# Б.П. Важенин

# ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ



#### РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

#### ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

#### СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

Б.П.Важенин

#### ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

B.P.Vazhenin

#### THE PRINCIPLES, METHODS AND RESULTS OF PALEOSEISMIC-GEOLOGIC STUDIES IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Магадан 2000

#### УДК 550.34/550.348.32:551.1/.4+528.7:528.71(571.65'62'56)

## Важенин Б.П. Принципы, методы и результаты палеосейсмогеологических исследований на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 205 с. ISBN 5-7442-1257-4

Анализируются принципы сейсмического районирования и палеосейсмогеологии. Палеосейсмодислокации квалифицируются в качестве эффективных природных сейсмограмм. Подробно излагается новая высокопроизводительная методика тотальных палеосейсмогеологических исследований сейсмоактивных регионов, основанная на применении серийных спектрозональных стереоскопических космоснимков. Описываются другие оригинальные сейсмогеологические методические разработки. Характеризуется множество грандиозных голоценовых палеосейсмодислокаций, выявленных и изученных с применением новой методики в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского. Выполняется генетическая и сейсмологическая интерпретация новых палеосейсмогеологических данных.

Для геологов, геоморфологов, сейсмогеологов, сейсмологов.

Ил. 74. Табл. 5. Библиогр. 192 назв.

Ключевые слова: палеосейсмогеологическая методика, фотоландшафт, литосборные бассейны, гравитационные палеосейсмодислокации, обвальный потенциал, полевая фоторегистрация, спектрозональные стереокосмоснимки, сейсмологическая интерпретация.

E-mail: root@neisri.magadan.su vazhenin.bp@mail.ru Ответ. редактор докт. геол.-минерал. наук В.И.Шпикерман Рецензент канд. физ.-мат. наук С.В.Мишин

Утверждено к печати Ученым советом СВКНИИ ДВО РАН

### Vazhenin B.P. The principles, methods and results of paleoseismic-geologic studies in the North-East of Russia. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2000. 205 p. ISBN 5-7442-1257-4

The Author examines the principles of seismic zoning and paleoseismic geology. Paleoseismic dislocations are represented as highly informative natural seismograms. The Author gives a detailed description of a new highly efficient method of all-round paleoseismic geologic studies in seismic areas, that is based on the use of complete sets of spectrum-zoned stereo space photos. Some other specific seismic geologic study techniques are also represented in this book. It also contains a description of many significant paleoseismic dislocations of the Holocene age, which have been established and studied by virtue of the new method, in the south-east of the Chersky Seismic Belt. The Author represents the genetic and seismologic interpretations of new paleoseismic and geologic data.

This book is intended for geologists, geomorphologists, seismic geologists and seismologists.

Ill. 74, Tables 5. References 192.

Key words: Paleoseismic geologic method, photo-landscape, litho-catchment area, gravitational paleoseismic dislocation, collapse potential, field photo-recording, spectrum zoned stereo space photo, seismologic interpretation.

E-mail: root@neisri.magadan.su vazhenin.bp@mail.ru

Edited by Dr. V.I.Shpikerman. Reviewed by Dr. S.V.Mishin.

ISBN 5-7442-1257-4

© Важенин Б.П. © СВКНИИ ДВО РАН, 2000 © Vazhenin B.P.

