом
18	налепные валики, вдавление пальцем	41	«личинки», сетка-плетенка.
19	налепные валики, отступающая круглая палочка с плоским рабочим концом	42	«личинки», дырочки, насечки.
20	отступающая плоская лопаточка с овальным рабочим концом	43	подтреугольный налепной валик, насечки
21	«личинки»	44	«личинки», ямки
22	«жемчужины», сетка-плетенка		
23	зубчатый штамп, ямки, насечки		

Для выявления структуры совокупности памятников на основании табличных данных, отражающих в скрытой форме сходство и различия археологических комплексов в информации о типах орнамента, были проведены факторный и кластерный анализы. Для этой цели табличные данные были предварительно обработаны: абсолютные значения были переведены в относительные (в проценты).

На преобразованных данных была рассчитана матрица коэффициентов корреляции $|R_{ij}|$ (табл.4). Для последующего факторного и кластерного анализа были отобраны существенные значения коэффициентов: $|R_{ij}| > 0.48$.

По выбранным значениям коэффициентов из 44 переменных 23 имеют единственное ненулевое значение. Это номера: 16 (колесико), 17 («жемчужины», зубчатый штамп), 18 (налепные валики, вдавление пальцем), 19 (налепные валики, отступающая круглая палочка с плоским рабочим концом), 25 (зубчатый штамп, вдавления круглой палочкой с плоским рабочим концом), 26 (сетка-плетенка, вдавления круглой палочкой с плоским рабочим концом), 27 (ямки, отступающая плоская лопаточка с овальным рабочим концом), 28 (ямки, вдавления плоской лопаточкой с овальным рабочим концом), 29 («личинки», отступающая круглая палочка с плоским рабочим концом), 30 (ямки, насечки), 32 («жемчужины», прочерченный, защиты пальцами), 33 (прочерченный, насечки), 34 (вдавления ногтем, защиты пальцами), 35 (зубчатый штамп, вдавления пальцем), 36 («жемчужины», колесика), 37 («личинки», узкие валики), 38 (прямоугольный налепной валик, отступающая плоская лопаточка с прямоугольным рабочим концом),

40 («жемчужины», колесико, вдавления плоской лопаточкой с овальным рабочим концом), 41 («личинки», сетка-плетенка), 42 («личинки», дырочки, насечки), 43 (подтреугольный налепной валик, насечки), 44 («личинки», ямки).

Таблица 3. Сводная таблица образцов керамики по памятникам неолита Ангары

Виды орнамента	Памятники																			Всего
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	20	49	10	83	46	69	11	24	10	32	11	41	13	34	17	39	13	74	373	2303
2	5	5														12			66	88
3	16	78	92	39	24	42	86		41	18	61	20	11	29	93	16	10	52	152	1374
4	19			46			45						81	17		96		29	1	334
5	17	10	58	24		16	51	1	39	4	12	9	43		86	56	89	1	89	699
6	20	41	1	1		10	48		59		36			4	24	16		16		276
7	1	6	56		16	8									69	0	31		59	246
8	2						1		28			15	1		70	81				198
9	3	5																		8
10	10																		1	11
11		18											31							49
12		20									12				62				4	98
13		4									1					23				28
14			39		4		4						1			11				59
15			1				1						5				16		18	41
16			1																	1
17				1																1
18						12														12
19						6														6
20						9					16	8			59					92
21							12								70	44	2		58	186
22							2						1							3
23								1	1						4					6
24									32											32
25									12											12
26											1									1
27												1								1
28													4							4
29													10							10
30													1							1
31													1							2
32														2						2
33														2						2
34															58					58
35															5					5
36																1				1
37																2				2
38																4				4
39																4			5	9
40																1				1
41																	1			1
42																	1			1
43																		3		3
44																			32	32
Итого	44	33	35	19	90	17	36	26	31	54	25	94	42	88	77	91	38	17	838	6283

Шесть переменных, имеющих соответственно номера 9 («жемчужины»), 10 (амурская плетенка), 11 (вдавления пальцем), 22 («жемчужины», сетка-плетенка), 31 («жемчужины», прочерченный) и 39 (узкие налепные валики, ямки), имеют по два ненулевых значения.

11), (11).

53

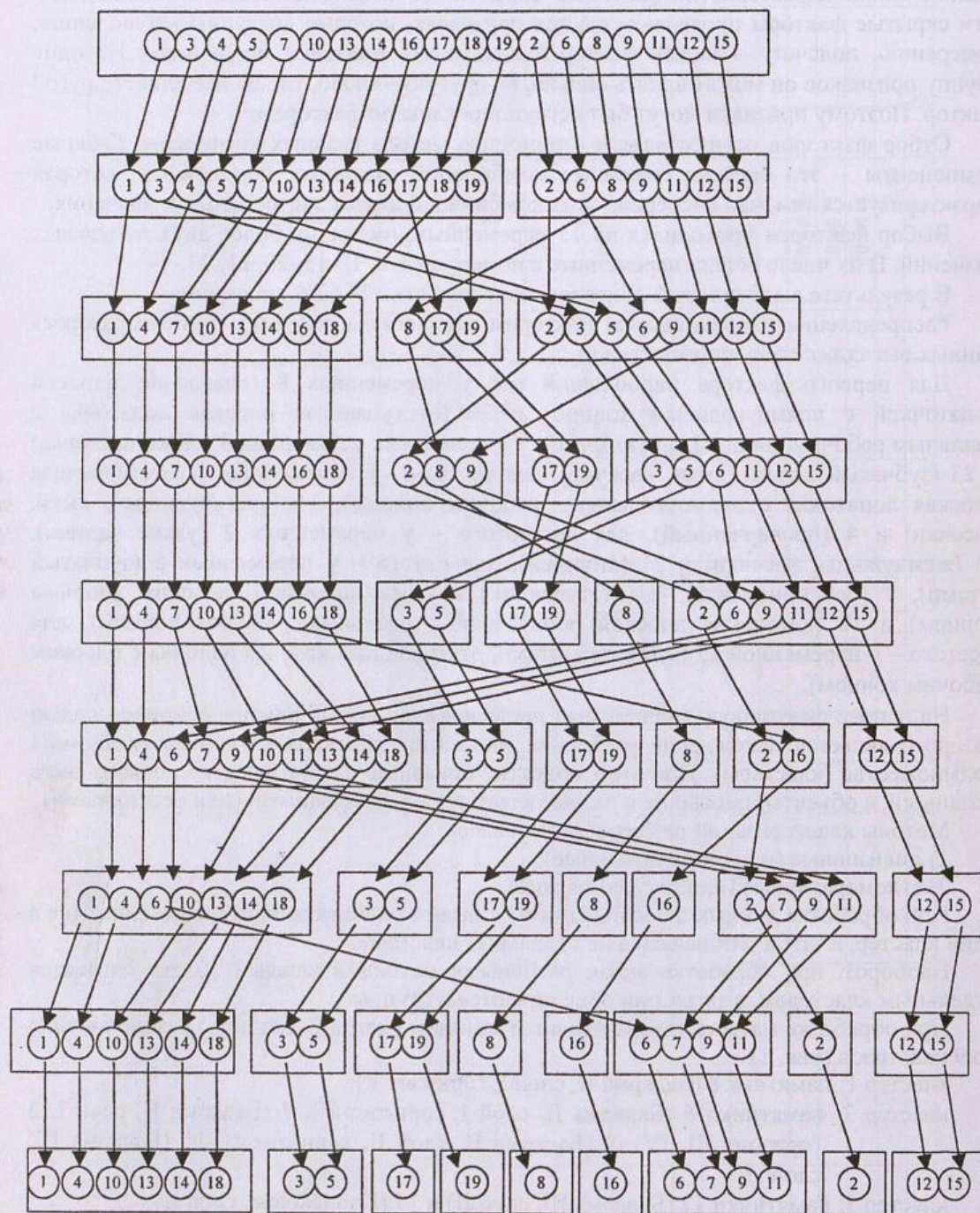


Рис. 1. Разбиение совокупности памятников на кластеры методом К-средних.

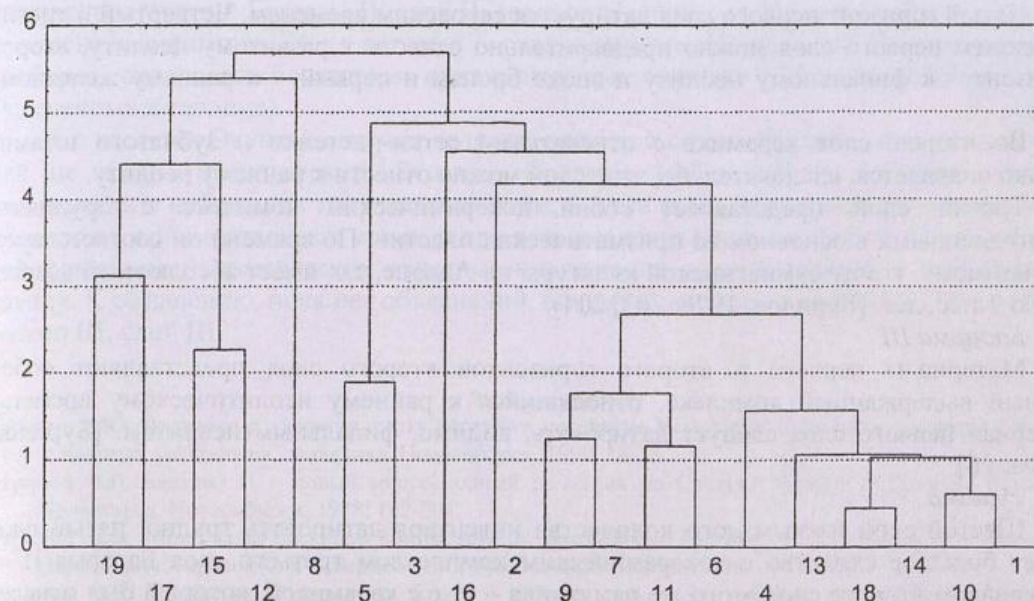


Рис. 2. Схема иерархического кластерного анализа.

С одной стороны, выделились в пять кластеров отдельные памятники:

- 1) 2 (Усть-Илим, раскоп III, слой III),
- 2) 8 (Бадарма II, слой I, горизонт V),
- 3) 16 (Парта, слой II, горизонт I),
- 4) 17 (Парта, слой II, горизонт II),
- 5) 19 (Окуневка, слой II).

С другой стороны, объединились в кластеры похожие между собой памятники:

- 1) 3 (Бадарма I, слой II, горизонт I) и 5 (Бадарма I, слой III);
- 2) 12 (Бадарма III, слой II) и 15 (Колпаковка, слой II);
- 3) 1 (Усть-Илим, раскоп I, слой II), 4 (Бадарма I, слой II, горизонт II), 10 (Бадарма II, слой II, горизонт II), 13 (Тушамы, слой IV), 14 (Тушамы, слой V), 18 (Парта, слой III);
- 4) 6 (Бадарма II, слой I, горизонт II), 7 (Бадарма II, слой I, горизонт III, IV), 9 (Бадарма II, слой II, горизонт I), 11 (Бадарма III, слой I).

Для большей иллюстративности и лучшего осмысления полученных результатов, представляется целесообразным привести предварительные послойные датировки памятников, высказанные рядом авторов в различное время, и на их основании попытаться объяснить возникшие параллели и индивидуальности. Стратиграфические данные ввиду ограниченного объема статьи будут опущены. Эти данные подробно изложены в работах названных выше.

Усть-Илим.

Первый раскоп. Слой 1 – раннее железо; слои 2 и 3 – неолит, вероятно позднесеровское время или даже переход от серовского к китойскому этапу.

Второй раскоп. Слой 1 – развитое железо; слой 2 – раннее железо.

Третий раскоп. Слои 1 и 2 связываются с железным веком и, возможно, представляют две ступени его развития; слой 3 аналогичен слоям 2 и 3 первого раскопа.

К сожалению, ни на одном из раскопов не удалось выделить культурных отложений эпохи бронзы, хотя отдельные фрагменты керамики, характерные для глазковского этапа, встречались и на первом раскопе (слой 2), и на третьем раскопе (нижний горизонт слоя 2 и верх слоя 3) (Д.Ю. Березин, 1990, стр 19).

Бадарма I.

Слой I – железный век.

Слой II гор. I – финальный неолит, переход к эпохе металла.

Слой II гор. II – развитый неолит.

Слой III – начало неолитического времени.

Начиная с IV слоя керамика исчезает [Бурилов, 1980а: 77,87].

Бадарма II.

Пятый горизонт первого слоя датируется серовским временем. Четвертый и третий горизонты первого слоя можно предварительно отнести к развитому неолиту, второй горизонт – к финальному неолиту и эпохе бронзы и первый – к раннему железному веку.

Во втором слое керамика с отпечатками сетки-плетенки и зубчатого штампа только появляется, следовательно, этот слой можно отнести к раннему неолиту.

Третий слой представляет собой докерамический комплекс с орудиями, изготовленными в основном из призматических пластин. По времени он соответствует, по видимому, концу сумнагинской культуры на Алдане, т.е. имеет абсолютный возраст около 7 тыс. лет. [Бурилов, 1978: 203, 204].

Бадарма III.

Материалы первого и второго горизонтов второго слоя представляют собой единый выдержанный комплекс, относящийся к раннему неолитическому времени, материал первого слоя следует датировать, видимо, финальным неолитом. [Бурилов, 1980а: 96]

Тушама.

Шестой слой из-за малого количества инвентаря датировать трудно, пятый слой имеет большое сходство с докерамическим комплексом третьего слоя Бадарма II и материалом второго слоя этого же памятника – уже с керамикой, который был отнесен нами к раннесеровскому времени. Четвертый слой поселения следует определить, видимо, позднесеровским временем, сравнивая его с комплексами поселений Усть-Илим и Эдучанка. Третий и второй слой поселения Тушама относятся, скорее всего, ко времени финального неолита и раннего железного века.

Первый слой сильно переотложен. [В.В. Бурилов, 1980б: 32, 41, 42].

Колпаковка.

Первый слой относится к железному веку, а второй является переходным этапом от финального неолита к эпохе металла [Привалихин, Березин, 1995].

Парта.

Первый слой содержит в себе находки железного и бронзового времени, оба горизонта второго слоя и третий слой относятся к различным этапам неолита на границе первого и второго культурных слоев присутствует керамика, которую по аналогии с материалами Прибайкалья можно определить как бронзовую [Бурилов, Березин, 1987: 118]. Датировки по неолитическим горизонтам уточняются. Однозначно, как серовский, пока определен только второй горизонт второго слоя [Васильевский, Бурилов, 1971: 202-285].

Окуневка.

Первый культурный слой относится к железному веку, второй – к серовскому времени [Васильевский, Березин, Дроздов, 1993: 150]. На границе первого и второго культурных слоев фиксируются находки, принадлежащие к эпохе бронзы.

Сравнивая результаты кластерного анализа и предварительные датировки, мы видим, что данные датировки были, в основном, верными. Керамические данные подтвердили сходство одновременных памятников (Бадарма III, слой II – Колпаковка, слой II и т.д.). Более того, полученные нами результаты позволяют внести некоторые уточнения. Так, например, слой III поселения Парта, вероятно, тоже следует датировать серовским периодом. Однородность Бадармы I и Бадармы II наглядно демонстрирует традиционность гончарного производства, преемственность орнаментальных мотивов и способов нанесения орнамента на тулово сосуда практически на протяжении всего неолитического времени. Если принять во внимание, что в неолите Бадарма II находилась на острове [Бурилов, 1978: 192], то можно предположить, что население на данном памятнике было весьма однородным и постоянным.

Большое сходство стоянок Усть-Илим, раскоп I, слой II; Бадарма I, слой II, горизонт II; Бадарма II, слой II, горизонт II; Тушама, слой IV; Тушама, слой V; Парта, слой III показывает достаточно прочную взаимосвязь между собой привлеченных к анализу памятников, уточняет высказанные ранее предположения по датировкам слоев и, в комплексе с каменным и костяным инвентарем, помогает лучше ориентироваться при визуальном определении того или иного периода Прибайкальского неолита на нижней Ангаре.

То, что ряд памятников выделился в группу «отдельные», нам кажется, зависит от следующих причин: Бадарма II, слой II, горизонт I, горизонт V. Здесь найдено всего 26 фрагментов керамики, 24 из которых – гладкостенные. Парта, слой II, горизонт I, II, наоборот, отличается богатством орнаментальных мотивов (24 наименования из 44, выделенных в таблице).

Что касается Окуневки, то она является стоянкой сезонного типа, люди подолгу на ней не жили [Васильевский, Березин, Дроздов, 1993: 152] и, вероятно, посуду изготавливали в небольших количествах. Этим, скорее всего, объясняется относительная «бедность» орнаментальных мотивов при весьма значительном числе обнаруженных на ней фрагментов керамических изделий, и выделение данной стоянки в «отдельную» группу. К сожалению, пока нет объяснений, почему в данную группу попал Усть-Илим, раскоп III, слой III.

Литература.

- Березин Д.Ю. Визуальная характеристика керамики поселения Усть-Илим // Древняя керамика Сибири: типология, технология, семантика. Новосибирск, 1990: 18-38.
- Бурилов В.В. Бадарма II – новый многослойный памятник на Средней Ангаре // Древние культуры Приангарья. Новосибирск, 1978: 192-204.
- Бурилов В.В. Материалы раскопок многослойных памятников Бадарма I, III на Средней Ангаре // Источники по археологии Северной Азии. Новосибирск, 1980а: 76-96.
- Бурилов В.В. Поселение Тушама на Средней Ангаре // Археологический поиск (Северная Азия). Новосибирск, 1980б: 32-40.
- Бурилов В.В., Березин Д.Ю. Работы на нижней Ангаре // Исследование памятников древних культур Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1987: 118-121.
- Васильевский Р.С., Бурилов В.В. Археологические исследования в зоне затопления Усть-Илимской ГЭС в 1968 г. // Материалы полевых исследований ДВАЭ. Вып. 2. Новосибирск, 1971: 202-285.
- Васильевский Р.С., Бурилов В.В., Дроздов Н.И. Археологические памятники Северного Приангарья. Новосибирск, 1988: 224 с.
- Васильевский Р.С., Березин Д.Ю., Дроздов Н.И. Археологические исследования в зоне Богучинской ГЭС // Обзор 93. Новосибирск, 1993: 150-153.
- Горюнова О.И., Савельев Н.А. Опыт разработки номенклатурных понятий для описания неолитической и раннебронзово-керамической Восточной Сибири // Проблемы терминологии и анализа археологических источников. Иркутск, 1975: 50-62.
- Ломан В.Г. Об историко-культурном подходе к изучению технологии древней керамики // Проблемы археологии, истории, краеведения и этнографии Приенисейского края. Том II. Красноярск, 1992: 3-4.
- Привалихин В.И., Березин Д.Ю. Археологические работы в зоне Богучинской ГЭС в 1995 году // Научный отчет, ответственные руководители Васильевский Р.С., Дроздов Н.И., архив Института Археологии и Этнографии СО РАН.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Марчук А.Г.
Холюшкин Ю.П.
Загоруйко Ю.А.
Воронин В.Т.

Разработка новых методов и информационных технологий представления и обработки археологических и этнографических данных*

Становление современного информационного общества немислимо без электронной обработки данных на основе адекватных математических методов и использования информационных ресурсов в электронном виде. Собранные на этой основе в общую систему информационные ресурсы выводят общество на качественно новый уровень производства, организации, хранения и распространения информации.

Развитие информационно-телекоммуникационной инфраструктуры СО РАН создало все предпосылки к развертыванию работ по созданию, накоплению и обработке информационных ресурсов Института археологии и этнографии СО РАН.

Важнейшими фундаментальными проблемами, на решение которых направлены усилия участников проекта, являются:

- создание информационной среды по гуманитарным наукам в Сибирском регионе для осуществления информационной поддержки исторических, археологических, этнографических и палеоантропологических научных исследований, проводимых в Сибирском Отделении РАН и Вузах Сибири,

- создание и развитие собственных информационных ресурсов, управление этими ресурсами и обеспечение возможности использования информационных ресурсов мирового научного сообщества, представляемых Интернет,

- распространение своих достижений в виде электронных коллекций, атласов и информационных систем, а также в виде электронных публикаций и электронных библиографических ресурсов.

Эти решения, учитывая современные условия и состояние, в которых находятся библиотеки сибирской провинции, позволят сделать хранящиеся в Сибири материалы доступными практически в любой точке планеты. Внесение книжных памятников в электронную библиотеку позволит осуществить получение страховой копии оригинала. Пользователи электронных каталогов и полнотекстовых документов – ученые и преподаватели более 50 научно-исследовательских учреждений, высших учебных заведений и музеев Сибири, расположенных как в Новосибирском научном центре, так и в других городах Сибири (Иркутск, Улан-Удэ, Красноярск, Томск, Барнаул и др.). Через глобальную сеть Интернет пользователями информационных ресурсов собственной генерации будут также являться ученые из России и ближнего зарубежья. Важнейшей компонентой может явиться подключение новых ресурсов к этой системе и соответственно с этим обновлением существующей базы знаний.

В настоящее время накоплен большой объем знаний и информационных ресурсов по археологии и этнографии. Однако доступ к этим ресурсам и знаниям весьма ограничен из-за их несистематизированности и распределенности по различным Интернет-сайтам, библиотекам и архивам. В то же время в ИАЭТ СО РАН ведутся работы по систематизации археологических знаний, а в ИСИ СО РАН – исследования, направленные на разработку средств представления знаний о предметных областях и

релевантных им информационных ресурсах на основе популярного в настоящее время онтологического подхода.

В ИСИ СО РАН также разрабатывается подход к организации специализированных порталов знаний, которые должны обеспечивать удаленный доступ к определенному информационному контенту, в том числе доступ к определенному информационному контенту через Интернет. Оригинальность данного подхода состоит в том, что такие порталы знаний будут обеспечивать доступ не только к собственным информационным ресурсам, но и поддерживать навигацию по заранее размеченным ресурсам, размещенным в сети Интернет.

Целью данного проекта является разработка специализированного Интернет-портала, обеспечивающего содержательный доступ к информационным ресурсам по археологии и этнографии.

В основу этого портала знаний будет положена онтология, содержащая наряду с традиционным описанием предметной области соотнесенное с ним описание структуры и типологии соответствующих сетевых ресурсов.

Главным преимуществом данного подхода является то, что порталы знаний позволяют значительно сократить время обработки запроса пользователя и количество выдаваемых ресурсов за счет более точного определения степени их релевантности и хранения ссылок на них непосредственно на портале знаний. Причем сами ссылки автоматически накапливаются специальным модулем – коллекционером онтологической информации о ресурсах.