© NEISRI FEB RAS, 2000

#### СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1. ПРИНЦИПЫ СЕИСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	12
1.1. Принципь прецедента и унаследованности в сейсмическом районировании	12
1.2. Принцип предедента в палеосенского сологии.	15
1.3. Палосискомудислокации как природные секомограммы	10
2 НОВАЯ (ТОТА ПЬНАЯ) ПА ПЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МЕТОЛИКА	
2. ПОДЛЯ (ТОТАЛЬНАЯ) ПАЛЕОСЕНСКИОГЕОЛОГИ ПЕСКАЯ МЕТОДИКА	21 21
2.1.1. Георетная пальосейсмогеологическая метолика	
2.1.2. Недостатки известной метолики	23
2.1.3. Представление о фотоландшафте	23
2.1.4 Представление с цитосборных бассейнах	25
2.2. Предпосылки для синтеза новой методики	31
2.3 Алгоритм новой метолики	32
2.4. Отличия новой методики от традиционной	
2.5. Признаки и критерии для выявления и генетической интерпретации палеосейсмодислокаций	
2.6. Современные и древние сейсмодислокации	
2.6.1. Хронологические рубежи палеосейсмодислокаций	
2.6.2. Различия современных и древних сейсмодислокаций по строению и представительности	
2.7. Гравитационные дислокации как компоненты и индикаторы роев палеосейсмодислокаций	
2.7.1. Анализ формы гравитационных дислокаций	40
2.7.2. Классификация и морфологическая характеристика гравитационных дислокаций	56
2.7.3. Обвальный потенциал	64
2.8. Анализ литосборов и сейсмогенные тромбы	67
2.8.1. Тест на петрографическое соответствие тромба и его литосбора	68
2.9. Сейсмогенерирующие блоки	
2.9.1. Представление о сейсмоблоках	70
2.9.2. Палеокинематические реконструкции сейсмоблоков	72
2.9.3. Ряд сейсмотектонической эволюции интрузивов	73
2.10. Определение возраста палеосейсмодислокаций	74
2.10.1. Радиоуглеродный метод	74
2.10.2. Лихенометрический метод	75
2.10.3. Спорово-пыльцевой и палеокарпологический методы	75
2.10.4. Дендрохронологический метод в комбинации с радиоуглеродным	76
2.10.5. Методы на основе анализа постгенетической эволюции палеосейсмодислокаций и	
постсейсмической адаптации литосборов	77
2.10.6. Другие методы датирования	
2.11. Соотношение параметров палеосейсмодислокаций с сейсмическими шкалами	79
2.11.1. Длина сейсмогенных разрывов и магнитуда	80
2.11.2. Плейстосейстовая площадь и магнитуда	81
2.12. Полнота выявления палеосейсмодислокаций и древних эпицентральных зон	84
2.13. Достоверность генетической интерпретации палеосейсмодислокаций	
2.13.1. Анализ источников информации для генетической интерпретации	86
2.13.2. Принцип динамического соответствия при генетической интерпретации палеосейсмодислокаций	
2.13.3. Принципы геометрической соразмерности и петрографического соответствия	90
2.15.4. О сейсмическом происхождении крупных гравитационных дислокаций	
3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛЕВОИ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ ПАЛЕОСЕИСМОДИСЛОКАЦИИ	
3.1. Полевая фоторегистрация как компонент комплексного изучения палеосейсмодислокаций	
3.2. Аппаратура для полевой фоторегистрации	94
3.2.1. Фотоаппараты	
5.2.2. ФОТООФЕКТИВЫ	
5.2.5. Фотопринадлежности	102
3.2.4. Комплектование полевой фотоаппаратуры	102
	103
3.3.1. Подготовка к свемке	105
3.3.2. планирование фоторетистрации	107
3.3.4. Применение светофильтров	100
3 3 5 Панопамная съемка	110
3.3.6. Степедскопическая съемка	112
3 3 7 Макпосъемка	116
3 3 8 Вилеорегистрания	110
4. ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ. АЭРО- И КОСМОСНИМКОВ	
4.1. Информационные свойства спектрозональных и многозональных космоснимков	119

4.1.1. Спектрозональные снимки съемочного формата 30×30 см	120
4.1.2. Спектрозональные и многозональные снимки формата 18×18 см	
4.1.3. Многозональные снимки формата 55×80 мм	
4.1.4. Многозональные сканерные снимки	124
4.1.5. Сферы применения различных космоснимков в палеосейсмогеологических исследованиях	124
4.2. Приборы для дешифрирования	
4.3. Палеосейсмогеологическое дешифрирование космоснимков	128
4.3.1. Специфика палеосейсмогеологического дешифрирования и использование стереоскопов	
4.3.2. Вспомогательные объекты-индикаторы	
4.3.3. Основные объекты-индикаторы	132
4.3.4. Изучение и предварительная генетическая и сейсмологическая интерпретация дислокаций	
по космоснимкам	134
4.4. Комплексное палеосейсмогеологическое дешифрирование полевых, аэро- и космоснимков	142
4.4.1. Подготовка материалов полевой фоторегистрации к дешифрированию	142
4.4.2. Приемы комплексного дешифрирования и фиксация результатов	144
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ МЕТОДИКИ	147
5.1. Палеосейсмодислокации в сейсмическом поясе Черского	147
5.1.1. Субпояс палеосейсмодислокаций Черского	147
5.1.2. Североохотоморский субпояс палеосейсмодислокаций	160
5.1.3. Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмодислокаций	178
5.1.4. Янская зона палеосейсмодислокаций	184
5.1.5. Момо-Охотский субпояс палеосейсмодислокаций	
5.2. Закономерности строения и размещения палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского	185
5.3.Сейсмологическая интерпретация палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского	
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	194
6.1. Основные достоинства новой методики	
6.2. Разрушительные землетрясения и снижение возможного ущерба от них в регионе	195
ЛИТЕРАТУРА	198

#### INTRODUCTION

- 1. PRINCIPLES OF SEISMIC PREDICTION
  - 1.1. The principles of a precedence and inheritance in seismic zoning
  - 1.2. The principle of a precedence in paleoseismic geology
  - 1.3. Paleoseismic dislocations as natural seismograms
  - 1.4. The principle of actualism in paleoseismic geology
- 2. A NEW (AREA-WIDE) PALEOSEISMIC GEOLOGIC METHOD
  - 2.1. Theoretical grounds of the area-wide (total) method
    - 2.1.1. Current paleoseismic geologic methods
    - 2.1.2. Shortcomings of current paleoseismic geologic methods
    - 2.1.3. The notion of the photo-landscape
    - 2.1.4. The notion of litho-catchment areas
  - 2.2. Synthesizing pre-requisites for a new method
  - 2.3. A new method algorithm
  - 2.4. The difference between the new method and the traditional one
  - 2.5. Indications and criteria for identification of paleoseismic dislocations and their genetic interpretation
  - 2.6. Modern and old seismic dislocations
    - 2.6.1. Time intervals of paleoseismic dislocations
    - 2.6.2. Differences between modern and old seismic dislocations in terms of their morphology and statistical representativeness
  - 2.7. Gravity dislocations as components and indicators for paleoseismic dislocation swarms
    - 2.7.1. An analysis of gravitational dislocation shapes
    - 2.7.2. Classification and morphologic description of gravity dislocations 2.7.3. A collapse potential
  - 2.8. Examination of litho-catchment areas and seismic thrombi
  - 2.8.1. A petrographic correspondence testing of a seismic thrombus and its litho-catchment area
  - 2.9. Seismic wave-generating blocks
    - 2.9.1. The notion of seismic wave-generating blocks
    - 2.9.2. Paleokinematic reconstructions of seismic wave-generating blocks
  - 2.9.3. A seismotectonic evolutionary range of intrusions
  - 2.10. Age determinations of paleoseismic dislocations
    - 2.10.1. Radiocarbon method
    - 2.10.2. Lichenometric method
    - 2.10.3. Spore-pollen and paleocarpologic methods
    - 2.10.4. Dendrochronologic and radiocarbon methods

2.10.5. Methods based on examination of a post-genetic evolution of paleoseismic dislocations and a post-seismic adaptation of litho-catchment areas