Актуальность создания Интернет-портала определяется пониманием того, что российская наука, образование и культура испытывают в наши дни потребность в концентрации и обобщении накопленной информации по гуманитарным наукам и эффективном ее использовании. Удовлетворение этой потребности затрудняется тем, что в силу многоплановости и многоаспектности информационные ресурсы гуманитарного направления в пределах российского подпространства Интернет рассредоточены на удаленных страницах множества сайтов, основная тематическая направленность которых относится скорее к естественнонаучной, технической и технологической сфере, нежели к сфере гуманитарной.

Гуманитарное образование в Интернет способствует формированию у населения регионов Сибири (в первую очередь у молодежи) нового мировоззрения и новых ценностных установок. Эти установки ориентированы на понимание того, что этнокультурные и религиозные представления, составляющие концептуальную основу всех этносов и конфессий, опираются на общечеловеческие ценности (понятий добра, дружбы, ценности человеческой жизни, собственности, трудолюбия, благодарности, почитания старших, любви к родине и т.д.).

Центральным объектом, на который должна быть нацелена просветительская, образовательная и воспитательная деятельность, является молодое поколение – будущее человечества. Следовательно, формы, в которых она должна осуществляться, должны способствовать реализации указанной сверхзадачи с помощью современных информационных и телекоммуникационных методов и технологий, как наиболее удобных, привычных и эффективных для современных молодых людей.

Особое внимание привлекается к образовательным технологиям, включающим не только методы и средства создания, размещения в Интернет и использования информационных ресурсов, но и технологии привлечения внимания посетителей всемирной паутины к этим ресурсам. Потребители этой информации в своем большинстве не являются профессионалами в области информационных технологий, особенно в части создания распределенных ресурсов или обеспечении удобного доступа к ним.

Именно эти задачи (сведение гуманитарных ресурсов в единое адресное пространство, возможность открытого удобного доступа к ним и поддержка целостности этих ресурсов) обуславливают необходимость в Интернет-портале.

Специализированный портал знаний представляет собой информационную систему, снабженную эргономичным пользовательским web-интерфейсом и web-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 03-07-90327) и СО РАН (Междисциплинарный интеграционный проект № 149).

интерфейсом администратора портала. Информационную основу портала составляет онтология – специализированная база знаний, содержащая наряду с описанием предметной области соотнесенное с ним описание структуры и типологии соответствующих сетевых ресурсов.

Описание предметной области опирается на словарь терминов (тезаурус) и включает формальное и неформальное описание понятий и отношений между ними. В состав системы входит специальный модуль – коллекционер онтологической информации о сетевых ресурсах. Этот модуль, используя стандартные механизмы поиска и оригинальную программу обработки текстовых документов, последовательно обрабатывает ссылки на документы, страницы, сайты, определяя их тематику, структуру, степень релевантности тематики портала и т.п.

Полученные сведения накапливаются в онтологии и затем используются при обработке пользовательских запросов. Пользовательский интерфейс предоставляет доступ через Интернет к базе знаний и информационным ресурсам портала, а также к проиндексированным в ходе настройки и жизни портала сетевым ресурсам. Web-интерфейс администратора служит для настройки портала, пополнения и модификации онтологий.

Портал знаний может иметь иерархическую или сетевую структуру, т.е. состоять из более специализированных порталов, связанных некоторыми отношениями, например, отношением "общее-частное". Такая архитектура делает портал знаний гибким и легко расширяемым, облегчает его разработку. Источником данных являются как собственные информационные ресурсы портала (базы данных, электронные коллекции), так и вся сеть Интернет.

При разработке и реализации проекта будут использоваться следующие программные средства и технологии: PHP, Java, JavaScript, Delphi v5.0, C++ Builder 4.0, MS SQL Server, оригинальная технология обработки текстовой информации ALEX.

Другой частью проекта является разработка новых математических и статистических методов и технологий обработки археологических данных.

Статистическое изучение динамики развития древней культуры на протяжении больших временных отрезков является одной из основных задач первобытной археологии. При этом особый интерес представляет выявление рубежей культурных изменений и прослеживание их связи с переменами в природной среде. Самую благоприятную возможность для подобного рода исследований представляют редкие многослойные стратифицированные памятники, снабженные серийными абсолютными датировками и суммой естественнонаучных данных, позволяющих надежно привязать археологические комплексы к временной шкале и изучить процесс взаимодействия с природной средой.

Именно к таким памятникам относится группа стоянок на Верхнем Енисее, открытая и исследованная на широкой площади в 1980-1991 г.г. Предполагается проанализировать при помощи статистического анализа материалы опорных многослойных стоянок, датированных временем от 16-18 до 10 тыс. лет назад. Особый интерес представляет тот факт, что эти памятники относятся ко времени второй половины сартанского оледенения, эпохе финала плейстоцена с неоднократными резкими изменениями природной обстановки. В качестве основного источника используется наиболее массовый материал – каменный инвентарь. Сопоставительный анализ будет проводиться по ряду параметров, включая характеристики сырья, используемых заготовок, процентное соотношение видов каменного инвентаря, соотношение групп ядрищ и орудий, типологическая характеристика орудийного набора. По окончании работы предполагается ее публикация в форме монографии.

Для решения перечисленных задач в проекте были сформулированы две связанные друг с другом программы:

Программа 1. Создание центра по разработке информационных ресурсов по истории, археологии и этнографии, предназначенного для накопления, систематизации, сохранения и организации широкого доступа к информации о культуре, традициях и искусству Северной Азии.

Программа 2. Разработка новых математических и статистических методов и технологий обработки археологических данных.

В соответствии с проектом в рамках первой программы на 2003-2005 гг. запланирована работа по следующим этапам:

1. Январь-декабрь 2003:

- уточнение архитектуры портала знаний; разработка онтологии: словаря-тезауруса, моделей предметной области и информационных ресурсов; разработка web-интерфейсов пользователя и администратора системы;

- разработка интерфейса для построения и редактирования онтологий; начальное информационное наполнение портала знаний вручную; отладка web-интерфейсов пользователя и администратора системы; пробная эксплуатация портала знаний.

2. Январь-декабрь 2004:

- разработка коллекционера онтологической информации и использование его для автоматического информационного наполнения портала знаний; начало эксплуатации портала знаний.

3. Январь-декабрь 2005:

- эксплуатация портала знаний; анализ и оптимизация поисковых компонентов системы; подключение новых информационных ресурсов.

В конце 2003 года предполагается представление словаря-тезауруса и модели предметной области, интерфейса для построения и редактирования онтологий, web-интерфейсов пользователя и администратора системы.

Аналоги предлагаемой информационной системы в данной предметной области неизвестны. Существуют международные стандарты на метainформацию и на включение информационных ресурсов в единое информационное поле, предполагается следовать этим рекомендациям и стандартам.

В качестве задела коллективом разработчиков реализована система классификации и адресации входных документов для крупной инвестиционной компании. При разработке этой системы использовались подходы и методы искусственного интеллекта. В частности обработка, классификация и адресация документов в этой системе выполняются с использованием настраиваемых словаря-тезауруса и базы знаний. Система имеет комплекс автоматизированных мест для настройки и эксплуатации системы. Кроме того, разработаны и размещены в Интернет информационные ресурсы, наполненные полнотекстовыми данными по археологии и этнографии:

- сайт "Виртуальный музей" (URL: http://sati.archaeology.nsc.ru/virtual_e.htm), включающий коллекции по истории и культуре народов Сибири;

- сайт "Сибирика" (URL: <http://www.sati.archaeology.nsc.ru/sibirica>, включающий электронные справочники, словари и издания).

Портал знаний будет постоянно доступен через пользовательский web-интерфейс.

Содержанием и целью проекта в рамках второй программы на 2003-2005 гг. является разработка методики и методологии статистического анализа данных, ориентированного на применение в гуманитарных исследованиях.

Для этой цели в качестве прототипа предусматривается использовать для последующих наработок и дальнейшего совершенствования и развития разработанную авторами проекта оригинальную методику и методологию статистического анализа археологических данных.

Методика и методология опробована на обработке данных публикаций по археологии каменного века и информационных материалов имеющихся археологических коллекций. Применение этого исследовательского инструментария позволило осуществить более глубокий анализ и обобщение результатов, полученными ранее авторами публикаций и собирателями коллекций. В прототипе наряду с традиционными приемами статистического анализа используются оригинальные компьютерные методы обработки археологической информации. Стратегии статистических исследований включают три этапа:

1) подготовка и упорядочение данных в виде множества таблиц "объект-признак";

2) построение методами многомерного шкалирования обобщенных характеристик каждого слоя для всех археологических памятников;

3) выявление и анализ пространственно-временных изменений памятников и их связей с изменениями природно-климатических условий средствами автоматической классификации (кластерного анализа и метода построения типологий).

Методика в целом и ее ядро в виде оригинальных методов не имеют аналогов в стране и за рубежом. Новым направлением является и ее использование в пространственно-временных аспектах.

В рамках этой программы на 2003-2005 гг. запланированы работы по следующим этапам годичной продолжительности.

На 2003 г. намечены:

- разработка структуры данных и форматов записей баз данных в соответствии с требованиями статистической обработки;

- перевод материалов археологических исследований по Верхнему Енисею в компьютерную форму в форматах статистических баз данных;

- конвертация данных в форматы исходных файлов процедур статистической обработки информации;

- экспертный анализ массива данных и окончательная формулировка поставленной задачи.

В 2004 году на основе подготовленных и упорядоченных данных предполагается проведение полномасштабных статистических расчетов (2-й и 3-й этапы технологии статистических исследований).

В 2005 году планируется анализ и развернутая интерпретация полученных результатов и подготовка развернутого научного отчета в качестве рабочих материалов монографии по теме исследования.

Ожидаемые в конце 2003 г. научные результаты:

1. Перевод массы статистических данных в компьютерную форму для последующей статистической обработки.

2. Написание вступительной части к работе с развернутым описанием поставленной задачи и характеристики массива исходных данных.

Описания работ, подобных предлагаемому проекту, отсутствуют в отечественной археологической литературе. В то же время за годы работы новосибирского центра накоплен значительный опыт статистической обработки массовых палеолитических материалов, в том числе происходящих из многослойных памятников Енисея, Алтая, Ангара, Забайкалья и Дальнего Востока (Деревянко, Холушкин, Ростовцев и др., 1998). Однако основной целью классификации до сих пор выступала не изучение диахронной вариации памятников, а их группировка. При этом сопоставлению подвергались только самые общие характеристики каменного инвентаря. За рубежом имеется богатый опыт изучения вариации наборов каменного инвентаря многослойных палеолитических памятников в диахронном срезе с целью выявления характера развития культуры и функциональной интерпретации разновременных комплексов (McBurney, 1973: 305-315; 1985; 1989).

Имеющийся у коллектива задел сводится к разработанному и апробированному на большой серии конкретных данных пакету статистических программ (Деревянко, Холушкин, Воронин и др., 1995).

Список основных публикаций коллектива, наиболее близко относящихся к предлагаемому проекту, приведен ниже.

Литература.

Боровикова О.И., Загоруйко Ю. А. Организация порталов знаний на основе онтологий. // Труды международного семинара Диалог'2002 по компьютерной лингвистике и ее приложениям. - Т.2. - Протвино, 2002. - с.76-82.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Воронин В.Т. и др. Математические методы в археологических реконструкциях. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 1995.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С. и др. Статистический анализ позднепалеолитических комплексов Северной Азии. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 1998;

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ среднепалеолитических индустрий Ближнего и Среднего Востока. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 1999;

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Воронин В.Т. Создание информационного центра сектора археологической теории и информатики ИАЭТ СО РАН (проблемы и решения) // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях. Вып. 3. Новосибирск: Изд-во ИДМИ Минобразования. 2002. С. 6-14.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ мустьерских индустрий Кавказа. Часть первая. Технологические индексы. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 2002.

Деревянко А.П., Холушкин Ю.П., Ростовцев П.С., Воронин В.Т. Статистический анализ мустьерских индустрий Кавказа. Часть вторая. Типология. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 2002.

Загоруйко Ю.А., Россеева О.И., Гладкова Л.И. Применение онтологий для поиска информации в Интернет. // Труды III-й международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах" - Самара: Самарский Научный Центр РАН, 2001. - С. 503-508.

Холушкин Ю.П., Гражданников Е.Д. Системная классификация археологической науки (элементарное введение в археологическое науковедение). Новосибирск: Изд-во ИДМИ Минобразования, 2000. 7,3 п.л.

Холушкин Ю.П. О проблеме создания системных классификаций в археологическом науковедении. // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях. Вып. 2. Новосибирск: Изд-во ИДМИ Минобразования, 2000. С. 5-15.

McBurney C. B. M. Measurable long term variations in some Old Stone Age sequences // The explanation of culture change. London: Duckworth, 1973, P. 305-315;

McBurney C. B. M. La signification culturelle des industries lithiques. BAR Int. Series, N 239. 1985;

McBurney C. B. M. Alternate approaches to lithic analysis. Archaeological papers of the American Anthropological Association, N 1. Tulsa: University of Tulsa, 1989).

Владимиров В.Н., СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ НАУЧНО- Папин Д.В. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО ИСТОРИИ И АРХЕОЛОГИИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

Одним из важнейших направлений интеграции вузовской и академической науки является внедрение результатов их деятельности в образование, прежде всего высшее. Все более широкое использование компьютерных технологий в обучении и преподавании истории создает в настоящее время новую информационную среду исторического образования, дает возможность широкого развития дистанционного образования как важнейшей формы подготовки и переподготовки специалистов, работая, таким образом, на концепцию открытого образования. Через некоторое время в образовании следует ожидать резкой интенсификации потребления ресурсов, которая неизбежно заставит преподавателей всех исторических дисциплин создавать новые методики, переструктурировать уже давно структурированное знание, искать новые формы взаимоотношений со своими учениками и студентами. Все это диктует необходимость наполнения русскоязычной части сети Интернет электронными ресурсами для исторической науки и образования.

Прежде чем рассуждать о наличии или отсутствии ресурсов, следует определиться с терминами. Под научно-образовательными ресурсами по истории в широком смысле можно понимать все, что имеет какое-либо отношение к истории как науке, имея в виду все ее функции, в том числе и просветительскую. Однако при создании ресурсов профессионалами следует говорить о научно-образовательных ресурсах в более узком смысле этого слова. В этом случае, по-видимому, следует под таковыми понимать только ту информацию, которая прямо и непосредственно используется (или может быть использована) в учебном процессе, связанном с обучением истории, и/или научно-исследовательской работе в области истории. С этой точки зрения научно-образовательные ресурсы можно было бы разделить на научные и образовательные, однако на практике эти виды ресурсов настолько пересекаются, что в рассматриваемом нами контексте такое разделение не имеет большого значения.

* Работа выполняется при поддержке ФЦП «Интеграция» №Ф0008 и РГНФ № 02-01-12017в (в разделе археология).

Наибольшее значение имеют, конечно, электронные тексты исторических источников, монографий, учебных пособий, статей и тезисов – то, что в бумажном виде является основным рабочим материалом историка-исследователя и историка-преподавателя. Все больше используются также базы данных и списки линков различного уровня – от тематических коллекций ссылок до многоаспектных каталогов исторических ресурсов.

На производство ресурсов и направлен проект «Создание электронных научно-образовательных ресурсов по истории и археологии юга Западной Сибири», поддержанный ФЦП «Интеграция», выполняемый на базе исторического факультета Алтайского государственного университета и сектора археологической теории и информатики Института археологии и этнографии СО РАН. Целью его является создание электронных образовательных ресурсов для подготовки студентов и аспирантов по специальностям «История» и «Историко-архивоведение» на основе данных, полученных в ходе осуществления научных проектов по археологии и истории Сибирского региона, а в более широкой перспективе – создание нового информационного пространства для научных исследований и образования в области истории.

Для размещения ресурсов используются уже имеющиеся и успешно функционирующие информационный портал «Гуманитарная паутина» (Новосибирск, http://www.sati.archaeology.nsc.ru:8101/hum_web/) и Алтайский региональный исторический сервер (Барнаул, <http://hist.dcn-asu.ru/>). На них предполагается разместить электронные ресурсы, разработанные в ходе выполнения проекта.

Барнаульская часть ресурсов будет размещаться на Алтайском региональном историческом сервере, который поддерживается историческим факультетом Алтайского государственного университета. В разные годы сервер создавался при поддержке РГНФ и Института «Открытое общество». На сегодняшний день он превратился в хранилище огромного количества информации, связанной с историей Алтая. Здесь регулярно анонсируются новые издания по истории региона, работает календарь памятных дат, помещаются объявления о конференциях и семинарах. Дается аннотированный перечень всех организаций исторического профиля Алтайского края с Интернет-адресами, подробная информация о результатах исследовательских проектов по истории края, сведения об историках региона и т.д.

В рубрике «Читальный зал» выставлены полнотекстовые версии целого ряда монографий и сборников научных трудов по истории Алтая. Именно эта часть является наиболее востребуемой в научно-образовательном плане.

В структуре создаваемых ресурсов можно выделить три основных блока:

- археологический;
- историко-демографический;
- архивоведческий.

Наибольшим по объему является археологический блок. Данная работа предусматривает создание в течение 2002-2006 гг. на базе разработок археологов Алтайского государственного университета и Института Археологии и этнографии СО РАН обобщающей работы по основным направлениям этой отрасли знания, с публикацией работ как аналитического, так и научно популярного характера, с выставлением графической и фото-информации по эпохам, культурам и памятникам. Предполагается развернутая электронная публикация обобщающих работ (статей, диссертаций, авторефератов, курсовых и дипломных работ), материалов конференций, издание полного библиографического списка опубликованных статей алтайских ученых по тематике проводимых исследований, создание каталога ссылок на www-ресурсы по данной теме как на отечественные, так и зарубежные. Раздел конференции представлен материалами различных научных мероприятий прошедших в разные годы. Еще одно направление этой деятельности – создание интерактивных археологических карт регионов (в частности, Алтайского края), которые будут отражать информацию по каждому памятнику. Работу планируется осуществить путем последовательного

создания взаимосвязанных тематических www – разделов: «скифская эпоха Алтая», «бронзовый век юга Западной Сибири», «Алтай в эпоху камня» и т.д. с дальнейшим их объединением в единый ресурс. Это означает, что на основе современных методов науки будут введены в научный оборот новые данные по материальной и духовной культуре древних племен, относящихся к слабоизученным и неизученным периодам истории. Кроме того, к электронному изданию будет подготовлен комплект научно-методической и учебно-методической документации для организации и проведения учебного курсов по археологии юга Западной Сибири.

Предусматривается также создание сайта по исторической демографии юга Западной Сибири, включающего материалы по источникам, методике исследования (методы), результатам проектов, как выполненным, так и выполняемым. К числу таких проектов, поддержанных в разное время РФФИ и РГНФ, относятся:

1. «История возникновения населенных пунктов на территории Алтайского края с XVIII в. по 20-е гг. XX в. (формирование и анализ источниковой базы)». Рук. В.Н.Владимиров.

2. «Метрические книги Алтайского округа XVIII – начала XX вв. как исторический источник (источниковедческое и историко-демографическое исследование)». Рук. В.Н.Владимиров.

3. «Внешние миграции на юг Западной Сибири во второй половине XIX – начале XX вв. (демографические и территориальные аспекты)». Рук. И.Г.Силина.

В рамках этих проектов создан целый ряд баз данных, обработка которых позволила создать цельную картину образования населенных пунктов на территории края; выявить все метрические книги Центра хранения архивного фонда Алтайского края, определить их хронологическую и территориальную распространенность и особенности их источниковедения; выявить основные черты переселенческого движения на территорию Алтайского округа в период от начала разрешения переселений до Столыпинской аграрной реформы. Все эти материалы, помимо научной, имеют и высокую образовательную значимость как с точки зрения исторической демографии, так и с позиций истории Сибири. Все темы так или иначе связаны с миграциями, изучение которых на сегодняшний день стало весьма актуальным из-за большого числа вынужденных миграций на территории бывшего СССР.

Особый интерес представляют два ныне продолжающихся проекта, один из которых связан с изучением истории семьи на широком пространстве от Белоруссии до Сибири, второй – с историческими судьбами переселенцев из Тамбовской губернии на Алтай. После соответствующей обработки эти материалы станут существенным дополнением к читаемому в Алтайском университете курсу «Историческая демография» и ряду спецкурсов.

Создается учебно-научный сайт «Архивистика», посвященный проблемам изучения и преподавания архивоведения. В первую очередь предполагается насыщение этого сайта электронными текстами учебного содержания (статьи по изучаемым проблемам, источники и т.д.). На сайте будет выставлена также учебно-методическая документация по специальности «Историко-архивоведение». Поскольку историческое архивоведение является в равной степени теоретической и прикладной дисциплиной, проблем сопряжения учебной и научной составляющих здесь возникнет гораздо меньше.

Создание этого сайта особенно важно по той причине, что подготовка специалистов по историко-архивоведению началась в Алтайском университете только в 2000 г. Одна из основных трудностей здесь – недостаточная информационная база обеспечения учебного процесса, поэтому с созданием электронных ресурсов по архивоведению мы связываем большие надежды именно в этом направлении.

Данные ресурсы (программы курсов, электронные версии научных публикаций, тематические разделы, Интернет-издания методических и учебных пособий и т.д.) будут востребованы как в образовательном процессе для подготовки специалистов по историческим специальностям, так и в научных исследованиях. Они создают

информационную базу для написания курсовых и дипломных работ, кандидатских и докторских диссертаций, а также представляют собой самостоятельные средства обучения, используемые как источник информации. Разрабатываемые материалы станут одной из основ в процессе становления дистанционного обучения на базе филиалов Алтайского университета. Кроме этого, данная работа будет обобщать современные разработки в области археологии и истории, а также оперативно отражать текущие изменения.

Основным содержанием работы будет согласованная между двумя участниками подготовка материалов, разработка и ввод в научно-образовательный оборот распределенных информационно-образовательных систем. Работа включает в себя подготовку к электронному изданию научно-образовательных ресурсов по естественнонаучным методам анализа в археологии, математическим и естественнонаучным методам в археологических реконструкциях, использованию информационных технологий в гуманитарном научно-образовательном процессе, публикации в Интернете курсов лекций по разделам и проблемам истории, электронных ретроспективных публикаций материалов конференций прошлых лет.

Важнейшим моментом будет формирование интерактивных форм работы, таких, как дискуссионные листы, электронные консультации, виртуальные конференции и т.д. Работа завершится обобщением и публикацией в Интернете итогов программы в форме сводных распределенных электронных научно-справочно-образовательных ресурсов «Энциклопедия археологии Западной Сибири», «Историческая демография», «Архивистика».

К концу 2002 г. планируется разработка концепции и дизайна «Электронной энциклопедии археологии Алтая», первой версии сайтов по исторической демографии и архивистике, создание тематического web-раздела по раннему железному веку, подготовка к электронному изданию методического пособия «Естественно научные анализы в археологии», разработка информационно-образовательной системы «Древности Алтая», подготовка научно-образовательных электронных изданий: «Математические методы в археологических реконструкциях» и «Информационные технологии в гуманитарных исследованиях», размещение каталога демографических ресурсов.