- 2.10.6. Other methods of age determination
- 2.11. A correspondence between the parameters of paleoseismic dislocations and seismic scales
  - 2.11.1. The length of seismogenic fracturing and magnitude of earthquakes
  - 2.11.2. The pleistoseismal area and magnitude of earthquakes
- 2.12. A completeness of finding paleoseismic dislocations and old epicenter zones
- 2.13. A reliability of genetic interpretation of paleoseismic dislocations
- 2.13.1. An analysis of information sources for a genetic interpretation
- 2.13.2. The principle of a dynamic correspondence in a genetic interpretation of paleoseismic dislocations
- 2.13.3. The principles of a geometric matching and petrographic correspondence
- 2.13.4. A seismic origin of major gravitational dislocations
- 3. THE FIELD TECHNIQUE OF PHOTO-RECORDING PALEOSEISMIC DISLOCATIONS
  - 3.1. A field photo-recording as a constituent part of all-round studies of paleoseismic dislocations
  - 3.2. Field photo-recording equipment
    - 3.2.1. Photo-cameras
    - 3.2.2. Photo-lenses
    - 3.2.3. Photographic gear
    - 3.2.4. Furnishing a field photographic gear
    - 3.3. Field photo-recording
    - 3.3.1. Preparing for field photo-shooting
    - 3.3.2. Making a photo-recording plan
    - 3.3.3. A specific character of field photo-recording technique
    - 3.3.4. The use of light filters
    - 3.3.5. A panoramic photo-shooting
    - 3.3.6. A stereo photo-shooting
    - 3.3.7. A macro photo-shooting
    - 3.3.8. Video recording
- 4. A PALEOSEISMIC-GEOLOGIC INTERPRETATION OF LAND-, AERO- AND SPACE PHOTOS
  - 4.1. The information from spectrum zoned and multi-zoned space photos
    - 4.1.1. Spectrum zoned photos, size 30×30 cm
    - 4.1.2. Spectrum zoned and multi-zoned photos, size 18×18 cm
    - 4.1.3. Multi-zoned photos, size 55×80 cm

4.1.4. Multi-zoned scanned photos

4.1.5. Different use of space photos in paleoseismic-geologic studies 4.2. Decoding instruments

4.3. A paleoseismic-geologic interpretation of space photos

4.3.1. A specific character of paleoseismic-geologic photo-interpretation and using stereoscopes

4.3.2. Auxiliary indicating landscape objects

4.3.3. Basic indicating landscape objects

4.3.4. Learning and preliminary genetic and seismologic interpretations of dislocations on the basis of space photos

4.4. A comprehensive paleoseismic-geologic interpretation of field-, aero- and space photos

4.4.1. Preparation of field photo-records for interpretation

4.4.2. An all-round photo-interpretation technique and recording the obtained results

5. THE RESULTS OF THE NEW METHOD APPLIED

5.1. Paleoseismic dislocations in the Chersky Seismic Belt

5.1.1. The Chersky Sub-Belt of paleoseismic dislocations

5.1.2. The Northern Sea of Okhotsk Sub-Belt of paleoseismic dislocations

5.1.3. The Arman-Bakhapcha Zone of paleoseismic dislocations

5.1.4. The Yana Zone of paleoseismic dislocations

5.1.5. The Moma-Okhotsk Sub-Belt of paleoseismic dislocations

5.2. The structural and distribution regularities of paleoseismic dislocations in the Chersky Seismic Belt

5.3. A seismologic interpretation of paleoseismic dislocations in the Chersky Seismic Belt

6. CONCLUSION

6.1. The principle advantages of the new method

6.2. Destructive earthquakes and mitigation of expected damages caused by them in the region

REFERENCES

#### ВВЕДЕНИЕ

Главное содержание работы составляет новая (тотальная) палеосейсмогеологическая методика или, может быть, точнее – новая модификация известной палеосейсмогеологической методики (разд. 1.-4.). Классические труды Н.А.Флоренсова, В.П.Солоненко, В.С.Хромовских, А.А.Никонова, посвященные традиционной палеосейсмогеологиии, избавляют автора от необходимости скрупулезного описания всех ее аспектов. При этом угадывающееся наличие в содержании и объеме данной работы претензий на универсальность изложения проблем палеосейсмогеологии является лишь отражением опыта, полученного при изучении большого количества палеосейсмодислокаций Северо-Востока России. Региональные палеосейсмогеологические результаты представлены в сокращенном виде сравнительно с имеющейся уже информацией (рис. 1) и с ее важностью для сейсмического прогнозирования.

Территориально выполненная работа ограничена в основном площадью юго-восточной половины сейсмического пояса Черского, простирающегося от устья Лены до Охотского моря (другие названия пояса: Ленско-Охотский и Лаптевско-Колымский). Рекогносцировочное дешифрирование космоснимков производилось также на некоторые районы Чукотки, Камчатки, хр. Джугджур, Верхоянья и Сахалина.

Акцент на методических разделах данной первой монографии с описанием палеосейсмогеологических исследований Северо-Востока России, при наличии обильных, но недостаточно подробно опубликованных результатов регионально-сейсмогеологического характера объясняется несколькими причинами: 1) завершенностью в основном методической части работы и незаконченностью палеосейсмогеологического изучения региона; 2) присутствием значительного количества элементов новизны в предлагаемой модификации методики, влияющих на повышение производительности и качества исследований; 3) необходимостью детального изложения методики в связи с получением на основе ее применения обильных палеосейсмогеологических данных, существенно уточняющих представление об уровне сейсмичности территории и вызывающих тем самым сомнения в достоверности информации; 4) значимостью методики на уровне выше регионального; 5) необходимостью выполнения дополнительных полевых заверок полученных дистанционных данных и их сейсмологической интерпретации.

Печально известные разрушительные землетрясения последнего десятилетия на территории СССР и России: Спитакское 1 988 г., Рачинское 1 991 г., Нефтегорское 1 995 г. – убедительно продемонстрировали недостаточность для сейсмического прогнозирования только стандартных методов, базирующихся главным образом на краткосрочных (десятки лет) инструментальных наблюдениях, совершенно несопоставимых по продолжительности с периодом повторяемости (сотни и тысячи лет) самых сильных и опасных землетрясений. Палеосейсмогеологическая методика, основные принципы которой разработаны Н.А.Флоренсовым [1960] и В.П.Солоненко [1962, 1977], позволяет на два порядка расширить временной интервал (ретроспективных) наблюдений за сейсмичностью – до тысяч лет, причем за ее наиболее сильной, разрушительной составляющей. Повышению производительности и точности палеосейсмогеологических исследований способствовало использование в этой методике сравнительно новых в 50-60-х гг. XX века аэрофотометодов. И все же палеосейсмогеологическая методика оставалась достаточно трудоемкой. Так, для палеосейсмогеологического изучения в общих чертах территории Прибайкалья и Забайкалья потребовались усилия многих исследователей на протяжении нескольких десятилетий.

Необходимость повышения производительности и полноты выявления палеосейсмодислокаций до максимально возможного уровня, от чего зависит точность сейсмического прогноза, породила проблему совершенствования известной (традиционной) палеосейсмогеологической методики, а развитие в последние два десятилетия новых высокопроизводительных дистанционных методов изучения Земли – космических – сделало решение данной проблемы возможным в принципе. Это, однако, затруднялось ее положением на стыке нескольких научно-технических направлений: сейсмологии, геологии, геоморфологии, ландшафтоведения, дистанционных методов зондирования Земли.