Общий объем создаваемых ресурсов составит не менее нескольких десятков мегабайт, что вполне может составить первоначальную «критическую массу» для формирования новой информационной среды исторической науки и образования в регионе.

Предлагаемые работы фактически являются составной частью создающейся в России электронной информационной инфраструктуры исторической науки и образования. Ресурсы Интернет в ближайшем будущем могут качественно изменить основные составляющие образования. Прежде всего это касается концепции открытого образования и дистанционного образования как его составляющей. В рамках проекта предполагается не просто создание принципиально новых научно-образовательных ресурсов, но широкое использование их в учебном процессе.

Думается, что анонсируемые работы помогут существенно решить проблему электронных информационных ресурсов, хотя бы в одном отдельно взятом регионе. Это тем более важно, что проведенный анализ показывает явно низкие темпы создания в России научно-образовательных ресурсов в полном смысле этого слова. Так, из более 60 факультетов классических российских университетов, где есть специальность «История», только 8-10 создают по-настоящему полезные научно-образовательные ресурсы.

Как известно, одна из самых серьезных проблем Интернет-сайтов – это их обновляемость. В нашем случае предполагается перманентное дополнение ресурсов как за счет чисто учебных материалов, так и на основе новейших результатов научных исследований. Все это сделает электронные ресурсы незаменимой составной частью учебного процесса по специальностям исторического профиля.

IV

ГИС И КАРТОГРАФИЯ В АРХЕОЛОГИИ

Постнов А.В.
Вергунов Е.Г.

Применение спутниковых навигационных приёмников при проведении археологических исследований¹

Введение

Отсутствие в археологии нормативного отраслевого стандарта, регламентирующего применение отдельных видов геодезических работ, сегодня приводит к тому, что все проводимые при археологических исследованиях геодезические работы оказываются несоответствующими законодательно принятым метрологическим стандартам. Авторы надеются, что настоящая статья явится импульсом к созданию такого документа, что, прежде всего, существенно облегчит процедуру утверждения отчётов по археологическим работам. При отсутствии отраслевых инструкций следует руководствоваться требованиями Роскартографии. Нормативные документы, содержащие необходимые стандарты, следующие: «Виды и процессы геодезической и картографической производственной деятельности. Термины и определения» (ОСТ 68-14-99, 2000); «Измерения геодезические. Термины и определения» (ОСТ 68-15-01, 2001); «Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения» (РТМ 68-14-01, 2001) и «Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS» (ГКИНП (ОНТА)-02-262-02, 2002). Последняя Инструкция является самым свежим изданием, но предполагает работу только с высокоточными геодезическими приёмниками. Использование спутниковых навигационных приёмников, как и кодовых приёмников вообще, в ней не рассматривается, поэтому применяемая Инструкцией терминология упрощена. В связи с этим в разделе о полевых работах авторы уточняют определения основополагающих терминов, отражающих специфику геодезических измерений с помощью портативных навигационных спутниковых GPS-приёмников. Отсутствие отраслевого стандарта сильно затрудняет не только сами геодезические работы, но и процесс сбора необходимой геодезической информации. Следствием является значительное повышение трудоёмкости геодезических работ при их выполнении с точностью, которая не является необходимой для археологических целей в данное время².

Повышение требований к геодезическому обеспечению работ по включению в соответствующие земельные реестры археологических памятников связано с законами об усилении их охраны и предполагает строгую фиксацию границ памятников в общем землеотводе. Однако бюджеты археологических отрядов не рассчитаны на подрядные геодезические работы, а проведение их собственными силами традиционными способами без отраслевых нормативных инструкций и руководств может отнять всё время, отпущенное на полевые археологические исследования. Во избежание этого, исходя из своего опыта, авторы предлагают использовать возможности современных спутниковых технологий. Методика таких работ реально изучается на полигоне Белый камень, созданном в 2002 г. возле археологического объекта Усть-Канская пещера в Горном

¹Работа поддержана РГНФ, проекты № 00-01-00391a, 01-01-18067e.

²Треугольник можно полностью рассчитать, выполнив всего три измерения, одно из которых является лишним (например, сторона и два угла) – это необходимые измерения. Четвёртое измерение уже будет избыточным – оно не является необходимым, но позволяет произвести контроль всех измерений и оценить точность работ. Пятое измерение даст возможность ещё повысить достоверность результатов и т.д. Но каждое избыточное измерение требует дополнительных трудозатрат, поэтому при проектировании производят подсчёт необходимой точности работ на основании отраслевых стандартов и соответствующей ей числа избыточных измерений. Избыточные измерения сверх этого уже будут излишними измерениями.

Алтае (Постнов, Вергунов, 2002), и результаты этого исследования положены в основу практической части этой статьи. В стадии более детальных разработок находятся вопросы высотной привязки с помощью спутниковых навигационных приёмников, оснащённых барометрическим высотомером. Эта задача связана с выполнением микробарометрического нивелирования, методика которого позволяет работать с точностью, достаточной для археологических исследований. Находясь в окончательной доработке элементы точной постобработки навигационных спутниковых определений. Авторами уже ранее обсуждались аспекты, связанные с различными этапами работ при геодезическом обеспечении комплексных археологических исследований (Ларичев, Вергунов, Яхман, 2002) и геодезической подготовкой археологов (Вергунов, 2002).

Доступность и сравнительная дешевизна портативных навигационных спутниковых GPS-приёмников обусловили их широкое применение в археологических исследованиях в настоящее время, но простота работы с ними только кажущаяся и без специальных полевых и камеральных методик может привести к километровым ошибкам. Технические руководства для такого оборудования не подчиняются стандартам на геодезические работы, поэтому основная цель настоящей статьи – дать простейшие рекомендации по «приспособлению» навигационных GPS-приёмников для оперативного позиционирования с точностью 2–3 м в режиме автономных спутниковых определений местоположения наблюдателя. Для этого, прежде всего, необходим краткий экскурс в теорию математической обработки геодезических измерений и знание основ простейших способов полевых и камеральных работ. Материал предполагает, что читатель уже имеет хотя бы ограниченный опыт использования навигационной спутниковой аппаратуры.

I. Топографо-геодезические работы с применением навигационного GPS-приёмника: общие положения

Чтобы уяснить технологию проведения комплекса топографо-геодезических работ с применением спутниковых определений местоположения, предварительно рассмотрим несколько важных моментов из вышеназванных нормативных источников. Прежде всего, отметим, что геодезические работы проводятся только в определённых системах координат³.

2.20⁴. Координаты и высоты пунктов съёмочного обоснования вычисляют в принятой в Российской Федерации государственной геодезической системе координат и в Балтийской системе высот 1977 года. Какие-либо другие системы координат и высот могут быть применены только по согласованию с органами государственного геодезического надзора при наличии технико-экономического обоснования, учитывающего перспективы развития данного района. В городах, в районах промышленных комплексов, на действующих предприятиях горнодобывающей и нефтедобывающей промышленности все новые съёмки выполняют, как правило, в ранее принятой системе координат. В технических проектах (программах) на съёмку вопросы системы координат и высот должны быть специально оговорены и согласованы с органами государственного геодезического надзора. (ГКИНП (ОНТА)-02-262-02, 2002:19).

Основные понятия организационно-технических категорий рассматриваемой в статье тематики (организационно-ликвидационные, камеральные и полевые работы, метрологическое обеспечение, уравнивание и т.д.) приведены в (ОСТ 68-14-99, 2000:4-6).

Геодезические работы подразделяются по назначению на: геодезические, топографические, топографо-геодезические, картографические, гравиметрические, фотограмметрические; федерального значения, специальные, основные и прикладные. Их определения даны в (ОСТ 68-14-99, 2000:6-8).

Отраслевой стандарт на геодезические работы для археологических исследований включал бы такие виды прикладных и специальных геодезических работ, как астрономические определения, геодезическое обеспечение, определение плановых⁵ координат,

³Общегосударственной системой координат с 01.07.02 в нашей стране является СК-95.

⁴Пункты нормативных документов, приводимые из источника полностью, сохраняют нумерацию оригинала.

⁵В геодезии плановыми работами [координатами] называются работы [координаты] на плоскости, планово-высотными – в трёхмерном пространстве (прим. авт.).

нивелирование, планово-высотная привязка, рекогносцировка, предварительная обработка результатов измерений, создание опорной геодезической сети на объекте, спутниковое определение координат и др. (ОСТ 68-14-99, 2000:11-16).

Особо остановимся на основных определениях спутниковой технологии геодезических работ:

Абсолютные определения координат; автономный режим измерений – получение координат в общеземной геоцентрической системе или отнесенных к земному эллипсоиду, как правило, по кодовым измерениям псевдодальностей до спутников с точностью не выше первых метров (РТМ 68-14-01, 2001:12);

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС, GNSS) – система, состоящая из созвездия навигационных спутников, службы контроля и управления и аппаратуры пользователей, позволяющая определять местоположение (координаты) антенны приемника потребителя (РТМ 68-14-01, 2001:2);

Глобальная система определения местоположения (global positioning system, GPS) – ГНСС, разработанная в США (РТМ 68-14-01, 2001:2);

ГЛОНАСС – ГНСС, разработанная в России (РТМ 68-14-01, 2001:2);

Кодовые измерения в спутниковых определениях – измерение псевдодальности между спутником и приемником путем обработки псевдослучайного кода (РТМ 68-14-01, 2001:14);

Навигационный спутник – спутник, который излучает радиосигнал, содержащий навигационную информацию, прием которой необходим для определения местоположения приемника потребителя (РТМ 68-14-01, 2001:3);

Навигационный спутниковый приемник – аппарат, состоящий из антенны, радиоприемника и вычислителя (процессора), предназначенных для приема и обработки (навигационных) сигналов навигационных спутников с целью получения необходимой потребителю информации (пространственно-временных координат, направления и скорости) (РТМ 68-14-01, 2001:9);

Одночастотный приемник – приемник, принимающий информацию со спутника на частоте L_1 (РТМ 68-14-01, 2001:10);

Относительные (спутниковые) измерения – определение разности координат между пунктами в сеансе (как кодовых, так и фазовых) измерений (РТМ 68-14-01, 2001:13);

Псевдодальность в спутниковых определениях (pseudorange) – расстояние между спутником и приемником, вычисленное по времени распространения сигнала без поправки за расхождение часов спутника и приемника (РТМ 68-14-01, 2001:14);

Спутниковые (геодезические) определения – определение координат пунктов или приращений координат между пунктами, основанное на обработке измерительной информации, поступающей со спутников ГНСС (РТМ 68-14-01, 2001:12);

C/A-код (C/A Code) – режим модуляции несущей частоты – грубый (открытый, легко обнаруживаемый, гражданский) код с длиной волны модуляции ≈ 300 м, которым модулируется несущая частота L_1 в GPS (РТМ 68-14-01, 2001:8);

WGS-84 (World Geodetic System) – всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, используемая в GPS, в число которых входит система геоцентрических координат... система разработана министерством обороны США (РТМ 68-14-01, 2001:5);

Геодезическое и навигационное оборудование. В настоящей статье ограничимся рассмотрением получения плановых координат, производимых ОДНИМ одночастотным кодовым спутниковым навигационным приёмником (GPS-навигатором) в режиме автономных измерений в комбинации с «наземной» геодезической аппаратурой. Для археологических исследований из всего многообразия спутниковых навигационных приёмников по ряду объективных причин подходят ниже перечисленные модели не старше 2001 года выпуска⁶:

– со встроенной антенной: eTrex Venture, eTrex Legend, eTrex Vista (последняя модель оснащена барометрическим высотомером и компасом; и высотомер, и компас могут работать независимо от спутников),

– с отсоединяемой антенной: GPSMap 176 и GPSMap 176C,

– со встроенной антенной и возможностью подключения выносной антенны: GPS 72, GPS 76, GPSMap 76, eMap, GPSMap 76S (последняя модель оснащена барометрическим высотомером и компасом; и высотомер, и компас могут работать независимо от спутников).

В качестве дополнительной геодезического оборудования предполагаются инструменты для измерения углов или линий (Ларичев и др., 2001). Полный список оборудования и виды отдельных топографо-геодезических работ с применением GPS-

⁶Только эти модели подразумеваются авторами в настоящей статье под термином GPS-навигатор.

навигаторов приведены соответственно в таблицах 1 и 2. В большинстве случаев можно ограничиться цифровым барометром-высотометром и небольшим комплектом портативных инструментов (табл. 1).

Таблица 1

Список дополнительного оборудования
для геодезических работ с применением GPS-навигатора

Наименование	Модель
Полевой программируемый модуль (вместо компьютера)	Casio FX Algebra 2.0+
Карманные УКВ приёмопередатчики класса LPD	Icom 4008 MKII
Безотражательный лазерный дальномер	Leica Disto Classic
Ручной высотометр (клинометр)	Suunto PC PM5/360

Таблица 2

Виды отдельных топографо-геодезических работ с применением GPS-навигаторов

№	Вид топографо-геодезических работ	тип	место
1.1	создание планового, высотного (планово-высотного) обоснования	топография	объект работ
1.2	плановая, высотная или планово-высотная съёмка (по готовому съёмочному обоснованию или без него)		
2.1	передача координат и высот на объект (геодезическая привязка к системе государственных или местных координат)	геодезия	участок работ
2.2	обеспечение системы координат и высот (создание и уравнивание опорных геодезических построений)		
3.1	трансформация координат в требуемые системы: 1942 года (СК-42), 1995 года (СК-95) или систему условных координат 1963 года, и систему высот 1977 года (Балтийская система высот)	высшая геодезия	район работ
3.2	определение поправок к параметрам локального сфероидов относительно используемых общеземных сфероидов		

Отдельные мероприятия в списке работ расположены в порядке возрастания их важности, но, к сожалению, одновременно и в порядке убывания их «наглядности», «простоты» и «понятности». Рассмотрим их подробнее.

Топографические и геодезические работы. Итог топографических работ на небольшом участке очевиден (план, профиль и т.д.) и получают его для собственных (не-геодезических) надобностей просто в условных (свободно выбранных) координатах и высотных отметках способами обычной топографии с учётом только направления на Север. Чаше же требуется просто увязать вместе ряд топографических работ (табл.2, строка 2.1). Иногда такая увязка сталкивается с препятствиями различного характера – природными (горы, реки, болота), экологическими (водо-, лесо- или землеотвод, заповедники), инженерными (транспортная инфраструктура, крупные инженерные сооружения, городская застройка). В подобных случаях требуются дополнительные способы работ, геодезические построения для обхода или преодоления таких препятствий (табл.2, строка 2.2). Менее очевидно, что произвольно выбранные данные с топографической карты будет крайне сложно совместить без больших погрешностей с одним или несколькими такими планами (особенно результат топографических работ в «условных» координатах с «условным» направлением на Север) или профилями (с условными высотами относительно какого-нибудь уровня – например уреза вод реки). Может возникнуть задача пересчёта координат и высот из одной системы в другую. Оба эти вопроса решаются с помощью трансформации координат точек объекта в нужную координатную систему (табл.2, строка 3.1).

Если геодезические пункты в требуемой системе координат существуют непосредственно на объекте работ (их нужно несколько сразу, что практически невероятно в условиях Сибири), то можно обойтись по-прежнему методами топографии. Однако наиболее вероятно, что в наличии могут оказаться только геодезические пункты низкой точности⁷. Дело в том, что расстояния между пунктами высокой точности может составлять десятки километров, а располагаются они в доступных местах – открытые возвышенности или высотные строения, вдоль магистральных дорог и т.д. Пространство между ними заполняется менее точными пунктами с помощью менее дорогостоящих работ, а уже промежутки между ними – ещё менее точными пунктами и т.д. К тому же

⁷Отыскивать организации-производители работ по созданию таких пунктов крайне сложно, а вся геодезическая информация о таких пунктах хранится в архивах этих организаций.

в труднодоступной незастроенной местности может оказаться, что ближайшие геодезические пункты пострадали от времени, стихийных бедствий или хозяйственной деятельности человека.

Есть ещё один немаловажный момент – даже высокоточные геодезические пункты имеют свою собственную погрешность. Если пункты не принадлежат Государственной геодезической сети (ГГС), то такая погрешность может оказаться произвольной – так, в труднодоступных районах различные отраслевые изыскательские привязки (геофизика, геология, лесо-, водо- или землеустройство и т.д.), выполняемые «наземными» способами не по стандартам ГУГК⁸, могут постепенно «накапливать» суммарное смещение абсолютных координат удалённых пунктов до многих десятков метров. Это не отражено в явном виде на страницах соответствующих нормативных документов, т.к. геодезические работы, обеспечивающие действительно высокоточную передачу абсолютных координат, имеют крайне высокую стоимость (особенно в труднодоступной местности). Для отраслевых же методик наибольшее значение имеют именно относительные координаты, т.е. сдвиг одних пунктов по отношению к соседним. А для ряда смежных пунктов значения накопленных погрешностей, вызванных погрешностями измерений и уклонением отвесных линий от вертикали (гравитационные аномалии), мало различаются при отсутствии действительно грубых погрешностей. Так что использовать в настоящее время в качестве твёрдой основы геодезические пункты непонятного происхождения следует с большой осторожностью.

Локальный земной сфероид. В процессе перехода на новую систему координат СК-95 были установлены в разных регионах страны значительные геометрические деформации самой ГГС в системе СК-42, которые затрагивают значительные по площади районы и могут быть учтены в виде систематического смещения геодезической основы. Оно является различным для разных районов, но в пределах каждого может быть принято за некую константу. В отношении к спутниковым определениям это следует рассматривать как разделение одного сфероидов Красовского (являющегося основой для СК-42) на несколько «локальных» сфероидов. Параметры локальных сфероидов получаются путём внесения поправок к параметрам «стандартного» сфероидов. Поправки же вычисляют на основании смещения пунктов ГГС для нужной местности. Роскартографией опубликованы списки регионов, для которых требуется учитывать такие погрешности в геодезической основе и топографических картах определённых масштабов (рис. 1) (Единая..., 2000). Для нас сейчас важно одно: без понимания такого положения дел нельзя с заданной точностью осуществить пересчёт координат в реальную СК-42 из других систем.

Именно с получением таких поправок тесно связан самый «непонятный» вид работ (табл.2, строка 3.2), ценность которого постоянно возрастает в связи с широким распространением спутниковой навигационной аппаратуры и желанием пользователей GPS использовать её для решения геодезических задач. При малой плотности надёжной геодезической основы полученные поправки дают возможность сгустить число геодезических пунктов до необходимого количества непосредственно на объекте работ, либо производить топографические работы сразу в требуемой системе координат и высот при помощи спутниковых приёмников по соответствующим методикам. Поскольку спутниковые определения, в отличие от «наземных» измерений, как бы «висят» в пространстве, то их надо максимально «прижать» к геоиду⁹ с помощью спутниковых определений на нескольких надёжных геодезических пунктах. Спутниковые измерения производятся в геоцентрической системе координат, где за начало принимается условная точка, совпадающая с центром массы Земли. Отсюда следует, что координаты в «топографическом» смысле этого слова полностью зависят от принятой математической модели Земли¹⁰, исходных геодезических дат и от различия в данном конкретном

⁸Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР (сейчас Роскартография).

⁹Фигура Земли, которая не имеет строгого математического выражения.

¹⁰Обычно это эллипсоид вращения – сфероид.

месте между этой моделью и квазигеоидом¹¹. Из справочной документации по СК-95 для территории России видны различия между сфероидом Красовского и квазигеоидом (рис. 2). Сфероид WGS-84, являясь приблизительной математической моделью Земли, имеет свои расхождения с квазигеоидом (рис. 3) (Единая..., 2000). Сравнивая карты-схемы (рис. 2, 3), можно увидеть, что у этих сфероидов разные отличия для территории России. Лучшим приближением к квазигеоиду для России в целом является сфероид Красовского.

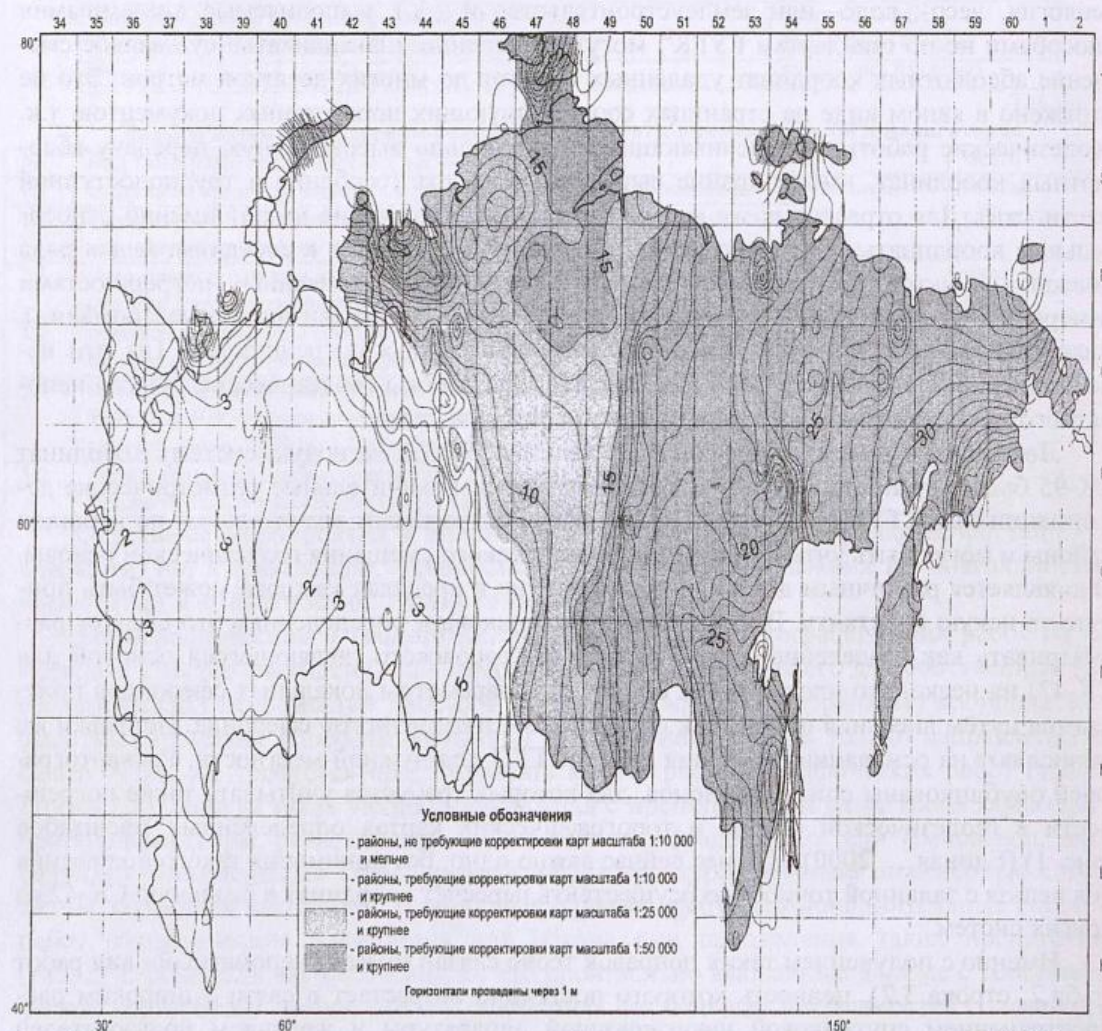


Рис. 1. Схема расположения регионов, для которых требуется корректировка карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 (Единая государственная система геодезических координат 1995 года, 2000).