Рис. 1. Рои палеосейсмодислокаций в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского: 1 – комплексные рои палеосейсмодислокаций всех морфологических типов (гравитационных, тектонических, гравитационно-тектонических); 2 – протяженные субпояса палеосейсмодислокаций; 3 – контуры суперроев палеосейсмодислокаций с их названиями; 4 – Янская зона палеосейсмодислокаций; 5 – Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмодислокаций. Названия роев палеосейсмодислокаций: 1 – Андрей-Тас, 2 – Солония, 3 – Догдо, 4 – Чибагалах, 5 – Боронг, 6 – Чаркы, 7 – Сакыння, 8 – Молуха, 9 – Сулаккан, 10 – Арга-Кынрайдах, 11 – Чубука-Тала, 12 – Ытабыт-Юрях, 13 – Хаяргастах, 14 – Нуру, 15 – Эрикит, 16 – Еченка, 17 – Ылен, 18 – Гармычан, 19 – Арга-Тас, 20 – Коубугу, 21 – Тирехтях, 22 – Елау, 23 – ТасКыстабыт, 24 – Нючага, 25 – Дарпир, 26 – Делянкир, 27 – Дарпирчик, 28 – Эзоп, 29 – Колыма, 30 – Умара, 31 – Бахапча<sup>1</sup>, 32 – Гижига, 33 – Ненкат, 34 – Туманы,35 – Чинганджа, 36 – Светлый, 37 – Хурэндя, 38 – Дёл-Урэкчэн (с суброями Финальный, Аган, Дондычан), 39 – Момолтыкис, 40 – Дукча, 41 – Гертнера, 42 – Сиглан (в том числе современный рой Чаратах), 43 – Улиткан, 44 – Алут, 45 – Правый Рог, 46 – Верхний Янычан, 47 – Нижний Янычан, 48 – Налтай, 49 – Нараули, 50 – Молдот, 51 – Охота, 52 – Ульбея, 53 – Хизинджа, 54 – Нивака, 55 – Маймачан, 56 – Анмай, 57 – Американ, 58 – Урак, 59 – Толмот, 60 – Улья, 61 – Иня, 62 – Хейджан, 63 – Шилкан, 64 – Чуткавар

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> На всех многочисленных картах, изданных за последние 40 лет, р. Бахапча, по которой назван рой, пишется через букву «а» в первом слоге. Написание "Бохапча" расценивается как устаревшее. Транскрипция других географических названий также соответствует наиболее новым картам.

Конечной целью излагаемого исследования видится повышение точности сейсмического прогнозирования, в том числе, и на территории юго-восточной половины сейсмического пояса Черского. Более конкретными (частными) целями в процессе ее достижения послужили:

 создание новой модификации палеосейсмогеологической методики, отличающейся от традиционной существенно более высокой производительностью и обеспечивающей максимальную полноту выявления сейсмодислокаций; максимальное приближение ее к уровню технологии, что исключало бы необходимость глубокого погружения палеосейсмогеологов в проблематику всех научно-технических направлений, стыкующихся при синтезе и использовании новой методики (разд. 2.-4.);

- значительное пополнение каталога данных о сильных (разрушительных) землетрясениях в сейсмическом поясе Черского за счет выявления и изучения голоценовых палеосейсмодислокаций на основе применения новой высокопроизводительной (тотальной) палеосейсмогеологической методики (разд. 5.).

Для достижения цели синтеза новой методики решен ряд конкретных задач:

- произведен анализ некоторых принципов сейсмического районирования и палеосейсмогеологии (прецедента, актуализма, унаследованности, соразмерности, динамического и петрографического соответствия, разд. 1., 2.13.);

- выполнен анализ факторов формирования фототона космических изображений земной поверхности и создано новое представление о фотоландшафте (разд. 2.1.3.);

- разработаны новые представления о литосборных бассейнах (ЛСБ), о сейсмически активизированных ЛСБ, о тромбах на осях литосбора (разд. 2.1.4., 2.8.);

 проанализированы геолого-геоморфологические критерии генетической интерпретации гравитационных дислокаций, в результате чего созданы новые представления: о вариации их геометрической формы, об идеальном обвале, об обвальном потенциале, о петрографической идентификации обвального тромба с его литосбором, о высоких фильтрационных свойствах обвальных отложений (разд. 2.5.-2.8.);