Различие координат из спутниковых определений и из каталога для данных геодезических пунктов позволяет получить поправки ко всем спутниковым определениям в некотором районе. Общеземной сфероид, на который проецируют спутниковые определения с учётом этих поправок к его параметрам, будет называться *локальным*, т.е. «прижатым» в данном месте к квазигеоиду. Теперь прямоугольные «топографические» координаты можно получить из спутниковых определений различным образом в нужных проекциях на плоскость. Например, в таблице 3 приведён один из стандартных способов для преобразования в поперечно-цилиндрическую равноугольную проекцию Гаусса-Крюгера – одну из наиболее часто применяемых в нашей стране (табл. 3).

Исходя из условной точности наших спутниковых определений¹² $m_{\text{условная}} \sim 2-3$ м, сравним её значение с требованиями к точности топографической съёмки различных

¹¹Создаваемая на основе гравиметрических, астрономических и геодезических данных модель геоида.

¹²Авторы подробно рассматривают понятие условной точности и вычисляют исходные данные для составления таблицы 4 в разделе «Погрешности в геодезических работах; погрешности GPS-навигаторов».

масштабов. Расчёт соответствующих погрешностей дан в таблице 4 без учёта ошибок всей геодезической основы – и ГГС, и съёмочного обоснования.

Таблица 3

Трансформация результатов спутниковых определений в СК-42

№	исход. дан-ные	преобразование	результат
1		спутниковые определения	прямоугольные декартовы геоцентрические координаты X, Y, Z
2	геоцентрические X, Y, Z	проецирование на выбранный сфероид	геодезические координаты B (широта), L (долгота), H (высота)
3	геодезические B, L, H	сфероид специальным образом преобразуют в шар, который разрезают на дольки-зоны по 3° или 6° и разворачивают каждую на отдельную плоскость в соответствии с параметрами исходных геодезических дат	X отсчитывается от экватора, а Y – от меридиана, являющегося осью симметрии такой зоны: вправо (положительные) или влево (отрицательные)
4	немасштабированные X (от экватора) и Y (от осевого меридиана)	если масштаб отличен от 1, то значения X и Y «масштабируют» – умножают на масштаб: в нашей стране за масштаб принимают 1, а в одной из стандартных международных прямоугольных проекций UTM ¹³ («аналог» 6° зон в проекции Гаусса-Крюгера), которая присутствует во всех навигационных GPS-приёмниках, составляет 0.9996	масштабированные X и Y
5	масштабированные X и Y	к значению Y добавляют некоторую постоянную константу, для исключения отрицательных значений (обычно это 500 км) и могут слева к полученному значению Y в качестве старших разрядов добавить цифровой номер дольки-зоны; у нас обычно принята нумерация от Гринвичского меридиана на восток, а международная номенклатура для зон по 6 градусов – от Гринвичского меридиана на восток, но только с номера 30 (опять таки для исключения отрицательных номеров). С удалением от осевого меридиана к западу или востоку растут искажения, связанные с переходом на плоскость. Эти искажения учитываются путём внесения особых поправок в измеренные линии и углы для перехода на плоскость проекции Гаусса-Крюгера	условные $X_{\text{СК-42}}$ и $Y_{\text{СК-42}}$

Таблица 4

Требования к точности съёмочного обоснования и нанесения контуров при топографической съёмке без учёта погрешности геодезической основы

наименование	погрешность на местности	в масштабе карты	1:25 000, м	1:10 000, м	1:5 000, м	1:2 000, м	1:1 000, м
съёмочное обоснование	$m_{\text{благоприятной}}$	0.14 мм	3.5	1.4	0.7	0.3	0.1
	$m_{\text{труднодоступной}}$	0.21 мм	5.2	2.1	1.0	0.4	0.2
чёткие (твёрдые) контуры	$m_{\text{благоприятной}}$	0.70 мм	17.5	7.0	3.5	1.4	0.7
	$m_{\text{труднодоступной}}$	0.98 мм	24.5	9.8	4.9	2.0	1.0
нечёткие контуры	$m_{\text{благоприятной}}$	1.05 мм	26.2	10.5	5.2	2.1	1.0
	$m_{\text{труднодоступной}}$	1.47 мм	36.8	14.7	7.4	2.9	1.5

При работах в масштабе 1:25 000 и мельче (1:50 000, 1:100 000 и т.д.) наши спутниковые определения самодостаточны для любых топографических надобностей. Для масштабов 1:10 000-1:5 000 можно делать топографическую съёмку без определения пунктов съёмочного обоснования, что даёт неплохой результат. При создании съёмочного обоснования (1:25 000) и съёмке твёрдых контуров (1:5 000) рекомендуется использовать дополнительную аппаратуру для существенной экономии времени (табл. 1).

Для масштаба 1:2 000 речь может идти только об «условной пригодности». Выполняется полностью инструментальная наземная съёмка, которая с помощью спутнико-

¹³Universal Transverse Mercator, всемирная плоская конформная проекция Меркатора.

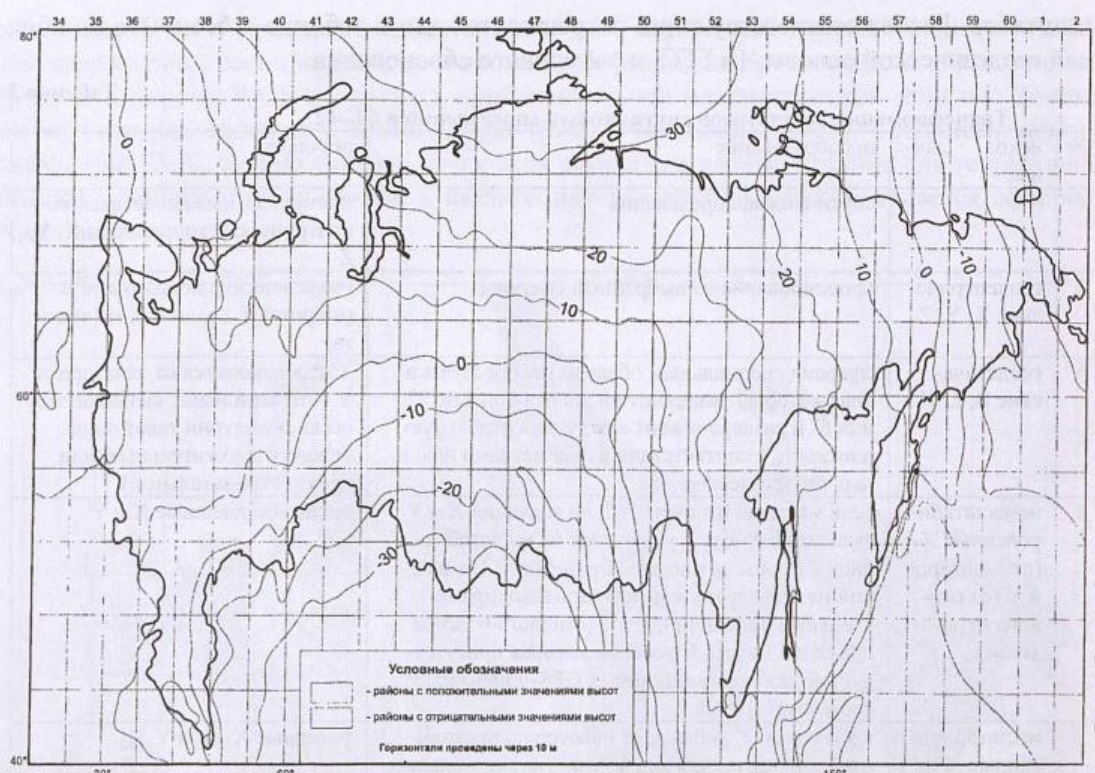


Рис. 2. Карта-схема высот квазигеоида над эллипсоидом Красовского на территорию России (Единая государственная система геодезических координат 1995 года, 2000).

вых определений привязывается в нескольких специально подобранных местах (опорных пунктах), либо в таких местах контролируются накопленные погрешности ходов сгущения и построения съёмочного обоснования. Далее будут даны примеры простейших способов привязки – их можно использовать как предварительный тест на пригодность спутниковых определений в условиях конкретной местности конкретным приёмником конкретным наблюдателем для работ заданной точности. Для масштабов 1:1 000 и крупнее (1:500, 1:200 и т.д.) описываемые в настоящей работе способы применять не рекомендуется.

Резюме. Резюмируя материалы этого раздела, подчеркнём, что основное применение GPS-навигаторов отражено в их названии – навигационные спутниковые приёмники, но специальные способы их применения дают возможность решать ряд задач геодезического обеспечения археологических исследований:

- рекогносцировку и обследование геодезических пунктов,
- создание опорной сети при комбинированном использовании с другой геодезической аппаратурой,
- плановую привязку объекта с точностью до 2-3 м (в отдельных случаях возможна и высотная привязка),
- плановую топографическую съёмку масштабов 1:25 000-1:5 000 в местности с открытым и полукрытым горизонтом.

II. Погрешности в геодезических работах; погрешности GPS-навигаторов

Общее определение погрешности. Последним ОСТом (ОСТ 68-15-01, 2001:6) термином «погрешность» заменяется термин «ошибка». Поскольку понятие «погрешность» относится к самим топографо-геодезическим работам, то остановимся более подробно на нём. В теории математической обработки геодезических измерений выделяют понятий абсолютная погрешность, вес результата геодезических измерений, грубая погрешность, допустимая погрешность, инструментальная погрешность, личная

погрешность, методическая погрешность, относительная погрешность, погрешность за влияние внешних условий, предельная погрешность и т.п. (ОСТ 68-15-01, 2001:16-22).

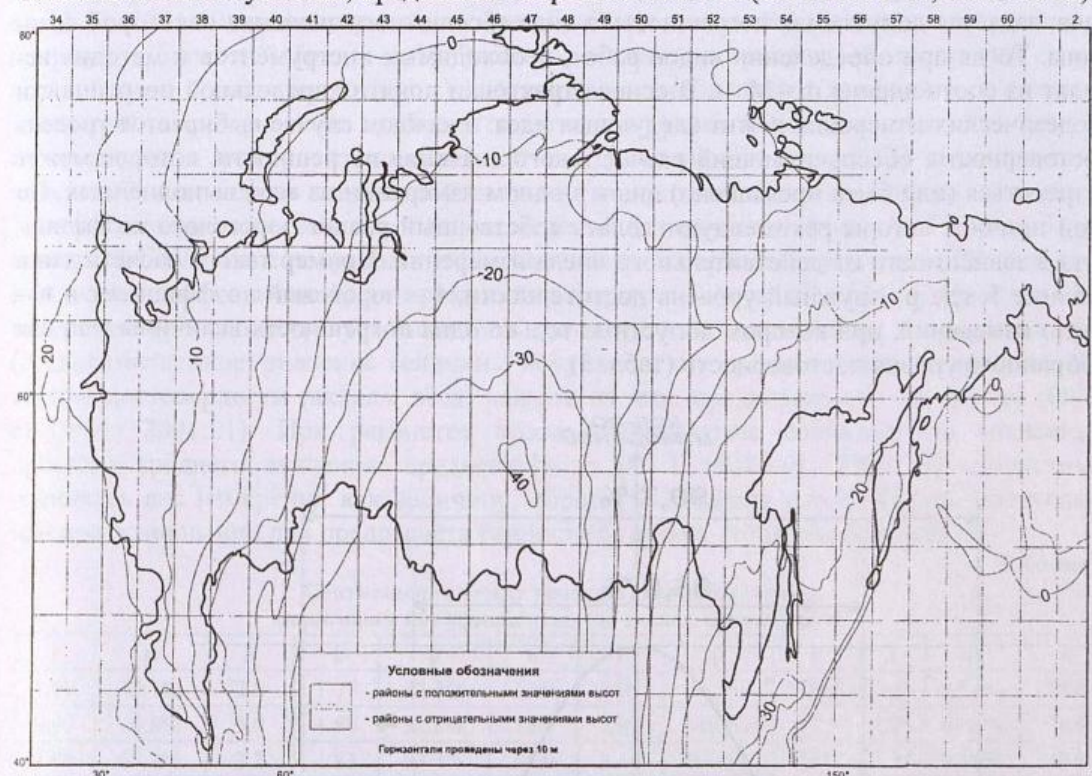


Рис. 3. Карта-схема высот квазигеоида над общим земным эллипсоидом на территорию России (Единая государственная система геодезических координат 1995 года, 2000).

Сделаем общее замечание: речь идёт о статистике. На практике, если измерения действительно не содержат грубых погрешностей (например, из-за неумелого пользования инструментами), то реально полученная погрешность существенно меньше допустимой погрешности. В зависимости от способа расчёта среди погрешностей выделяют: предельную погрешность (обозначение в наших формулах «М»), среднюю погрешность («Е») и среднеквадратическую погрешность – СКП, англоязычная аббревиатура RMS¹⁴ («m»).

Предельная погрешность (М). Для спутниковых определений (и для всех топографо-геодезических работ, о которых будет идти здесь речь) за её значение условно принимают удвоенное значение погрешностей среднеквадратической ($M = 2 \cdot m$) или средней ($M = 2 \cdot E$). Подчеркнём, что это понятие, основанное на предположении о случайном характере распределения погрешностей измерений, необходимо для некоторого критерия выявления грубых погрешностей. Теоретически максимальная погрешность может быть любой, но согласно кривой Гаусса, для каждого конкретного числа измерений погрешности последних, превышающие определённое пороговое значение $t \cdot m$, маловероятны. Всё, что превышает это пороговое значение, с большой вероятностью содержит грубые (т.е. неслучайные) погрешности и подлежит специальному рассмотрению либо может быть на этом основании исключено из обработки. Значение порогового коэффициента $t = 2$ (точнее 1.96) говорит о том, что только каждое 20-е измерение (уровень достоверности 95%) может содержать погрешность в размере удвоенного значения СКП, а если измерений меньше 20, то превышение этого порогового значения означает грубую погрешность в принятом понимании этого термина (рис. 4). Приведём

¹⁴В иностранной литературе можно встретить понятие круга погрешностей (круг на плоскости, в который попадает местоположение точки с заданной вероятностью; его радиус обозначается $2DRMS$) и шара погрешностей (шар в пространстве, в который попадает трёхмерное местоположение точки с заданной вероятностью; его радиус обозначается $3DRMS$). Фактически это геометрические интерпретации понятия предельной погрешности.

стандартные значения t для топографо-геодезических работ: $t=1.5$ (при числе измерений до 8), $t=2.0$ (до 20), $t=2.5$ (до 80) и $t=3.0$ (более 80). Иногда ставится обратная задача: задаётся допустимая погрешность в виде абсолютного значения некоторой величины. Тогда при определении видов работ, необходимых инструментов и методик исходят из соотношения $m=M:t$. В основе трактовки понятия предельной погрешности геодезических измерений лежит следующая идея: в каждом случае выбирается уровень достоверности, обеспечивающий расчёт такого значения погрешности, которое может встретиться (или быть превышено) лишь в одном измерении из всех выполненных. По этой причине авторы рекомендуют делать собственный расчёт порогового коэффициента в зависимости от действительного числа измерений. Пример такого расчёта дан в таблице 5, где p – нужный уровень достоверности, t – пороговый коэффициент и n – число измерений, при котором допустима только одна погрешность величины $t \cdot m$ для выбранного уровня достоверности (табл. 5).

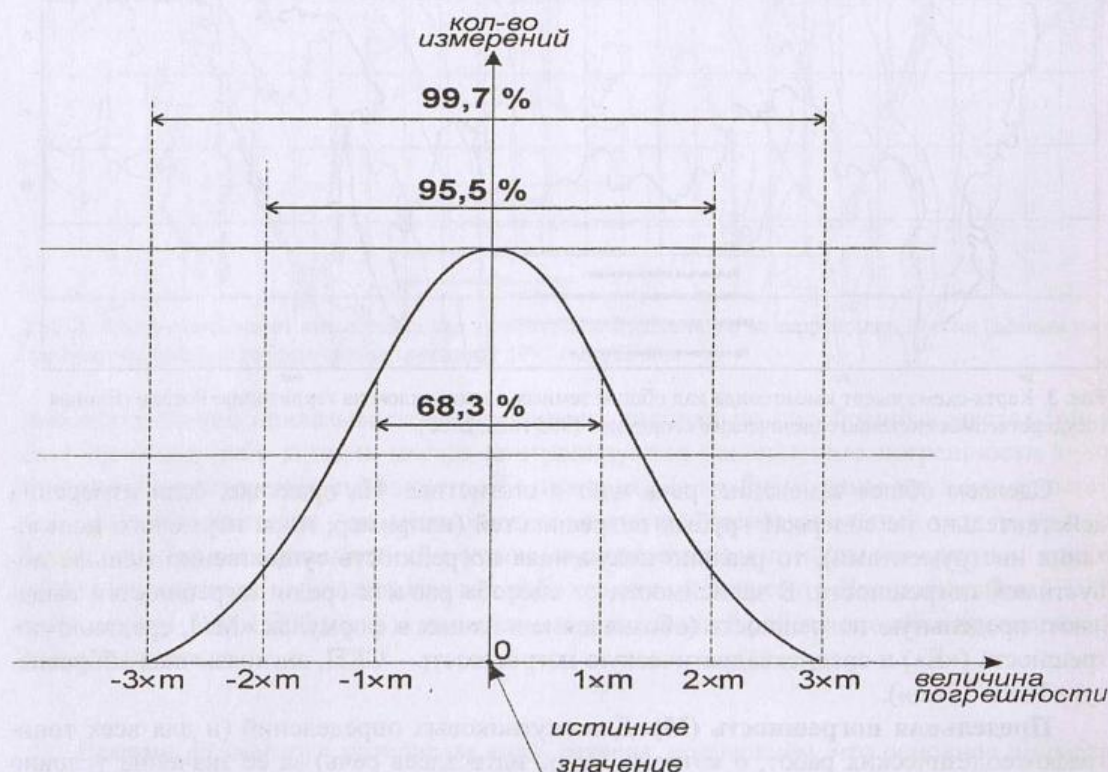


Рис. 4. Статистический критерий оценки предельной погрешности геодезических измерений в зависимости от числа измерений (уровня достоверности).

Средняя погрешность (Е). Определения термина в ОСТах нет, а Инструкция даёт его в примечаниях в таком виде:

«...для перехода от средних погрешностей к среднеквадратическим погрешностям применяется коэффициент 1.4» (Инструкция, 2002:16).

Рассчитаем стандартные соотношения для нашего случая топографо-геодезических работ (в том числе для спутниковых определений): $m=1.4 \cdot E$ и $M=2 \cdot m=2.8 \cdot E$. Это значит, что показания GPS-навигатора Assigasy=4 м (средняя погрешность позиционирования) соответствуют статистической допустимости погрешности одного измерения в 11 или более метров при общем числе измерений 20. Попробуем понять суть средней погрешности, воспользовавшись понятием предельной погрешности – средняя погрешность даёт нам пороговое значение погрешности, за которое не должны выходить погрешности более 50% измерений. Для уровней достоверности, близких к 68% (соответствует СКП) и 50% (соответствует средней погрешности), получаем – $1.00:0.67=1.49$ (табл.5), что сильно отличается от определения в Инструкции. Поэтому для расчётов мы будем применять коэффициент ровно 1.4, так как он явным образом указан в Инструкции.

Среднеквадратическая погрешность (m). Самая корректная погрешность, насколько это слово может быть вообще применимо к статистике. Её получают (ОСТ 68-15-01, 2001:19) прямым расчётом при обработке измерений на основании реальных поправок к ним: $m^2=[p\cdot vv]:(n-1)$. Здесь vv – квадраты уклонов измерений от их осреднённого (средневзвешенного) значения, p – вес каждого измерения, n – число измерений, а квадратными скобками отмечается сумма всех элементов от 1 до n в соответствии с формулой, заключённой между ними. То есть, СКП геодезических измерений – это корень квадратный из суммы квадратов поправок к этим измерениям с учётом их весов, отнесённой к числу измерений без единицы (формула Бесселя). Если известны абсолютные погрешности (d – уклоны измеренных величин не от среднего, а от их истинных значений), то применяется формула Гаусса: $m^2=[dd]:n$. Понятие веса измерения (p) соответствует понятию достоверности последнего, а средневзвешенное (средневзвешенное) значение величины получается как среднее значение величин a_i с учётом достоверности (вклада, веса) каждой из них: $\text{средневзвешенное}=[a_i \cdot p]:[p]$ (ОСТ 68-15-01, 2001:21). При равенстве весов средневзвешенное совпадает со значением простого среднего значения: $\text{среднее}=[a_i]:n$ (ОСТ 68-15-01, 2001:20). Допустимо оценивать вес измерения как величину, обратную квадрату его СКП (так поступают при проектировании для предрасчёта точности будущих геодезических работ).

Таблица 5

Соотношение между уровнем достоверности p , пороговым коэффициентом t и числом измерений n

t	p	n	t	p	n	t	p	n	t	p	n
0.67	49.7%	2.0	1.77	92.3%	13.0	2.07	96.1%	26.0	2.23	97.4%	38.8
0.97	66.8%	3.0	1.80	92.8%	13.9	2.09	96.3%	27.3	2.24	97.5%	39.9
1.00	68.3%	3.2	1.83	93.3%	14.9	2.10	96.4%	28.0	2.25	97.6%	40.9
1.15	75.0%	4.0	1.86	93.7%	15.9	2.11	96.5%	28.7	2.26	97.6%	42.0
1.28	79.9%	5.0	1.89	94.1%	17.0	2.13	96.7%	30.1	2.27	97.7%	43.1
1.38	83.2%	6.0	1.91	94.4%	17.8	2.14	96.8%	30.9	2.28	97.7%	44.2
1.44	85.0%	6.7	1.94	94.8%	19.1	2.15	96.8%	31.7	2.40	98.4%	60.0
1.47	85.8%	7.1	1.96	95.0%	20.0	2.17	97.0%	33.3	2.50	98.8%	80.5
1.53	87.4%	7.9	1.98	95.2%	21.0	2.18	97.1%	34.2	2.60	99.1%	107.3
1.59	88.8%	8.9	2.00	95.4%	22.0	2.19	97.1%	35.1	2.70	99.3%	144.2
1.64	89.9%	9.9	2.02	95.7%	23.0	2.20	97.2%	36.0	2.80	99.5%	195.7
1.69	90.9%	11.0	2.04	95.9%	24.2	2.21	97.3%	36.9	2.90	99.6%	268.0
1.73	91.6%	12.0	2.05	96.0%	24.8	2.22	97.4%	37.9	3.00	99.7%	370.4

Если итоговая погрешность должна учитывать влияние нескольких параметров (погрешность исходной геодезической основы m_a , погрешность съёмочного обоснования m_b , погрешность собственно съёмки m_c), используется соотношение: $m_{\text{итоговое}}^2=m_a^2+m_b^2+m_c^2$. При этом применяется «золотое» правило: если суммарное влияние каких-либо погрешностей не превышает 1/3 от величины итоговой, то всеми этими погрешностями можно пренебречь. Для сравнения со средней и предельной погрешностями воспользуемся уже известным соотношением: $M=t \cdot m$. Предельная погрешность будет равна СКП при $t=1$. Отсюда (табл. 5), можно получить приближённое, но весьма практичное определение СКП – это такое значение предельной погрешности измерений, которое не должно быть превышено погрешностями отдельных измерений в двух случаях из трёх. Далее мы будем под словом погрешность понимать только СКП, если в явном виде не оговорено другое.

Точность топографической съёмки. Теперь посмотрим, как можно применить систему оценки погрешностей при определении требований к точности съёмочного обоснования и нанесения контуров при топографической съёмке. Для этого нам потребуется вспомогательная величина – один миллиметр в масштабе карты (плана). Возьмём, к примеру, трапецию (лист карты) масштаба 1:25 000 (в 1 см 250 м) – самый мелкий на сегодняшний день масштаб карт, получаемых посредством топографической съёмки. Масштабы ещё более мелкие (1:50 000, 1:100 000 и т.д.) создаются путём картографической генерализации (т.е. в камеральных условиях). Рассчитаем этот

параметр: 1 мм в масштабе карты = 25 000 мм = 25 м. Теперь обратимся к критериям полевой приёмки:

...из общего числа контрольных измерений не более 10 % расхождений равны удвоенному значению допустимой средней погрешности ... и не более 5 % превосходят эту величину (Инструкция, 2002:17).

Для 85%-го уровня достоверности¹⁵ следует, что $t=1.44$ (табл.5). Тогда $m = M : 1.44 = 2 \cdot E : 1.44 = 1.39 \cdot E$. Поскольку присутствует незначительное расхождение (1.4~1.39), то ещё раз подтверждаем своё решение: для единообразия расчётов использовать только формулу $m = 1.4 \cdot E$.

Следующие значения определяются уже посредством вспомогательного параметра – миллиметра в масштабе карты (плана):

...величины средних погрешностей ... предметов и контуров местности с чёткими очертаниями относительно ближайших точек съёмочного обоснования не должны превышать 0.5 мм, а в горных и залесённых районах – 0.7 мм (Инструкция, 2002:16).

Сразу отметим, что для нечётких (нетвёрдых) контуров эти значения следует увеличить в 1.5 раза.

...предельные погрешности положения пунктов планового съёмочного обоснования...относительно пунктов государственной геодезической сети не должны превышать на открытой местности и на застроенной территории 0.2 мм...и 0.3 мм – при крупномасштабной съёмке на местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью» (Инструкция, 2002:54).

По аналогии будем считать $E = M : 2$. Теперь посмотрим, каковы будут абсолютное и относительное значения погрешностей съёмки для нормальной¹⁶ и труднодоступной¹⁷ (горной, залесённой и прочей закрытой) местностей¹⁸:

для пунктов съёмочного обоснования (СО) $E_{co1} = 0.2 \cdot 25 : 2 = 2.5$ м, $m_{co1} = E_{co1} \cdot 1.4 = 3.5$ м и $E_{co2} = 0.3 \cdot 25 : 2 = 3.8$ м, $m_{co2} = E_{co2} \cdot 1.4 = 5.2$ м;

для «твёрдых» контуров и отдельно стоящих построек, предметов относительно съёмочного обоснования (ТК) $E_{tk1} = 0.5 \cdot 25 = 12.5$ м ($M_{tk1} = 2 E_{tk1} = 25.0$ м, $m_{tk1} = E_{tk1} \cdot 1.4 = 17.5$ м) и $E_{tk2} = 0.7 \cdot 25 = 17.5$ м ($M_{tk2} = 35.0$ м, $m_{tk2} = 24.5$ м);

для «нетвёрдых» контуров относительно пунктов съёмочного обоснования (НК) $E_{nk1} = 0.5 \cdot 1.5 \cdot 25 = 18.8$ м ($M_{nk1} = 37.5$ м, $m_{nk1} = 26.2$ м) и $E_{nk2} = 0.7 \cdot 1.5 \cdot 25 = 26.2$ м ($M_{nk2} = 52.5$ м, $m_{nk2} = 36.8$ м).

Теперь самое время воспользоваться формулами для учёта совместного влияния нескольких погрешностей $m_{tk}^2 = m_{co}^2 + m_{tk}^2$ и $m_{nk}^2 = m_{co}^2 + m_{nk}^2$, а результаты¹⁹ для наглядности объединить в таблицу 6.

Таблица 6

Погрешности съёмочного обоснования и нанесения контуров при топографической съёмке масштаба 1:25 000 с учётом погрешности съёмочного обоснования

наименование	погрешность	благоприятная местность		труднодоступная местность	
съёмочное обоснование	M =	0.20 мм	5.0 м	0.30 мм	7.5 м
	m =	0.14 мм	3.5 м	0.21 мм	5.2 м
твёрдые (чёткие) контуры	M =	1.02 мм	25.5 м	1.43 мм	35.8 м
	m =	0.71 мм	17.8 м	1.00 мм	25.0 м
нечёткие контуры	M =	1.51 мм	37.8 м	2.12 мм	53.0 м
	m =	1.06 мм	26.5 м	1.48 мм	37.0 м

Теперь читатель уже сам может рассчитать значение различного типа погрешностей, имея одно из них и задавая подходящий критерий достоверности для получения порогового коэффициента t . Соответственно, чтобы определить масштаб будущего плана, необходимо рассчитать СКП нанесения на него контуров и предметов, а погрешность съёмочного обоснования (сетки координат) позволит спроектировать необходимые геодезические работы и инструменты.

¹⁵100% - (10% + 5%) = 85%.

¹⁶Величины с индексом 1.

¹⁷Величины с индексом 2.

¹⁸Считаем, что относительно топографических работ погрешности пунктов ГТС пренебрежимо малы $m_{ГТС} \ll m_{топокарты}$.

¹⁹В математической обработке геодезических измерений применяется следующее правило для уменьшения накопленной погрешности округления: числа, оканчивающиеся ровно на 5 округляются до ближайшего чётного значения, то есть – иногда с избытком, иногда – с недостатком.

Приведём упрощенный пример: надо получить на плане сантиметровую точность местоположения находок археологического раскопа. Для масштаба плана получаем величину 1:20 (10 мм : 0.5 мм = 20), при этом необходимо обеспечить проволоочной сетке координат такое натяжение нитей, которое даст точность положения относительно исходного пункта (репера) всех её перекрестий 4 мм (0.2 мм · 20 = 4 мм). Критерии фактической проверки изложены выше, а в действительности же при аккуратной работе можно ожидать точности съёмки около 5 мм. В отраслевых стандартах, нормах и правилах в обязательном порядке приводятся значения нормативных параметров для такого рода расчётов.

Погрешности при работе с GPS-навигатором. Теперь нам потребуются понятия условной точности, целостности и несколько определений по спутниковой технологии работ:

Альманах навигационных спутников (*almanac*) – набор справочных сведений о положении (о шкале времени и элементах орбит) и рабочем состоянии всех навигационных спутников данной ГНСС, входящих в информацию, передаваемую с навигационного спутника (РТМ 68-14-01, 2001:7);

Благоприятный временной интервал (спутниковых) определений – период времени, когда можно одновременно наблюдать необходимое число (не менее 4-х) спутников с предрасчитанным значением DOP²⁰... благоприятный временной интервал определяется на основе графического представления места спутника, азимут – угол места, с использованием программного обеспечения, поставляемого производителем приемников (РТМ 68-14-01, 2001:12);

Бортовые эфемериды навигационных спутников (*board ephemeris*) – сведения о местоположении навигационных спутников на орбите, передаваемые в составе измерительной информации... бортовые эфемериды являются результатом обработки измерений, выполняемых сегментом управления, и загружаемые им²¹ на спутники несколько раз в сутки (РТМ 68-14-01, 2001:7);

Время GPS (GPST) – системная шкала времени GPS (РТМ 68-14-01, 2001:6);

Геодезические измерения – измерения, проводимые в процессе топографо-геодезических работ,... в зависимости от характера получаемой информации различают абсолютные и относительные геодезические измерения, по степени автоматизации – визуальные и автоматизированные геодезические измерения (ОСТ 68-15-01, 2001:2);

Геодезический спутниковый приемник – приемник, обеспечивающий прием кодово-фазовой информации, передаваемой со спутника и предназначенной для выполнения геодезических работ (РТМ 68-14-01, 2001:9);

Дифференциальные измерения (в спутниковых определениях) – измерения, основанные на введении дифференциальных поправок, определяемых базовой станцией, в результаты измерений, выполненных на перемещаемых приемниках (РТМ 68-14-01, 2001:13);

Дифференциальные поправки (к измеренным значениям псевдодальности) – поправки, определенные как разность между измеренными значениями псевдодальности по кодам и/или фазовым измерениям и значениями расстояний между приемником и спутниками, вычисленными по известным значениям координат пункта и бортовым эфемеридам спутника (РТМ 68-14-01, 2001:13);

Единство геодезических измерений – состояние геодезических измерений, при котором их результаты получены в соответствии с требованиями нормативной документации, выражены в законных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью (ОСТ 68-15-01, 2001:2);

Конфигурация спутников (satellite configuration) – взаимное расположение спутников в определенный момент времени, относящееся к конкретному пользователю (РТМ 68-14-01, 2001:3);

Координатные измерения (геодезические измерения координат) – вид геодезических измерений, в которых измеряемой геодезической величиной является положение геодезических пунктов относительно исходных пунктов в заданной отсчётной системе... различают несколько методов измерения координат (приращений): инерциальный, спутниковый, тахеометрический (ОСТ 68-15-01, 2001:9);

Метод геодезических измерений – совокупность операций (правил, приёмов) по выполнению геодезических измерений в соответствии с используемым принципом измерений, выполнение которых обеспечивает получение результата с заданной точностью (ОСТ 68-15-01, 2001:4);

Наблюдение навигационных спутников – процесс приема и обработки измерительной информации от навигационных спутников (РТМ 68-14-01, 2001:12);

Селективный доступ к измерительной информации²² (*selective availability, SA*) – способ намеренного искажения данных, передаваемых со спутника (показания часов или значения эфемерид) по закономерности, известной допущенному потребителю (РТМ 68-14-01, 2001:8);

²⁰Фактор понижения точности спутниковых измерений – Dilution of Precision (прим. авт.)

²¹То есть бортовые эфемериды, загружаемые сегментом управления на спутники (прим. авт.)

²²Влияние погрешности селективного доступа не рассматривается в настоящей статье в связи с отключением этого режима Пентагоном в мае 2000 г. К тому же мы считаем, что исключение влияния этой

Точные эфемериды положения навигационных спутников на орбите (*precise ephemeris*) – сведения о местоположении навигационных спутников на орбите, получаемые после проведения траекторных измерений, описывающие реальное движение навигационных спутников (PTM 68-14-01, 2001:7);

Точность спутниковых определений зависит не только от модели или типа приёмника, но и от других причин, в том числе:

5.2.6. Местоположение точки может быть получено с использованием глобальных навигационных спутниковых систем, как из абсолютных, так и из относительных определений. Абсолютные определения выполняются по принципу пространственной обратной линейной засечки, образованной измеренными псевдодальностями до 4-х и более спутников с одной точки, на которой размещён спутниковый приёмник. Точность абсолютных определений местоположения ограничена рядом факторов, среди которых основным является влияние погрешностей эфемерид спутников. Стандартная точность определения местоположения абсолютным методом не превышает 5 м, что не позволяет использовать этот метод при развитии²³ съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа, поэтому в настоящей Инструкции абсолютные определения не рассматриваются... (Инструкция, 2002:38);

...влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим собой отношение среднеквадратической погрешности определения местоположения к среднеквадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP имеет несколько видов, основные из которых... GDOP (геометрический: координаты, высота, время), PDOP (позиционный: координаты, высота), HDOP (горизонтальный: координаты), VDOP (вертикальный: высота)... (Инструкция, 2002:41-42);

...фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP... (Инструкция, 2002:42);

...спутниковые определения не рекомендуется выполнять при значениях фактора PDOP > 7... (Инструкция, 2002:43).

Условная точность. Произведём расчёт СКП определения местоположения: $m_{abc} = 1.4 \cdot E_{abc} = 1.4 \cdot 5.0 = 7.0$ м и СКП определения псевдодальностей, то есть при HDOP = 1, $m_{псевдодальности} = m_{abc} : HDOP = 7.0 : 7 = 1.0$ м. Для большей достоверности возьмём интервал с запасом 1.0-1.5 м. Будем говорить об **условной точности** (Conditional Accuracy) – точности, имеющей место при определенных условиях работы навигационной системы. Условная точность определения планового местоположения из автономных спутниковых определений, производимых GPS-навигатором при HDOP ≤ 2 (нормальное значение для проектирования и выполнения высокоточных спутниковых наблюдений с помощью геодезических спутниковых приемников) составит $m_{HDOP \leq 2} = 2 \cdot m_{псевдодальности} \sim 2-3$ м. Теперь обратимся к спецификациям на интересующие нас модели GPS-навигаторов в таблице 7.

Таблица 7

Выдержка из сопровождающей технической документации на GPS-навигатор (Garmin, 2001)

1.Receiver	Differential ready 12 parallel channel
2.Update Rate	1/second continuous
3.GPS Accuracy	<15 meters RMS, 95% typical ²
4.DGPS (USGC) Accuracy	3-5 meters 95% typical with DGPS corrections ¹
5.DGPS (WAAS) Accuracy	<3 meters, 95% typical with DGPS corrections
6.Velocity Accuracy	0.05 meter/sec steady state

¹With optional GARM1N Differential Beacon Receiver Input (such as GARM1N GBR 21 or 23)

²Subject to Accuracy degradation to 100m 2DRMS under the U S DoD imposed Selective Availability program

Дифференциальные режимы²⁴ для GPS-навигаторов в Сибири представляются довольно экзотическими:

– геостационарных спутников системы WAAS²⁵ пока на нашем радиогоризонте нет (табл.7, строка 5),

погрешности из спутниковых наблюдений является вопросом только методики проведения самих измерений и/или их обработки. Для инженера решение такой задачи не является проблемой.

²³В геодезии под развитием съёмочного обоснования понимается создание новой сети недорогих низкоточных пунктов для обеспечения съёмочных работ и/или дополнение уже существующей геодезической сети такими пунктами (прим. авт.)

²⁴Дифференциальные режимы работы GPS-навигаторов требуют отдельного обсуждения.

²⁵Wide Area Augmentation System – система геостационарных спутников, обеспечивающая после своего полного развёртывания получение дифференциальных поправок практически на всей поверхности Земли.

– ретрансляторы дифференциальных поправок GBR 21/23 не могут принимать сигналы станций Береговой охраны США (табл.7, строка 4),

– создание и содержание своих станций дифференциальных поправок для ретрансляторов GBR 21/23 или наземных псевдоспутников в индивидуальном порядке нерентабельно в нашей стране и к тому же противоречит существующим установкам инспекции Госгеонадзора.

Итак, произведём аналогичные расчёты (табл.7, строка 3) $m_{abc} = M_{abc} : 2 = 15 : 2 = 7.5$ м, $m_{псевдодальности} = m_{abc} : HDOP = 7.5 : 6 \sim 1.2-1.3$ м и $m_{HDOP \leq 2} = 2 \cdot m_{псевдодальности} \sim 2-3$ м. Полученный результат достаточно хорошо согласуется с предыдущими выкладками²⁶.

Наконец обратимся к главному критерию использования GPS-навигаторов – практике²⁷. GPS-навигаторы, как правило, вместо величины HDOP дают значение средней погрешности позиционирования (Assigasy), полученной по внутренней сходимости. Это значение можно представить как $k \cdot E_{псевдодальности}$, где k – величина, близкая к HDOP, но не эквивалентная ей. При благоприятных условиях спутниковых наблюдений (свежий альманах в приёмнике с последними бортовыми эфемеридами, полностью открытый горизонт, отсутствие радиопомех, небольшое влияние многопутности и т.д.) Assigasy определяется GPS-навигатором как 4 м (3.5-4.5 м) при наличии 7-9 работающих спутниковых каналов²⁸. При этом значение HDOP практически всегда находится в пределах 2-6. При этой же величине HDOP значение Assigasy, равное 5 м, означает наличие помех от внешних источников или устаревший альманах с бортовыми эфемеридами. Как правило, значения Assigasy меньше 4 м можно получать только в режиме осреднения местоположения в очень благоприятных условиях наблюдений и при очень благоприятной конфигурации спутников. Вопрос выполнения спутниковых определений только по свежим бортовым эфемеридам относится уже к методике проведения полевых работ и будет рассмотрен ниже.

Оценим порядок величин: $m_{abc} = 1.4 \cdot E_{abc} \sim 1.4 \cdot 4 = 5.6$ м, HDOP ~ (2 + 6) : 2 = 4, $m_{псевдодальности} = m_{abc} : HDOP \sim 5.6 : 4 = 1.4$ м и, наконец, $m_{HDOP \leq 2} = 2 \cdot m_{псевдодальности} \sim 2-3$ м.

Фактически, мы сейчас просто конкретизировали значение «первых метров» из определений PTM абсолютных определений и автономного режима измерений. Для нас важно, что в качестве искомого значения $m_{HDOP \leq 2}$ можно взять величину 2-3 м. При этом надо учитывать, что это условная точность ($m_{HDOP \leq 2} = m_{условная}$), то есть она достигается в определённых пунктах, посредством определённых способов измерений и после определённой камеральной обработки. Только лишь наличие спутникового навигационного приёмника ещё не означает, что наблюдатель может в любое время в любом месте произвольным способом выполнить спутниковые определения такой точности.

Последний момент, который необходимо подчеркнуть – это различные погрешности приёмников разных производителей. Сравним спецификации на навигационный приёмник CASIO PRT-2GP (Casio, 2001), размещённый в корпусе наручных часов. За такую сверхпортативность приходится платить:

$m_{псевдодальности} = 1.4 \cdot E_{псевдодальности} \sim 1.4 \cdot 3.1 = 4.3-4.4$ м, $m_{PDOP \leq 2} = 2 \cdot m_{псевдодальности} \sim 8-9$ м.

Receiver frequency: 1575.42MHz

Tracking code: C/A

Receive channels: 12 parallel

Maximum satellite tracks: 12

²⁶В спецификациях на свои портативные спутниковые навигационные приёмники фирма Garmin перестала указывать ряд параметров: значение HDOP, для которого и приведены сведения по точности (в документации 90-ых годов встречалось упоминание о величине, не превышающей значение 6), и погрешности работы высотомера и компаса в моделях eTrex Vista, eTrex Summit и GPSMap 76S.

²⁷В современных спутниковых навигационных приёмниках сильно снижена общая погрешность за счёт применения современных моделей атмосферных ошибок, существенного уменьшения их собственных шумов и продолжения выполнения программы перевода атомных спутниковых часов с рубидиевого на цезиевый и водородный стандарты.

²⁸В настоящее время норма 9-12 работающих каналов даже для Сибири.

Update rate: 1 second (Continuous Mode)

Approximate measurement Accuracy (without Accuracy degradation under U.S. DOD-imposed Selective Availability Program):

Along horizontal plane: ± 3.1 m average, 10 m maximum (POS DOP: 1; Continuous Mode).

Along vertical plane: ± 10 m average (ALT DOP: 1; Continuous Mode).

Целостность навигационных спутниковых определений. Авторы здесь говорят только об условной точности и методике поддержания *целостности навигационных спутниковых определений* (Integrity) – способности системы обеспечивать пользователей своевременными предупреждениями в случаях, когда систему нельзя использовать для решения требуемой навигационной задачи.

В 2001 г. было сделано несколько спутниковых определений на пунктах, расположенных на крыше лабораторного корпуса СГГА (Вергунов, 2001). Отрабатывался ряд методических вопросов по режиму работы спутниковых приёмников на основе Track Points²⁹, и попутно были рассчитаны для двух пунктов координаты в СК-42 (для спутниковых наблюдений на третьем пункте очень мешали шумы от близкой антенны радиомодема). Конфигурация полей помех от спутниковой геодезической антенны JAVAD, установленной на одном из пунктов, антенны радиомодема вблизи другого и координаты двух из трёх пунктов были переданы на кафедру астрономии СГГА. Результат был хорошим: плановые отклонения реальных (из каталога) координат не превышали 15-17 см, при этом радиусы полей шумов были определены как 0.3 и 1.8 м соответственно. Но было бы в корне неверно говорить вообще о точности спутниковых определений одним GPS-навигатором порядка первых дециметров без учёта дифференциальных поправок. Дальнейшая работа это подтвердила: способ спутниковых определений посредством Track Points (фактически это своеобразный вариант режима относительных измерений применительно к кодовой аппаратуре) очень требователен к условиям спутниковых наблюдений и квалификации исполнителя. В 2002 году при внедрении методик в геодезическое подразделение ВНИПИЭТ (г. Железнодорожный Красноярского края) и работах на Алтае («ТЭТИС» из Новокузнецка, Шалымская геолого-разведочная экспедиция из Таштагола и Институт Археологии и Этнографии СО РАН из Новосибирска) применялись только «обычные» режимы работы – Waypoints³⁰ (Постнов, Вергунов, 2002).

Итак, условная точность означает, что при выполнении определённых рекомендаций по способам и условиям наблюдений, требований к применяемой аппаратуре и квалификации исполнителя можно получить заданную точность спутниковых определений. Нарушение таких требований и рекомендаций (необходимость сиюминутного выполнения срочных работ) приводит к появлению дополнительной погрешности $m_{\text{внешние условия}}$, влияние которой можно выразить как $m_{\text{итоговая}} = m_{\text{внешние условия}} \cdot m_{\text{условная}}$. К внешним условиям, вызывающим дополнительную погрешность, авторы относят и резкие изменения бортовых эфемерид навигационных спутников³¹. Такие изменения бортовых эфемерид, которые могут носить как

²⁹В связи с непрофессиональным переводом технической документации на GPS-навигаторы и такой же по качеству «русификации» самих приборов переводы англоязычных терминов и режимов работы на русский язык оставляют желать много лучшего. Чтобы не вводить читателя в заблуждение различными вариантами таких переводов, авторы сохраняют англоязычные названия режимов работы GPS-навигаторов и установок меню. Режим работы на основе Track Points представляет собой получение приращений координат от начального пункта на основе вектора скорости и времени движения – информации, наличие которой является основной особенностью навигационных спутниковых приёмников. Поэтому с помощью Track Points можно достоверно фиксировать реальные дециметровые смещения антенны приёмника (Вергунов, 2001), хотя из разницы абсолютных координат начальной и конечной точки точек такого смещения это сделать не представляется возможным даже в дифференциальных режимах работы GPS-навигатора.

³⁰В отличие от режима Track Points, режим Waypoints даёт координаты, полученные непосредственно из решения линейной засечки на основе псевдодальностей до навигационных спутников, что полностью соответствует режиму автономных спутниковых измерений.

³¹Высокоточные геодезические спутниковые определения в процессе последующей камеральной обработки (постобработки) пересчитываются в соответствии с полученными позднее точными эфемеридами на момент спутниковых наблюдений – точные эфемериды становятся доступными в Internet через 1-4 недели (в зависимости от степени точности) после наблюдений. Спутниковые навигационные

планируемый, так и случайный характер, дают резкое многометровое смещение расчётного местоположения антенны приёмника, поэтому классифицируются авторами как грубые погрешности. В первом случае это вызывается самой технологией: сегмент управления загружает на спутники расчётные значения бортовых эфемерид на сутки вперёд. Для уменьшения погрешности эти суточные прогнозируемые бортовые эфемериды разбиваются на интервалы, в течение которых спутники транслируют строго определённую информацию. Момент перехода на трансляцию следующих значений сопровождается изменением вычисляемого местоположения приёмника на 3-6 м. Во втором случае идёт речь об аварийном уходе с расчётной орбиты одного из спутников или появлении сильного расхождения между показаниями спутниковых бортовых часов и их прогнозируемыми значениями. Эта информация будет доступна пользователю спутникового навигационного приёмника только после очередной загрузки альманаха на спутники. До этого момента спутниковые наблюдения с хотя бы одним «дефектным» спутником на радиогоризонте будут включать в себя эту погрешность, которая может достигать многих метров. Наш опыт помогает уменьшить влияние таких грубых погрешностей, поэтому учтём, что $m_{\text{наблюдений}}^2 = (m_{\text{внешние условия}} \cdot m_{\text{условная}})^2 + m_{\text{альманаха}}^2$.

Но методика включает в себя и полевые работы, и камеральную обработку. Поэтому погрешность $m_{\text{методики}}$ складывается из погрешности полевых работ $m_{\text{наблюдений}}$ и погрешности интерпретации³² полученных сведений $m_{\text{проектирования}}$. Более того, вся методика строится на основе принятых способов интерпретации геодезических данных и лежит в основе инструкций, наставлений и проектов работ. Сюда же можно отнести и «человеческий фактор»: квалификацию наблюдателей и проектировщиков. В итоге получаем: $m_{\text{методики}}^2 = (m_{\text{внешние условия}} \cdot m_{\text{условная}})^2 + m_{\text{проектирования}}^2 + m_{\text{альманаха}}^2$. Погрешность $m_{\text{проектирования}}$ может быть пренебрежительно мала ($m_{\text{проектирования}} \ll m_{\text{условная}}$), но иногда случается обратное. Одна из организаций вернула поставщику навигационный приёмник с рекламацией: ошибка по оси X в размере 2.4 км. Приёмник оказался полностью исправен, а в его настройках стояла прямоугольная проекция UTM (табл.3, строка 4). Посмотрим – от экватора до Новосибирска по меридиану около 6 тысяч километров. Это даёт разницу масштабов $6\,000\,000 \text{ м} \cdot (1 - 0.9996) = 2\,400 \text{ м}$.

Рассмотрим теперь другой вариант: различие только в геодезических широтах одной точки на сфероиде Красовского и WGS-84 может доходить до 4", что соответствует относительной точности $1:51\,600 \sim 4'' \cdot \pi : (3600 \cdot 180)$. Без поправок, связанных с различием этих сфероидов, накопленная погрешность между точками, разнесёнными по меридиану на 20 км³³, составит $20\,000 : 51\,600 \sim 0.4 \text{ м}$ ³⁴. Работать с субметровой точностью без учёта такого различия было бы весьма неосмотрительно.

Ещё раз подчеркнём, что оценка погрешности работы спутникового навигационного приёмника путём сравнения с крупномасштабными картами недопустима без учёта собственных погрешностей последних.

Теперь рассмотрим вопрос о поддержании целостности заданного значения $m_{\text{методики}}$ для навигационных спутниковых определений. Здесь сразу отметим: в спутниковых навигационных приёмниках сейчас нет аппаратной поддержки целостности измерений. Более того, главной задачей GPS-навигаторов является выдать пользователю хоть что-нибудь о его местоположении в данный момент, в то время как главная задача геодезических измерений – получить сведения только требуемой точности. При рекогносцировочных работах и обследовании пунктов нормативами разрешается двадцатиметровая точность, а вот для остальных работ нужны более достоверные данные. И этот вопрос решается в нашем случае путём системного

приёмники используют только бортовые эфемериды, полученные со спутников при выполнении самих спутниковых наблюдений.

³²В основном это связано с трансформацией в системы координат.

³³20 км – грубые границы участка в топографии, в пределах которого в большинстве случаев можно пренебречь некоторыми поправками измеренных линий и углов.

³⁴Без учёта поправки, связанной с различием сфероидов по долготе.

подхода: методика должна включать одновременно рекомендации и по полевым, и по камеральным работам.

Статистическая воронка. В системодинамике есть понятие воронки: класс решений, при которых пространство решений с каждым шагом уменьшается. Такой подход в геодезическом приложении даёт нам возможность «отфильтровать» выполненные спутниковые определения по их точности с помощью статистической воронки. И если «на дне» такой воронки остаётся несоизмеримо мало данных требуемой точности по сравнению с затраченными усилиями, то применяемые способы полевых работ (условия и порядок наблюдений/измерений, используемая аппаратура, квалификация исполнителя) непригодны для решения поставленной задачи. В Железногорске одним из авторов для привязки выполняемых спутниковых определений к местной системе координат были произведены специальные спутниковые определения на семи пунктах с известными координатами в нужной системе. Условия наблюдений были посредственными (по классификации авторов), но после обработки (то есть на «дне воронки») остались три пункта с точностью 0.6-0.8 м. Они были взяты за твёрдую исходную геодезическую основу. Вновь рассчитанные координаты трёх оставшихся пунктов имели погрешность менее 2 м, что вполне устроило заказчика. Наблюдения на последнем пункте были полностью забракованы по причине близлежащей силовой линии, в полосе помех которой он находился (погрешность 8 м). Здесь особо подчеркнём:

- помимо чисто статистических поводов для отбора тех или иных измерений по данным камеральной обработки в полевом журнале в момент измерений на каждом из всех четырёх «отфильтрованных» пунктов были отмечены объективные причины к такому снижению точности³⁵;

- точность этих измерений была получена на основе сравнения результатов обработки спутниковых определений именно с реальными координатами пунктов, а не выведена из внутренней сходимости самих измерений (таким же образом, то есть сравнением с каталогом координат, определялась и точность измерений на пунктах СГГА в предыдущем примере);

- погрешность 2 м включала в себя и погрешность «исходных пунктов», то есть реальная точность самих определений на этих трёх пунктах была не хуже $(2^2 - 0.7^2)^{1/2} \sim 1.9$ м.

Резюме. Резюмируя сказанное о погрешностях, можно считать, что погрешностью пунктов съёмочного обоснования можно пренебречь ($m_{со} \ll m_{топокарты}$), поэтому координаты геодезических пунктов надо брать из каталогов координат, а не снимать с карты – на карте геодезический знак можно рассматривать только как твёрдый контур), а вот топографические погрешности карты – необходимо обязательно учитывать (у нечётких контуров – склоны гор, лесонасаждения, болота, поймы рек, огороды и т.д. – погрешность планового положения может достигать 1-1.5 мм в масштабе карты). Что касается твёрдых контуров и предметов, то они играют огромную роль для привязки и ориентирования и потому обычно даются внесмасштабными условными знаками (дороги, перекрёстки, отдельно стоящие деревья или строения, высотные трубы и т.п.). Есть специальные картографические правила, регламентирующие месторасположение «центров» внесмасштабных знаков. Нельзя работать с туристическими картами, которые в нашей стране выпускаются без сетки прямоугольных координат и геодезических знаков, с искажёнными твёрдыми контурами. Чтобы закончить обсуждение вопроса о погрешностях топографических материалов в плане, перечислим наиболее важные виды погрешностей – полиграфические, деформация бумажной основы, смещение сети ГГС, отсутствие обновлений картографических сведений. Устаревшая карта – вещь очевидная, а по поводу смещения сети ГГС следует сказать, что требуется делать привязку именно в соответствии с каталогом координат пунктов ГГС. Суммарное влияние всего прочего на положение твёрдых контуров оценивается как 1 мм в масштабе карты (у нечётких контуров погрешность соответственно больше). Далее мы

будем использовать эту величину (1 мм в масштабе карты) как известную читателю характеристику точности геодезической привязки по топографической основе с помощью твёрдых контуров.

Точность описываемых способов спутниковых определений для наших целей в первом приближении можно оценить как

$$m_{методики}^2 = (m_{внешние условия} \cdot m_{условная})^2 + m_{проектирования}^2 + m_{альманаха}^2.$$

Иными словами, для описываемых способов работ $m_{методики} \sim m_{условная}$ только при тщательном соблюдении всех рекомендаций. В дальнейшем будем исходить из величины $m_{условная} \sim 2-3$ м. Добавим, что эти способы и приёмы спутниковых определений только формально попадают под определение абсолютного режима спутниковых определений, но по сути являются вариантом относительных измерений. Целостность выполненных спутниковых определений достигается путём совместной обработки спутниковых и «наземных» геодезических измерений. Наземные геодезические измерения накладывают дополнительные геометрические условия, которые вытекают из требования соответствия между геометрией сети, полученной из спутниковых определений, и жёсткой геометрией геодезического построения с инструментально измеренными углами и/или сторонами³⁶. При отсутствии исходных пунктов вообще (нет возможности произвести на них специальные спутниковые определения и неизвестны поправки к параметрам сфероид WGS-84) надо обязательно учитывать $m_{проектирования}$, значение которой в зависимости от наличия дополнительной информации может достигать 5-20 м. При использовании картографического материала (твёрдые контуры в качестве исходной основы) за $m_{проектирования}$ принимается погрешность карты (плана) – 1 мм в масштабе карты (плана). Вообще же $m_{проектирования}$ можно интерпретировать как возможный сдвиг всего участка работ в целом при точности положения его отдельных элементов относительно друг друга $m_{наблюдений} = (m_{внешние условия}^2 \cdot m_{условная}^2 + m_{альманаха}^2)^{1/2}$. При этом $m_{альманаха}$ представляет собой сдвиги микроучастков относительно друг друга внутри участка работ. Если в постобработке специальным образом заняться ещё и учётом подобных микросдвигов, применяя определённые способы работ в поле, то погрешности определения приращений координат (то есть в данном случае $m_{методики}$) гарантированно не выйдут из субметрового диапазона³⁷.

III. Полевые работы с применением навигационного GPS-приёмника

Основные определения для работы с GPS-навигаторами следующие:

Канал спутникового приемника – часть приемного электронного тракта спутникового приемника, обеспечивающего прием сигнала одной частоты одного спутника (РТМ 68-14-01, 2001:9);

Операция геодезических измерений – законченное действие наблюдателя, производимое с целью подготовки и (или) осуществления геодезических измерений (ОСТ 68-15-01, 2001:9);

Опорный пункт при спутниковых определениях – пункт, как правило, с известными координатами, на котором ведутся непрерывные спутниковые определения во время выполнения конкретного проекта (РТМ 68-14-01, 2001:15);

Приём геодезических измерений – минимальное количество операций, необходимое для однократного измерения геодезической величины с заданной точностью (ОСТ 68-15-01, 2001:9);

Программа геодезических измерений – систематизированный перечень операций геодезических измерений с указанием наименования геодезических величин, методов и количества приёмов измерений, порядка обработки и оценки точности полученных результатов (ОСТ 68-15-01, 2001:9);

Проект спутниковых определений (project) – процедура установления и ввода в приемник сведений о пунктах местности, подлежащих спутниковым определениям в поставленной задаче (РТМ 68-14-01, 2001:15);

Режим **реоккупации** определения местоположения (geosuppression) – вариант статического режима, когда при неблагоприятных условиях допускается выполнять наблюдения 3-х спутников или более при недопустимом значении DOP с непременным условием повторной установки приемника на этом же пункте не менее чем через 1 ч и наблюдением других спутников (РТМ 68-14-01, 2001:17).

Сеанс геодезических измерений – период времени, в течение которого производятся геодезические измерения (ОСТ 68-15-01, 2001:10);

³⁶И/или сети исходных геодезических пунктов.

³⁷Темой настоящей публикации является распространение наиболее применимых способов работы, а оптимальное соотношение «трудозатраты/точность» всё же получается для $m_{методики} \sim 2-3$ м.

³⁵Вот для чего требуется подробное ведение полевого журнала спутниковых наблюдений.

Сеанс спутниковых наблюдений; сессия (session) – непрерывная регистрация сигналов навигационных спутников приемниками в течение времени, необходимого для решения поставленной задачи (РТМ 68-14-01, 2001:16);

Серия геодезических измерений – множество геодезических измерений по определению геодезической величины, выполняемое единым методом (ОСТ 68-15-01, 2001:9);

Порядок проверки готовности аппаратуры и исполнителей к проведению работ на объекте определен следующим образом (Инструкция, 2002:47-48):

5.7.1. К производству полевых работ, как правило, допускаются лица, прошедшие курс обучения с приемниками того типа, который предполагается применять для спутниковых определений.

5.7.2. Перед выездом на полевые работы с целью освоения технологии и обеспечения надежности проведения работ рекомендуется выполнять пробные спутниковые определения в следующих случаях:

1) если приемник данного типа или метод спутниковых определений используется исполнителем работ впервые;

2) если техническим проектом предусмотрено выполнение спутниковых определений при таких расстояниях ..., которые ранее не реализовывались спутниковой аппаратурой данного типа или данным исполнителем;

3) если приемник данного типа применяется впервые при данном характере местности или если исполнитель впервые производит спутниковые наблюдения в окружении препятствий, характерных для данной местности;

4) если приемник данного типа применяется впервые или если исполнитель впервые производит спутниковые наблюдения в реализуемой по техническому проекту организационной структуре.

5.7.3. Пробные спутниковые определения необходимо выполнять теми же методами и, по возможности, в тех же условиях, что и на предполагаемом объекте работ.

5.7.4. По окончании пробных спутниковых определений составляется акт о готовности аппаратуры и исполнителей к производству работ.

5.8.1. Одним из этапов подготовки к проведению спутниковых определений является прогнозирование спутникового созвездия. Цель его – определение дат, моментов и интервалов времени, в которые параметры конфигурации спутникового созвездия оптимальны для спутниковых определений.

Необходимо учитывать, что в процессе работы со спутниковой аппаратурой надо соблюдать определенные правила (Инструкция, 2002:52):

5.9.5.1. Следить за индицируемым на дисплее значением свободного объема запоминающего устройства приемника и вовремя принимать меры по передаче накопившейся информации в ЭВМ.

5.9.5.2. Во избежание утраты данных спутниковые определения, по окончании каждого рабочего дня копировать полученные данные на дискету.

5.9.5.3. Всегда отражать в полевом журнале ход выполнения работ: время начала и конца приема, инициализации, потери связи и т.п.

5.9.5.4. Не допускать образования толстого снежного покрова на поверхности антенны приемника и ее обледенения.

5.9.5.5. Беречь антенну от попадания разряда молнии.

Условия спутниковых наблюдений:

2.10. При съемке ситуации и рельефа выбор местоположения пикета определяют, исходя из требований получения максимально полной информации о местности. Во многих случаях проведения наземных съемочных работ, особенно в черте городов и промышленных объектов, имеющих высокие (более 3 м) сооружения и растительность, эти требования вступают в противоречие с требованиями обеспечения возможности беспрепятственного проведения спутниковых наблюдений. Высокие здания, сооружения, высокая густая растительность являются препятствиями для прохождения радиосигнала и поэтому не допускают возможности проведения спутниковых наблюдений. Там, где имеются на местности естественные и искусственно созданные объекты позволяют производить съемочные работы, используя спутниковые определения, такие работы целесообразно проводить... (Инструкция, 2002:11).

7.1.1. Работы по съемке ситуации и рельефа с применением спутниковой технологии проектируют для тех случаев топографо-геодезической практики, когда проведение таких работ с использованием данной технологии выгодно и технико-экономически обосновано. Техническая возможность ведения таких работ открывается там, где имеющиеся на местности естественные и искусственно созданные объекты допускают выполнение спутниковых наблюдений. ... Вопрос о технической возможности наблюдений спутников для съемки ситуации и рельефа конкретного объекта решают путем изучения объекта по карте до начала проектных работ. В процессе этой работы на объекте выявляют имеющиеся на местности естественные и искусственно созданные объекты, препятствующие прохождению радиосигналов от спутников, и при этом устанавливают техническую возможность ведения спутниковых наблюдений (Инструкция, 2002:78-79):

7.1.1.1. Если препятствия для прохождения радиосигналов от спутников, имеющиеся на объекте или в его ближайших окрестностях, в значительной степени усложняют организацию наблюдений спутников, делая съемку нерациональной, то на таком объекте выполнять съемку посредством спутниковых определений нецелесообразно (Инструкция, 2002:79).

5.1.13. Многопутность – явление наложения на основной радиосигнал, идущий непосредственно от спутника, сигналов, отраженных от окружающих приемник объектов (понижает точность спутниковых определений) (Инструкция, 2002:36).

5.4.4. Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет 20°. Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной (Инструкция, 2002:42).

5.4.6. В процессе выполнения спутниковых определений значение фактора PDOP индицируется на дисплее приемника. В случае если значение фактора PDOP превышает допустимое, необходимо спланировать и провести новый сеанс (Инструкция, 2002:43).

Факторы, влияющие на точность спутниковых наблюдений (Инструкция, 2002:39-41):

5.3.3. К факторам, влияющим на прохождение радиосигнала, относятся механические препятствия, отражающие объекты, радиопомехи, влияние ионосферной и тропосферной рефракции.

5.3.4. Препятствия (здания и сооружения, густая растительность) и крупные предметы (при их нахождении на прямой, соединяющей спутник и приемник независимо от продолжительности нахождения) исключают возможность наблюдения этого спутника. Линии электропередач, провода и кабели диаметром до 2-3 см не являются препятствиями для прохождения радиосигнала. Рекомендации по производству работ при наличии на объекте препятствий даны в подразделах 6.2 и 7.1.

5.3.5. Объекты, отражающие радиосигнал, находящиеся вблизи приемника (на расстояниях до 50 м), в большей или меньшей степени, в зависимости от расстояния и площади поверхности объекта, создают эффект многопутности, понижающий точность спутниковых определений. К таким объектам относятся искусственные сооружения и крупные предметы, особенно металлические. Во избежание появления эффекта многопутности в процессе работ необходимо следить, чтобы точки съемочного обоснования не попадали в зоны, близкие к крупным металлическим объектам (опорам высоковольтных линий электропередач, нефтеналивным бакам). Влияние многопутности на точность спутниковых определений обычно незначительно для точностей, реализуемых при развитии съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа, и, таким образом, не исключает возможности проведения этих работ.

5.3.6. Радиопомехи, создаваемые источниками радиосигналов (мощными радиостанциями), находящимися на расстоянии менее 1 км от приемника, а также подвесными высоковольтными линиями электропередач, находящимися на расстоянии менее 50 м от приемника, понижают точность спутниковых определений. Необходимо избегать размещения спутниковых приемников вблизи этих объектов.

5.3.7. При выполнении спутниковых определений не рекомендуется наблюдать спутники, возвышение которых над горизонтом составляет менее 15°, т.к. в противном случае полученные данные будут значительно искажаться влиянием атмосферной рефракции.

5.4.1. Точность спутниковых определений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема.

Навигационное оборудование не является геодезическим, и лишь специальные методики позволяют с их помощью выполнять геодезические измерения. Следовательно, необходимо уточнить определения сеанса, приема, опорного пункта и планирования рабочих сеансов, отражающих специфику работы GPS-навигаторов для геодезических целей.

Сеанс – временной интервал между плановой сменой трансляции бортовых эфемерид спутниками NavStar (навигационными спутниками GPS). В течение 2002 года длительность этого промежутка авторами опытным путем была определена в два часа, начиная с каждого четного часа по шкале времени UTC. Возможно, что с дальнейшим развитием GPS этот интервал будет еще сокращаться – тогда соответственно изменятся параметры сеансов. В соответствии с Всемирным координированным временем (UTC) сеансы будут иметь номера: первый (от 0^h до 2^h по Гринвичу), второй (от 2^h до 4^h по Гринвичу) и вплоть до двенадцатого. Учитывая декретное время и разницу в часовых поясах, по новосибирскому времени первый сеанс будет с 6^h до 8^h (зимнее время) и 7^h до 9^h (летнее время). Для наблюдения используются сеансы, начиная со второго и кончая одиннадцатым. Теоретически лучше производить наблюдения в сеансы с начальными номерами, но по объективным причинам – сильная солнечная активность, промышленные помехи, частицы воды в атмосфере (также влияют на прохождение радиосигнала) – практически окажется, что наблюдать придется только в последние сеансы. Каждый сеанс делится на две части: благоприятную (первая половина сеанса, «а») и неблагоприятную (вторая половина сеанса, «б»). Например: сеанс 26 по зимнему

новосибирскому времени будет с 9^h до 10^h. Для определённости в дальнейшем мы будем под понятием «сутки UTC» понимать интервал времени от 0^h до 24^h по Гринвичу (точнее по шкале времени UTC). Рабочий сеанс (сеанс, в течение которого запланированы наблюдения) начинается с загрузки альманаха: за 3-5 минут до наступления сеанса надо включить спутниковый навигационный приёмник, получить на экране координаты текущего местоположения и дождаться времени начала сеанса с включённым приёмником. Через 12.5 минут после времени начала сеанса загрузка нового альманаха будет завершена³⁸ и можно приступать к выполнению приёмов (первый либо последний приём должен быть сделан на опорном пункте). Расхождения между координатами вершин опорного пункта внутри приёма позволяют сразу приблизительно оценить величину $m_{\text{внешние условия}} \cdot m_{\text{условная}}$ в сеансе. Различие между координатами опорного пункта из этого сеанса и из «каталога» даёт нам оценку $m_{\text{альманаха}}$. Далее следует оценить $m_{\text{методики}}$ без учёта $m_{\text{проектирования}}$. Если $m_{\text{альманаха}} \gg m_{\text{условная}}$, то работать в этот сеанс нельзя (иногда нельзя полностью в течение текущих суток UTC). Работа в последние 20-30 минут сеансов с литерой «б» не рекомендуется за исключением случаев, когда допустимо некоторое снижение точности. В течение всего рабочего сеанса (от загрузки альманаха до заключительного приёма) приёмник не выключается и рекомендуется держать его так, чтобы не прерывалась связь со спутниками³⁹.

Приём – фиксация местоположения приёмника наблюдателем в виде нескольких Waypoint. Перед фиксацией местоположения надо расположить приёмник (или его выносную антенну) таким образом, чтобы обеспечить устойчивую связь с максимально возможным в данный момент числом спутников. Ассигасу при этом должно быть в пределах 3.5-5.0 м (на дисплее GPS-навигатора это либо 4 м, либо 5 м). Желательно добиваться значения 4 м, а при значении 5.5 м и более полученные координаты могут выступать только в качестве грубого справочного материала. Авторы считают, что квалифицированный исполнитель даже в горно-таёжной местности с полужакрытым горизонтом в течение рабочего сеанса всегда может получить значение Ассигасу = 5 м и почти всегда Ассигасу = 4 м. Это определяется качеством планирования самого сеанса и выбором подходящего места и положения для выполнения приёма. Для выбора времени фиксации необходимо, чтобы на дисплее приёмника была страница MAP в режиме самого крупного разрешения (на сегодняшний день – в единице масштаба 5 м) и одновременно высвечивалось значение Ассигасу. Когда установится надёжная связь со всеми доступными спутниками с учётом препятствий, закрывающих горизонт, то «путешествия» маркера, обозначающего текущее местоположение приёмника, по дисплею ограничатся небольшой областью, соответствующей нескольким (обычно 1-3) метрам на местности. Следует зафиксировать несколько центральных и все крайние положения маркера – это 6-10 Waypoints. Во время выполнения приёма помощником наблюдателя обязательно ведётся журнал спутниковых наблюдений. В журнале фиксируется время начала и конца приёма, номера наблюдаемых спутников, номера отмеченных Waypoints со значением Ассигасу в моменты фиксации и описывается «поведение» Ассигасу. Выполнение двух или более приёмов на одном и том же пункте в течение одного и того же сеанса, но в разные сутки UTC, называется повторными приёмами. Выполнение двух или более приёмов на одном и том же пункте в течение одних и тех же суток UTC, но в разные сеансы, называется реокупацией. Под надёжно работающими каналами понимается бесперебойная связь приёмника со спутниками в течение всего приёма. Если связь даже с одним из спутников то появляется, то пропадает – выполнение приёма настолько затрудняется, что иногда в течение всего рабочего сеанса едва удается

³⁸Единственное требование – в течение всех 12.5 минут загрузки хотя бы один из каналов должен иметь непрерывную связь со своим спутником. Это требование легко выполнимо, так как рабочий сеанс является заранее запланированным для спутниковых наблюдений.

³⁹Для этого очень полезна выносная антенна.

сделать один приём⁴⁰. Достижение заданной точности спутниковых определений в таких условиях (и многих других, описать которые здесь не представляется возможным) при помощи GPS-навигатора полностью зависит от наличия практического опыта наблюдателя. Приблизительно оценить время выполнения приёма можно по данным таблицы 8. Качественные наблюдения при наличии трёх работающих каналов возможны только в GPS-навигаторах с барометрическими высотомерами, но требуют очень высокой квалификации наблюдателя.

Таблица 8

Оценка времени, которое потребуется для выполнения приёма

4-5 надёжно работающих каналов	приём занимает более 20 минут
6 надёжно работающих каналов	приём занимает 10-20 минут
7 надёжно работающих каналов	приём занимает 5-10 минут
8-12 надёжно работающих каналов	приём занимает менее 5 минут

Опорный пункт – пункт, плановое положение которого определено из серии повторных приёмов. Как правило, точность его плановых координат существенно выше, чем остальных определяемых точек. Закрепляется он на месте, специально выбранном для качественных спутниковых определений, поэтому опорный пункт может не совпадать ни с одной из определяемых точек. Представляет он собой жёсткое геометрическое построение со всеми измеренными линиями (чаще всего это треугольник). Оптимальные длины сторон геодезического построения – 20-30 м. Приём на опорном пункте включает в себя быстрые фиксации (10-40 секунд) местоположения в виде одного Waypoint на каждой из вершин построения, причём обходятся эти вершины последовательно в одном и том же порядке 5-9 раз. Допускается опорный пункт в виде одной точки только либо при отсутствии возможности разбивки такого построения в труднодоступной местности, либо при использовании только первичной камеральной обработки. Тогда сеанс в обязательном порядке должен начинаться обычным приёмом на таком опорном пункте и заканчиваться обычным приёмом на нём же.

Планирование рабочих сеансов. Работа с GPS-навигатором отличается от работы с фазовыми спутниковыми приёмниками, для которых создана Инструкция. (Инструкция, 2002:48-51). Отличия в процедуре прогнозирования состоят в следующем. Во-первых, цикл передачи информации (загрузки альманаха) составляет по стандартам системы GPS двенадцать с половиной минут, а не пять. Альманах теряет свою актуальность для планирования работы с GPS-навигаторами в течение двух-трёх недель со дня загрузки. Во-вторых, не требуется предварительного выезда исполнителя на полноценное обследование пунктов для будущих спутниковых определений. Планирование рабочих сеансов производится в полевых условиях в лучшем случае за день-два до самих спутниковых наблюдений. Делается это следующим образом:

С включённым приёмником непосредственно отслеживаются сеансы с теми номерами, в которые реально можно работать на данной местности в это время года. Составляется список сеансов, где указывается их номера (с литерой), максимальное и минимальное число работающих каналов за сеанс и характеристика в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9

Характеристики сеансов

ACCURACY=4 стабильно в течение всего сеанса	хороший
ACCURACY=5 в течение сеанса, но иногда бывает ACCURACY=4	удовлетворительный
ACCURACY=5 стабильно в течение всего сеанса	допустимый
ACCURACY=4-5 и редко ACCURACY=6	посредственный
ACCURACY>5	недопустимый

После этого на основании списка сеансов и таблицы 8 составляется на ближайшую неделю план-график спутниковых наблюдений и последовательность передвижений на

⁴⁰Вернее сказать, что сделать-то можно много приёмов, но их точность оставит желать много лучшего. И чем резче меняется конфигурация спутников для пользователя с установлением или разрывом связи с одним из них, тем больше будет амплитуда перемещений на экране маркера текущего местоположения приёмника.

участке работ. Через неделю желательно сделать новое планирование либо уточнить рабочие сеансы путём анализа сведений об уже выполненных приёмах из полевого журнала.

Резюме. В качестве итога рассмотрим практический пример: пусть требуется определить плановое положение точки в заросшей лесом ложине. Спутниковые определения в таком месте, как правило, дают погрешность порядка 10-15 м. Поэтому следует подняться на водораздел хребта или бровку ложины и с разных сторон от определяемой точки закоординировать как Waypoints и замаркировать на местности по две-три вспомогательных точки – назовём их опознавательными знаками. Теперь уже от них инструментальными способами (прямая/обратная линейные или угловые засечки) передают координаты на определяемую точку. Если в дальнейшем потребуется другому исполнителю отыскать эту точку, то это легко будет сделать по координатам любого из опознавательных знаков и схеме выполненной привязки самой точки.

IV. Получение плановых координат

Данные, полученные от GPS-навигатора (как и любые другие геодезические измерения) нуждаются в последующей обработке (постобработке). Эта обработка в нашем случае выполняется «вручную» – с помощью электронных таблиц или программируемого калькулятора (табл. 1). На опыте авторы убедились, что это занимает времени существенно больше, чем собственно спутниковые наблюдения.

6.5.5. В заключение работ на объекте следует выполнить вычислительную обработку данных наблюдений спутников.

6.5.5.1. Вычислительная обработка производится по следующим этапам:

1)⁴¹ предварительная обработка – разрешение неоднозначностей фазовых псевдодальностей до наблюдаемых спутников, получение координат определяемых точек в системе координат глобальной навигационной спутниковой системы и оценка точности;

2) трансформация координат в принятую систему координат (см. п. 2.20),

3) уравнивание геодезических построений и оценка точности...

6.5.5.5. В результате проведения вычислительной обработки должен быть составлен каталог координат и высот пунктов ... (Инструкция, 2002:76-77).

Камеральная обработка навигационных спутниковых определений может выполняться в виде первичной или вторичной постобработки.

Первичная (грубая, предварительная) постобработка. Производится только на основании данных, считанных с дисплея спутникового навигационного приёмника⁴². Дает возможность обойтись без компьютера и специального программного обеспечения, позволяет избежать расчётов, связанных с переводом геодезических координат в прямоугольные (и наоборот) и операциями с геоцентрическими координатами. Но при всех плюсах грубая постобработка может обеспечить точность не выше 1.5 м. Аналитические способы привязки хороши тем, что сами выправляют масштаб и угол разворота. Но поскольку с дисплея приёмника считываются прямоугольные координаты до целых метров ($m_{\text{округления}} = 0.5$ м), то ошибка вычисленной линии по таким координатам будет $m_{\text{стороны}} = (m_{x1}^2 + m_{x2}^2)^{1/2} = (m_{y1}^2 + m_{y2}^2 + m_{x2}^2 + m_{y2}^2)^{1/2} = m_{\text{округления}} \cdot 4^{1/2} = 0.5 \cdot 2 = 1$ м. Это даст ошибку вычисления угла при длинах сторон 200 м $m_{\text{угла}} = 180 : \pi \cdot 60 \cdot m_{\text{стороны}} : 200 = 3438 : 200 \sim 17' = 0.28^\circ$. Поэтому надо в измеренные стороны предварительно внести все необходимые поправки. В большинстве случаев будет достаточно поправок в измеренные линии:

– поправка для приведения измеренной линии к горизонту $\delta_h = (-0.5 \cdot h^2 : d)$ мм, где h – разница высот начальной и конечной точек измеренной линии в мм, d – длина измеренной линии в мм, знак минус означает, что поправка всегда вычитается;

– поправка для приведения измеренной линии на плоскость проекции Гаусса-Крюгера $\delta_L = (500 \cdot d \cdot Y_m^2 : R^2)$ мм, где R – средний радиус кривизны земного

⁴¹ Для GPS-навигаторов этого не требуется (прим. авт.).

⁴² Есть ещё одно ограничение – с дисплея приёмника можно считать только координаты Waypoints, а координаты Track Points на дисплей вывести невозможно.

сфероид в км ($R \sim 6370$), Y_m – ордината средней точки измеренной линии от осевого меридиана в км, поправка всегда прибавляется;

– поправка для приведения измеренной линии к уровню моря $\delta_n = (-0.157 \cdot H \cdot d)$ мм, где H – средняя высота измеренной линии над уровнем моря в метрах, d – длина измеренной линии в км, знак минус означает, что поправка всегда вычитается.

Предварительные операции для работы в СК-42. Все способы (аналитические, графические и т.д.) трансформации результатов спутниковых определений в нужную систему координат (пусть это будет СК-42) предполагают наличие некоторого числа исходных геодезических пунктов.

6.2.4. В качестве исходных пунктов, от которых развивается съёмочное обоснование (далее – исходных пунктов) следует использовать все пункты геодезической основы, находящиеся в пределах объекта и ближайшие к объекту за его пределами, но не менее 4 пунктов с известными плановыми координатами и не менее 5 пунктов с известными высотами, так, чтобы обеспечить приведение съёмочного обоснования в систему координат и высот пунктов геодезической основы. (Инструкция, 2002:58)

Для случая навигационных спутниковых определений предварительно следует установить режим вывода на дисплей GPS-навигатора прямоугольных координат, близких к СК-42. Делается это на странице Main Setup в подстранице настройки позиционирования. Надо выбрать пользовательскую сетку координат (user TM), а тип сфероидов пусть останется WGS-84 (если исполнитель не знает для участка работ поправок для перехода к сфероиду Красовского). Здесь устанавливается осевой меридиан 6° зоны (Longitude Origin): разделите долготу в градусах (Longitude) на 6, возьмите целое число из частного и умножьте теперь его на 6, а к результату прибавьте 3 (для Новосибирска получается $83^\circ : 6 = 13.8$; $13 \cdot 6 + 3 = 81^\circ$). Потом укажите масштаб (Scale factor = 1), сдвиг по оси Y (False Easting = 500 000 м) и сдвиг по оси X (False Northing = 0 м). Для соответствия с картой надо поставить в подстранице мер измерений в качестве типа вывода угловых величин дирекционный угол (Heading = Grid).

Определение сдвигов по осям X и Y для СК-42 для их установки при настройке спутникового навигационного приёмника, что позволяет сразу получать из спутниковых определений прямоугольные координаты в СК-42 на небольших (~ 20 км⁴³) участках. Для этого требуется определить смещение dX и dY , между координатами, полученными спутниковым навигационным приёмником на нескольких исходных пунктах, и из каталога координат. Взяв среднее значение из сдвигов по всем исходным пунктам ($dX_{\text{среднее}}$ и $dY_{\text{среднее}}$) за основу, можно рассчитать m_{dX} и m_{dY} по формуле Бесселя. При однородных условиях спутниковых наблюдений на всех исходных пунктах можно не выводить среднее значение координат из приёмов на каждом исходном пункте, а подсчитывать dX и dY сразу из фиксаций. Под однородными условиями понимаются сеансы в одни и те же сутки UTC либо одинаковые сеансы в разные сутки UTC, причём характеристики сеансов должны быть одинаковы. Затем создаём первый шаг воронки: берём в качестве значений предельных погрешностей величины $M_{dX} = t \cdot m_{dX}$ и $M_{dY} = t \cdot m_{dY}$, где t выбирается по числу фиксаций n (табл. 5). Все фиксации, у которых $|dY - dY_{\text{среднее}}| \geq M_{dY}$, либо $|dX - dX_{\text{среднее}}| \geq M_{dX}$, из дальнейшей обработки исключаются⁴⁴. Повторяют расчёт новых значений m_{dX} , m_{dY} , M_{dX} , M_{dY} с новым значением t для определения новых исключений из числа фиксаций. И так до тех пор, пока фиксаций не останется 3-5, либо все значения $|dX - dX_{\text{среднее}}|$ и $|dY - dY_{\text{среднее}}|$ окажутся меньше соответствующих им M_{dX} и M_{dY} . Тогда $dX_{\text{среднее}}$ и $dY_{\text{среднее}}$ из оставшихся фиксаций следует вычесть (или прибавить

⁴³ Если использовать локальный сфероид, близкий к сфероиду Красовского, то размеры такого участка могут быть удвоены. В первом приближении подойдут «официальные» поправки к сфероиду WGS-84 для перехода на сфероид Красовского (в районе Новосибирска это обеспечивает $m_{\text{проектирования}} \sim 15$ м): $dX = +28$ м, $dY = -130$ м, $dZ = -95$ м, $dA = -108$ м и $dF = 0.00480795 \cdot 10^{-4}$. Определение поправок для локальных сфероидов является частью более сложных методик.

⁴⁴ Исключается вся фиксация целиком даже в том случае, когда только одно из значений (dX либо dY) превысит соответствующее ему значение предельной погрешности.

– в зависимости от формул расчёта dX и dY из False Northing и False Easting соответственно. Учтём, что $m_{\text{проектирования}} = m_{ds} : (n-1)^{1/2}$, где $m_{ds} = (m_{dx}^2 + m_{dy}^2)^{1/2}$ вычисляется по последним из оставшихся «в воронке» фиксаций, а n – число таких фиксаций (не менее трёх). Итак, оценим порядок погрешности получения координат при этом варианте $m_{\text{методики}} \sim \sqrt{(m_{\text{внешние условия}}^2 \cdot m_{\text{условная}}^2 + m_{ds}^2 : n + m_{\text{альманаха}}^2)^{1/2}}$, что нам даёт после подстановки числовых значений $m_{\text{методики}} \sim (1 \cdot 4 + 4 : 2 + 2.2)^{1/2} \sim 8.2^{1/2} \sim 2.9$ м. Рекомендуется сделать повторные приёмы на всех исходных пунктах через день-два для контроля $m_{\text{альманаха}}$ (для оценки было принято $m_{\text{альманаха}} \sim 1.5$ м). В процессе этой работы желательно параллельно выполнять приёмы и на опорных пунктах. Дополнительные геодезические инструменты не потребуются. Если условия спутниковых наблюдений различны, то тогда с помощью воронки получают средние значения dX и dY на каждом исходном пункте, а потом уже обрабатывают их, а не отдельные фиксации. Более точную оценку $m_{\text{проектирования}}$ можно получить практическим путём: после подстановки сдвигов по осям X и Y сравнить получившиеся значения координат пунктов⁴⁵ привязки с координатами из каталога – обработку можно проводить уже по формуле Гаусса, потому что это будут уже отклонения от истинных значений.

Угловая привязка геодезического построения (теодолитного хода). В данном случае у геодезического построения (пусть для определённости это будет теодолитный ход) должна быть одна особенность: наличие линии (а при возможности – нескольких) длиной 400–2 000 м⁴⁶, в створе которой через 20–200 м отмечены точки для спутниковых определений. Измерять длину самой створной линии не надо. Створную линию следует ориентировать вдоль меридиана⁴⁷. Необязательно, чтобы она являлась стороной самого хода – главное, чтобы дирекционный угол створа можно было передать на одну из сторон хода, либо одна из сторон хода была бы частью створа. Фиксации Waypoints на всех точках створных линий будут являться x и y точек створов. Потом (или перед этим) определяем величину сдвига сетки прямоугольных координат на всех близлежащих исходных пунктах вышеописанным способом. Для получения дирекционного угла каждого створа⁴⁸ нужны значения вспомогательных величин, рассчитанные по координатам⁴⁹ только его точек $[x]$, $[y]$, $[xx]$, $[xy]$ и $D = n \cdot [xx] - [x]^2$, где n – число створных точек. Теперь румб направления из точки «А» на точку «В» (обозначим так две самые крайние точки створной линии) получается как $\arctang([x] \cdot [y] - n \cdot [xy] : D)$. Если результат выдаётся в радианной мере, то надо перейти к градусам путём умножения на $(180 : \pi)$. Калькуляторы выдают значение румба со знаками «+» или «-», которые необходимо учитывать. Дирекционный угол направления из точки «А» на точку «В» по его румбу получается с помощью анализа знаков $dX = X_B - X_A$ и $dY = Y_B - Y_A$. Если $dX > 0$ и $dY > 0$, то дирекционный угол и румб совпадают. Если $dX < 0$ и $dY > 0$ или $dX < 0$ и $dY < 0$, то надо арифметически сложить значение румба со 180° (в первом случае это будет вычитание абсолютного значения румба из 180 , во втором – прибавление). Если $dX > 0$ и $dY < 0$, то надо арифметически

⁴⁵GPS-навигатор хранит координаты в виде геоцентрических, а на дисплей выводит пересчитанные в соответствии с настройками. Поэтому изменение вида выводимых на дисплей координат не «портит» их реальные значения, хранящиеся в памяти приёмника – всегда можно выставить установки «по умолчанию» и вернуть им изначальный вид на дисплее.

⁴⁶Чем длиннее створ, тем точнее определяется дирекционный угол.

⁴⁷Эллипс погрешности спутниковых определений сильно вытянут вдоль меридиана. Для створа нас интересует только линейная составляющая погрешности определения координат, поэтому створ, ориентированный с севера на юг будет определён по спутниковым наблюдениям в 1.5–3.0 раза точнее, чем створ, ориентированный с запада на восток. Кроме того, погрешность функции тангенса угла резко возрастает при дирекционных углах в диапазоне 70–110 (250–290) градусов. Поэтому, если исполнитель всё же решает ориентировать створ вдоль параллели, то ему придётся во время расчётов вместо значений x подставить значения y и вместо $y - x$, а к полученной величине дирекционного угла добавить 90° .

⁴⁸Для вычисления дирекционного угла створа использованы формулы статистики (расчёт угла наклона прямой в линейной регрессии) $y = a \cdot x + b$. Если $[x] = 0$ и $[y] = 0$, то $a = [xy] : [xx]$ (тангенс дирекционного угла), $b = 0$ и СКП положения точек створа относительно створной линии оценивается как $m^2 = ([yy] - [xy]^2 : [xx]) : (n-2)$.

⁴⁹Естественно, уже с учётом полученного сдвига сетки прямоугольных координат.

сложить румб с 360° (это будет вычитание абсолютного значения румба из 360). Быстро проверяются вычисления с помощью создания в GPS-навигаторе маршрута всего из двух точек (с одного конца створа и с другого), тогда в режиме просмотра данных маршрута параметр Course (Leg Course) при установке Grid даст дирекционный угол створа с точностью до 1° .

Авторы рекомендуют брать значения⁵⁰ x и y как приращения от координат центральной точки створа⁵¹ (будут как положительные, так и отрицательные координаты, но при этом $[x] = 0$ и $[y] = 0$). Применив статистическую воронку, можно существенно снизить погрешность вычисления дирекционного угла створа. Для этого рассчитывается значение предельной погрешности M на основе СКП положения точек створа относительно створной линии и порогового коэффициента t (n равно числу фиксаций). Вычисляются отклонения точек створа от створной линии по формуле $dy = y - a \cdot x$. Исключаются из обработки все фиксации, для которых $dy \geq M$. По оставшимся фиксациям получают новые значения x_0 и y_0 , подсчитывают для всех фиксаций изменившиеся x и y и переходят на следующий шаг воронки.

Вычисление координат пунктов местной сети в СК-42⁵². Вносим необходимые поправки в измеренные величины (стороны, углы). Определяем величину сдвига сетки прямоугольных координат и получаем дирекционные углы всех створных линий. Затем переходим к спутниковым определениям на всех точках сети (получаем x' и y'), либо только на пунктах с наиболее благоприятными условиями для спутниковых наблюдений⁵³. Следующий шаг – расчёт дирекционных углов α всех сторон сети от каждой створной линии. Для этого используются углы сети, измеренные или вычисленные по формулам синусов и косинусов углов треугольника. В качестве итоговых берут средние значения дирекционных углов, полученных от разных створов. Выбираем в качестве исходного один из пунктов и от его координат x_0'' и y_0'' вычисляем координаты x'' и y'' всех пунктов и точек сети (точки створных линий больше не нужны): $x_1'' = s_{01} \cdot \cos(\alpha) + x_0''$, $y_1'' = s_{01} \cdot \sin(\alpha) + y_0''$. По результатам вычислений заполняем таблицу 10. В нашем примере за исходный взят пункт 218 (табл. 10). Для всех пунктов получают разности координат: $(x' - x'')$ и $(y' - y'')$. Из полученных разностей берут среднее арифметическое. Это среднее арифметическое, округленное до целых метров, вводят, как поправки δx и δy , в координаты пунктов сети x'' и y'' ($X = x'' + \delta x$, $Y = y'' + \delta y$).

Все вычисления выполняют в две руки⁵⁴. Если разности $(x' - x'')$ и $(y' - y'')$ на каком-либо пункте превышают значения, соответствующие 1 мм в масштабе карты⁵⁵, то это свидетельствует о наличии грубой погрешности в координатах этого пункта. Такие пункты исключаются из обработки, а соответствующие им разности $(x' - x'')$ и $(y' - y'')$ в столбце «разности» таблицы зачеркиваются (в таблице 10 исключена привязка пункта 220).

Если для поправок δx и δy будут получены значения, превышающие величину, соответствующую 1 мм в масштабе карты⁵⁶, то это укажет на наличие грубой погрешности в координатах исходного пункта. В этом случае поправки δx и δy вычисляют вновь без учета привязки на исходном пункте, по формулам $\delta x = [x' - x''] : (n - 1)$ и $\delta y = [y' - y''] : (n - 1)$.

Координатная привязка. При наличии только каталога условных (местных) координат точек сети (без измеренных сторон и углов) задача привязки к СК-42

⁵⁰При нахождении $[xx]$, $[yy]$ и $[xy]$ по полным координатам может возникнуть дополнительная погрешность вычислений за счёт превышения числа значащих цифр в полученных значениях над количеством разрядов, с которыми может оперировать калькулятор.

⁵¹Координаты центральной точки створа получаются как $x_0 = [x] : n$ и $y_0 = [y] : n$.

⁵²Данные для примера взяты из рекомендаций по привязке с помощью контурных точек топографической карты (РГ-2, 1953:158–161).

⁵³Желательно не менее 9 – такие точки мы в этом контексте назовём пунктами, а прочие точки сети – просто точками.

⁵⁴В геодезии все вычисления принято выполнять в две руки: то есть обязательно двумя разными людьми.

⁵⁵Для нашего случая это $m_{\text{условная}}$ (прим. авт.).

⁵⁶Для нашего случая это $m_{\text{условная}}$ (прим. авт.).

упрощается. Сразу в настройках (см. Предварительные операции для работы в СК-42) выставляют False Easting = 0, а для Longitude Origin – величину, которая на несколько угловых секунд меньше приближённого значения геодезической долготы⁵⁷ самой западной точки сети⁵⁸.

Таблица 10

Пример вычисления координат пунктов местной сети (РГ-2, 1953:159-160)

Пункты и точки сети		Рабочие		Разности	Итоговые
		x'	x''	(x'-x'')	X=x''+δx
№	название	y'	y''	(y'-y'')	Y=y''+δy
пункты привязки сети					
202	веха	949	927.4	21.6	937.4
		685	661.5	23.5	669.5
231	церковь	725	740.3	-15.3	750.3
		493	501.5	-8.5	509.5
208	веха	639	619.9	19.1	629.9
		532	536.9	-4.9	544.9
218	пирамида	337	337.0	0.0	347.0
		444	444.0	0.0	452.0
204	веха	380	370.7	9.3	380.7
		484	475.6	8.4	483.6
219	пирамида	387	372.4	14.6	382.4
		594	579.2	14.8	587.2
220	веха	585	671.2	-86.2	681.2
		652	731.3	-79.3	739.3
229	труба	505	495.3	9.7	505.3
		708	691.4	16.6	699.4
226	веха	430	420.4	9.6	430.4
		719	711.5	7.5	719.5
214	пирамида	217	201.3	15.7	211.3
		790	776.9	13.1	784.9
210	башня	248	232.5	15.5	242.5
		946	936.0	10.0	944.0
	[x'-x'']=	99.8	δx=[x'-x'']:10=		- 10
	[y'-y'']=	80.5	δy=[y'-y'']:10=		8
определяемые точки сети					
221	веха		835.6		845.6
			748.3		756.3
222	веха		241.3		251.3
			702.5		710.5
223	веха		845.4		855.4
			673.2		681.2
224	веха		899.9		909.9
			348.4		356.4
216	веха		741.3		751.3
			905.4		913.4
215	веха		834.1		844.1
			222.2		230.2

После спутниковых определений на пунктах сети (см. сноску по поводу пунктов и точек сети) составляется таблица, аналогичная таблице 10. В составляемой таблице в качестве x' и y' выступают отдельные фиксации Waypoints из спутниковых определений с учётом новой сетки координат (X_{GPS} и Y_{GPS}), а в роли x'' и y'' будут условные (местные) координаты из каталога (X_{GRN} и Y_{GRN}). Потом получают разности (x'-x'') и (y'-y'') и далее следуют вышеописанному порядку вычислений (см. Вычисление координат пунктов местной сети в СК-42). Можно проявить творческий подход: применить статистическую воронку для отбрасывания фиксаций с грубыми погрешностями при расчёте δx и δy. Затем создаются в GPS-навигаторе в виде новых Waypoints все точки сети с итоговыми координатами X и Y (уравненные координаты точек сети). В самом конце выполняется определение сдвига сетки прямоугольных

⁵⁷ Желательно на сфероиде Красовского, но можно и на сфероиде WGS-84.

⁵⁸ Остальные настройки соответствуют описанным выше для СК-42.

координат при вышеописанных «стандартных» настройках для СК-42 и окончательными будут координаты Waypoints, которые создавались по уравненным координатам точек сети, но выводимые на дисплей GPS-навигатора уже с учётом сдвига сетки координат для СК-42⁵⁹.

В программе, написанной авторами для программируемого калькулятора Casio «Algebra FX 2.0+», такой расчёт выглядит так: нажатием клавиш «Menu» и «8» калькулятор переводится в режим программирования (PRGM) и из списка программ выбирается «GPS-DXDY». При её выполнении высвечивается меню GPS-PRIVYAZKA SETI с пунктами, приведёнными в таблице 11. При точной постобработке данные в память калькулятора загружаются из компьютера через последовательный порт при помощи специального устройства сопряжения, при грубой постобработке – задают вручную, а мы можем воспользоваться контрольным примером (табл. 10), данные которого загружаются при нажатии клавиши F1⁶⁰ (табл. 11).

Таблица 11

Пункты меню программы координатной привязки точек местной сети

Клавиша	Пункты меню	Содержание пунктов меню
F1	INFORM.DLYA TESTA	загрузка данных для тестового примера (табл. 10)
F2	RASCHET DX,DY	расчёт dX и dY по координатам пунктов сети (шаг стат. воронки)
F3	RASCHET KOORDINAT	окончательный расчёт координат точек и пунктов сети
F6	KONETS RABOTY	выход из программы

После вторичного появления меню (загрузка данных прошла успешно) можно посмотреть содержимое матрицы Z (только пункты сети) и Y (точки и пункты сети) с данными тестового примера⁶¹.

В первом столбце матрицы Z будут номера пунктов сети – столбец «№» (табл. 10), во втором столбце – значения x', в третьем столбце – значения y', в четвёртом столбце – значения x'', в пятом столбце – значения y''. В первом столбце матрицы Y будут номера пунктов и точек сети, во втором столбце – значения x'', в третьем столбце – значения y''.

Возвращаемся в режим PRGM, запускаем программу и выбираем пункт расчёта по готовым данным клавишей F2 (первый шаг статистической воронки для вычисления dX и dY) – будут вычислены параметры шага статистической воронки и на дисплее появится схема сети, а после нажатия клавиши EXE будет выведено основное меню. Кстати, визуально на схеме сети видно, что с точками, соответствующими пункту 220 сети, «что-то не так». Точки сети на схеме обозначаются пустыми квадратами, пункты сети – закрашенными квадратами, соединёнными линией, а положение пунктов сети, полученное по GPS-измерениям, – крестиками. Можно сдвигать схему сети стрелками, увеличивать любую её часть (F2) или «трассировать» (F1) – поочерёдно просматривать каждую точку или пункт сети. К сожалению, графические оси X и Y на соответствуют геодезическим, поэтому для сохранения правильной ориентации сети на экране дисплея при построении схемы графические X соответствуют геодезическим Y и графические Y соответствуют геодезическим X.

Если теперь посмотреть содержимое матрицы Z (в режим RUN-MAT), то в списке добавятся новые столбцы данных: шестой – значения (x' - x''), седьмой – значения (y' - y''), восьмой – значения n_x: n_{измерений}, девятый – значения n_y: n_{измерений}. Для нас на этом шаге n_{измерений} = 11, а n_x = f((x' - x'')): m_x = f(t_x) и n_y = f((y' - y'')): m_y = f(t_y), где значение функции f можно получить на основании расчёта n по t (табл. 5), при этом t_x = (x' - x'') : m_x и t_y = (y' - y'') : m_y. Строки, где в столбцах 8 или 9 матрицы содержатся числа, равные либо превышающие единицу (n_x или n_y равны либо превышают n_{измерений}),

⁵⁹ Эти сложности с различными сдвигами сетки координат нужны, чтобы учесть поправку δ_L. Если исполнитель сумеет самостоятельно привести масштаб местной сети к масштабу проекции Гаусса-Крюгера (достаточно занудная и рутинная процедура), то будет достаточно работы только со сдвигом сетки координат для СК-42.

⁶⁰ Перед началом выполнения выбранного пункта меню на дисплее появляется краткое описание будущих действий и пометка «Display». Для выполнения этих действий следует нажать EXE.

⁶¹ Для этого придётся завершить выполнение программы (F6) и переключиться в режим RUN-MAT нажатием клавиш «Menu» и «1».

указывают на грубые погрешности в соответствующих фиксациях. На первом шаге это будет только одна строка – седьмая (пункт 220). Просмотрим полученные параметры: $dX_{\text{среднее}} = +1.24$ м (значение находится в переменной «X»), $dY_{\text{среднее}} = +0.11$ м (значение находится в переменной «Y»), $m_{dX} = 30.74$ м (значение содержится в переменной «V»), $m_{dY} = 27.98$ м (значение содержится в переменной «W»), $m_S = 41.57$ м (значение содержится в переменной «U»).

Теперь удалим из матрицы Z строку 7 командой R-DEL и, запустив программу, выполним второй шаг воронки (F2). Его итоги: $dX_{\text{среднее}} = +9.98$ м, $dY_{\text{среднее}} = +8.05$ м, $m_S = 14.67$ м. В контрольном примере (табл. 10) на этом обработка завершается – точности 15м для привязки по карте масштаба 1:50 000, а именно об этом шла речь в первоисточнике (РГ-2, 1953:159-160), вполне достаточно. Мы же исходим из предположения, что обрабатываем GPS-измерения на пунктах местной сети. Данные о координатах пункта 220 содержат явный брак (либо неверно считанные значение координат из каталога, либо за этот пункт на местности ошибочно был принят другой), по остальным можно сделать вывод, что их делали либо без надлежащего опыта, либо без планирования наблюдений. И, тем не менее, попытаемся максимально «выжать» достоверную информацию из этих данных. Поскольку предлагался «кандидат» на удаление – строка 2 (пункт 231), где сразу оба параметра ($x' - x''$) и ($y' - y''$) превышают предельные погрешности, то исключаем строку с этим пунктом из матрицы Z. Следующий шаг воронки нам даёт: $dX_{\text{среднее}} = +12.79$ м, $dY_{\text{среднее}} = +9.89$ м, $m_S = 10.73$ м и предлагается исключить строки с номерами⁶²: 3 (недопустимое значение $x' - x''$) и 2 (недопустимое значение $y' - y''$). Четвёртый шаг воронки определяет измерения с грубыми погрешностями на пункте 202 (строка 1) при значениях нужных нам параметров: $dX_{\text{среднее}} = +13.71$ м, $dY_{\text{среднее}} = +13.41$ м, $m_S = 7.17$ м.

На пятом шаге воронки строгая фильтрация данных заканчивается: $dX_{\text{среднее}} = +12.40$ м, $dY_{\text{среднее}} = +11.73$ м, $m_S = 4.84$ м. Остались пункты сети с номерами 204, 219, 229, 226, 214 и 210. Основные параметры шагов воронки сведены в нижеприведённую таблицу (табл.12).

Таблица 12.

Ход уравнивания координат пунктов местной сети (шаги статистической воронки)

Параметры уравнивания	шаг 1	шаг 2	шаг 3	шаг 4	шаг 5
$dX_{\text{среднее}}$	+1.24	+9.98	+12.79	+13.71	+12.40
$dY_{\text{среднее}}$	+0.11	+8.05	+9.89	+13.41	+11.73
m_{dX}	30.74	10.76	6.44	4.52	3.16
m_{dY}	27.98	9.96	8.58	5.56	3.66
m_S	41.57	14.67	10.73	7.17	4.84
$n_{\text{измерений}}$	11	10	9	7	6
недопустимое значение ($x' - x''$) в пункте сети	220	231	218	202	нет
недопустимое значение ($y' - y''$) в пункте сети	220	231	208	202	нет

Обращаем внимание читателя на то, что СКП положения пунктов составляют: 41.6 м для №220, 14.7 м для №231, 10.7 м для №208 и 218, 7.2 м для №202 и 4.8 м для оставшихся шести пунктов. Для точек сети их погрешности определяются на основе погрешностей геодезических «наземных» работ и погрешности привязки: $m_{\text{итоговое}}^2 = m_{\text{наземных работ}}^2 + 4.8^2$.

Теперь производится вычисление окончательных координат точек и пунктов сети в новой системе (F3) – по полученным значениям dX (переменная «X») и dY (переменная «Y») рассчитываются новые координаты всех точек сети в матрице Y, включая исключённые из обработки пункты сети. В первом столбце матрицы Y будут номера пунктов и точек сети, во втором столбце – значения x'' , в третьем столбце – значения y'' , в четвёртом столбце – значения $X = x'' + \delta x$, в пятом – значения $Y = y'' + \delta y$. Для сравнения в таблице 13 приведены координаты точек сети из контрольного примера (табл. 10), а также вычисленных с применением статистической воронки способами координатной привязки (dXdY) и трансформации сети (dMdA).

Таблица 13

Координаты точек местной сети, вычисленные различными способами

Пункты и точки сети		по данным табл.10		метод dXdY
		x"	X=x"+δx	X=x"+δx
№	название	y"	Y=y"+δy	Y=y"+δy
202	веха	927.4	937.4	939.8
		661.5	669.5	673.2
231	церковь	740.3	750.3	752.7
		501.5	509.5	513.2
208	веха	619.9	629.9	632.3
		536.9	544.9	548.6
218	пирамида	337.0	347.0	349.4
		444.0	452.0	455.7
204	веха	370.7	380.7	383.1
		475.6	483.6	487.3
219	пирамида	372.4	382.4	384.8
		579.2	587.2	590.9
220	веха	671.2	681.2	683.6
		731.3	739.3	743.0
229	труба	495.3	505.3	507.7
		691.4	699.4	703.1
226	веха	420.4	430.4	432.8
		711.5	719.5	723.2
214	пирамида	201.3	211.3	213.7
		776.9	784.9	788.6
210	башня	232.5	242.5	244.9
		936.0	944.0	947.7
	δx=		10	12.4
	δy=		8	11.3
221	веха	835.6	845.6	848.0
		748.3	756.3	760.0
222	веха	241.3	251.3	253.7
		702.5	710.5	714.2
223	веха	845.4	855.4	857.8
		673.2	681.2	684.9
224	веха	899.9	909.9	912.3
		348.4	356.4	360.1
216	веха	741.3	751.3	753.7
		905.4	913.4	917.1
215	веха	834.1	844.1	846.5
		222.2	230.2	233.9

Вторичная (точная, окончательная) постобработка. Производится на основании данных, полученных с помощью экспорта из программного обеспечения для связи компьютера и спутникового навигационного приёмника; авторы рекомендуют комплект из двух программ – Fugawi и MapSource. При этом возможна реализация более сложных алгоритмов обработки, обеспечивающих получение полуметровой точности при хорошем качестве самих спутниковых наблюдений по более сложным методикам. Кстати, можно сделать грубую обработку и оценку спутниковых определений в полевых условиях, а в камеральных по этим же данным выполнить точную обработку. К сожалению, объём и цели настоящей статьи позволяют изложить только простейших вариантов первичной обработки. Кроме статистической воронки авторами используются ещё и другие статистические методы анализа GPS-измерений.

Резюме. В вышеприведённом примере мы с помощью статистической воронки в первичной постобработке подтвердили наличие явного брака в GPS-измерениях или исходных данных (пункт 220) и добились величины $m_{\text{проектирования}} = 4.8$ м при исходной величине $m_{\text{наблюдения}} = 14.7$ м на пунктах сети, то есть снизили погрешность почти в три раза. Это соответствует реальному соотношению при решении производственных задач – при соблюдении методики и $m_{\text{наблюдения}} \sim 2$ м на пунктах привязки получаем в результате точной постобработки $m_{\text{проектирования}} \leq 0.6$ м. Добавим, что использование

⁶²Теперь строки перенумерованы: вторая строка содержит пункт 208, а третья – пункт 218

«правильных» опорных пунктов в качестве пунктов привязки может обеспечить проектирования < 0.4 м.

Ещё раз подчеркнём необходимость соблюдения вышеописанной технологии спутниковых наблюдений и их обработки, так как статистическая обработка данных на основании только внутренней сходимости (т.е. без внешних дополнительных условий) даже при большом количестве измерений (например, несколько сотен) не гарантирует исключения систематических погрешностей, что может привести к многометровому сдвигу средних значений координат. Процесс уравнивания нужен для согласования геодезических измерений на отдельных элементах (участках) геодезического построения и их объединения в единое целое. При этом за положение отдельных точек геодезического построения принимается их наиболее вероятное значение, а общие ошибки измерений «размазываются» по всему построению в соответствии с весами его элементов. Поэтому в геодезическом производстве полевой контроль не менее важен, чем полевые и камеральные работы. Его цель – не «завалить» работу исполнителя, а получить реальное значение погрешностей в самых слабых местах геодезического построения. Делается это приёмщиком работ с помощью «разрезания» новыми геодезическими измерениями всего геодезического построения или съёмочного планшета по так, чтобы получить максимально независимую оценку от выполненных предыдущим исполнителем измерений таких слабых мест. Умение выполнить действительно хороший полевой контроль требует особого искусства проведения геодезических работ. В общем случае топографические работы всё же относят к ремеслу, в то время как настоящая геодезия сродни искусству.

Заключение

В отраслевых нормативных документах изложены свои требования к точности геодезических работ (обычно они менее жёсткие, за исключением изысканий для строительства). Для целей геодезического обеспечения археологических работ можно сделать аналогичные расчёты и с помощью вышеописанных способов (сдвиг сетки координат, угловая привязка хода или плановая привязка геодезического построения) провести пробные измерения с использованием GPS-навигаторов и имеющихся геодезических инструментов в условиях, подобных предполагаемым работам. Такой тест поможет определить целесообразность использования предполагаемого оборудования и выбрать подходящие способы для решения тех или иных геодезических задач.

Каждому археологу нет необходимости полностью разбираться во всём комплексе топографо-геодезических работ. Требуется овладеть рекомендациями лишь по тем геодезическим работам, которые исполнитель будет самостоятельно проводить на своём объекте и на которые влияют только его собственные измерения. А наиболее ответственные измерения, которые оказывают влияние на работы исполнителей целого района или участка, целесообразно однократно производить специалистом требуемой квалификации. Более того, авторами для упрощения процесса обработки исполнителем геодезических измерений создан большой набор программ «первой геодезической необходимости» при постобработке GPS-измерений.

Авторы надеются, что затронутые вопросы помогут понять принципы геодезических работ с помощью навигационного спутникового оборудования и избежать типичных ошибок. Работы археологов с должным геодезическим обеспечением помогут в создании для археологических объектов действительно эффективных геоинформационных систем регионального масштаба.

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований Президиума РАН "Этнокультурное взаимодействие в Евразии".

Литература.

- Вергунов Е.Г. Анализ портативных спутниковых GPS-навигаторов фирмы GARMIN: современные возможности и ближайшие перспективы// Матер. научн.-техн. конф. «Проблемы метролог. обеспечения топографо-геодез. пр-ва и землеустр. работ». – Новосибирск: СГГА, 2001. – С.48.
- Вергунов Е.Г. Проблема геодезического обеспечения научных изысканий в Сибири: профессиональная подготовка и обучение кадров для астроархеологических изысканий// Вестник СГГА. – Новосибирск: СГГА, 2002. – Вып. 7.
- ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS/ Под общей редакцией Л.В.Неверова. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 124с. Введена 01.03.02 (сфера действия общеобязательная).
- Единая государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95): Справочный документ/ Под общей редакцией А.А.Дражнюка. – М.: ЦНИИГАиК, 2000. – 28с.
- Ларичев В.Е., Вергунов Е.Г., Серкин Г.Ф., Шептунов Г.С., Комиссаров В.Н., Гричан З.А. Проблема геодезического обеспечения научных изысканий в Сибири: астроархеологические изыскания// Вестник СГГА. – Новосибирск: СГГА, 2002. – Вып. 7.
- Ларичев В.Е., Вергунов Е.Г., Яхман В.В. Современный подход к решению проблемы геодезического обеспечения астроархеологических изысканий в Сибири// Вестник СГГА. – Новосибирск: СГГА, 2002. – Вып. 7.
- ОСТ 68-14-99. Стандарт отрасли. Виды и процессы геодезической и картографической производственной деятельности. Термины и определения. – М.: ЦНИИГАиК, 2000. – 44с. Введён 01.07.01 (сфера действия общеобязательная).
- ОСТ 68-15-01. Стандарт отрасли. Измерения геодезические. Термины и определения. – М.: ЦНИИГАиК, 2001. – 34с. Введён 01.07.01 взамен РД БГЕИ 14-92 (сфера действия общеобязательная).
- Постнов А.В., Вергунов Е.Г. Создание полигона для отработки методики применения спутниковой навигационной аппаратуры в специальных геодезических работах// Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН). – Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. – Т. VIII.
- РГ-2. Руководство по геодезическим работам. Развитие опорных геодезических сетей. – М.: РИО ВТС, 1953. – 244с.
- РТМ 68-14-01. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения. – М.: ЦНИИГАиК, 2001. – 28с. Введён 01.07.01 (сфера действия общеобязательная).
- Casio PRT-2GP: owner's manual and reference guide. Casio Computer Co. Ltd, 2001. – 56 p.

Научное издание

Информационные технологии в гуманитарных исследованиях

Выпуск 5

Ответственный редактор:

чл.корр. РАН, д.и.н. *Ю.П.Холушкин*

Компьютерная вёрстка – *В.Т.Воронин*

Подписано в печать 24.03.2003. Формат 60x84 1/8. Офсетная печать.

Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 200 экз. Заказ № 157

Лицензия ЛР № 021285 от 6 мая 1998 г.

Редакционно-издательский центр НГУ. 630090, Новосибирск-90, ул. Пирогова, 2.