- разработана новая морфологическая классификация гравитационных дислокаций на основе вариации их продольного по падению профиля и обусловленности геометрической формы в плане типом обвального литосбора (разд. 2.7.);

- создана многозвенная кодовая система характеристики геометрической формы гравитационных дислокаций (разд. 2.7.2.);

- проанализированы, систематизированы и адаптированы к решению палеосейсмогеологических задач, с целью повышения эффективности исследований, методы полевой стереоскопической и панорамной фоторегистрации и комплексного разномасштабного и разноракурсного дешифрирования аэрокосмических и наземных снимков (разд. 3., 4.).

Для повышения точности прогноза сильных землетрясений решались и другие задачи, нашедшие отражение в формулировании новых представлений о сейсмогенерирующих блоках, о ряде сейсмотектонической эволюции интрузивов, о принципах палеокинематических реконструкций сейсмоблоков (разд. 2.9.).

В основу работы положены полевые геолого-геоморфологические исследования 17 полевых сезонов в горах Северо-Востока России (в бассейнах Колымы, Индигирки, рек северного побережья Охотского моря, Большого Анюя); полевые наблюдения в плейстосейстовых зонах сильных землетрясений: Дагестанского 1 970 г., Великого Восточно-Сибирского 1 725 г. в хр. Удокан, Ямского 1 851 г. в Северном Приохотье; а также результаты дистанционного изучения эпицентральной зоны Артыкского землетрясения 1 971 г. в Якутии. Кроме того, использованы впечатления от натурных геолого-геоморфологических наблюдений в почти асейсмичных (фоновых) средне- и низкогорьях Южного Урала (массивы гор Ямантау, Иремель, Ицыл, хребты Машак, Нургуш, Уреньга, Таганай, Уралтау, Ильменский, бассейны рр. Юрюзань, Сим и др.); в сейсмоактивных высокогорьях и среднегорьях Большого Кавказа, Заилийского Алатау, Украинских Карпат, Саян и др.

Использованы литературные описания дислокаций многих современных сильных землетрясений: Гоби-Алтайского 1 957 г., Муйского 1 957 г., Сарезского 1 911 г., Хаитского 1 949 г., Амткелского 1 891 г., Дагестанского 1 970 г., Спитакского 1 988 г., Рачинского 1 991 г., Аляскинского 1964г., Аляскинского 1958 г., Сан-Фернандо 1971 г., Перуанского 1970 г., Артыкского 1971 г., Булунских 1927 г., Ямского 1851 г. и др.

При полевых исследованиях наряду с традиционными методами: картированием, радиоуглеродным и дендрохронологическим опробованием дислокаций выполнялась разномасштабная и разноракурсная наземная стереоскопическая, панорамная, черно-белая и цветная фотосъемка мало- и среднеформатными камерами (разд. 3.). Материалы наземной стереосъемки активно использовались при комплексном разномасштабном инструментальном дешифрировании объектов вместе с космо- и аэроснимками (разд. 4).

Автором выполнено неоднократное стереоскопическое (при увеличениях до 5 крат) сейсмогеологическое дешифрирование спектрозональных космоснимков масштаба около 1:280 000 на территорию Магаданской области и сопредельных районов Саха Якутии, Хабаровского края, Чукотки и Камчатки площадью свыше 700 тыс. км<sup>2</sup>. Такому же дешифрированию подвергнуто около 50 «стотысячных» планшетов аэроснимков на территорию Северо-Востока России общей площадью более 46 тыс. км<sup>2</sup>.

Произведен анализ литературных источников по методике космической съемки и по применению данных дистанционного зондирования в геологии. В работе использованы опубликованные и фондовые картографические источники информации.

Посредством новой палеосейсмогеологической методики достигнуто повышение в десятки раз производительности поиска палеосейсмодислокаций в сочетании с резким увеличением полноты их выявления, что обеспечивает существенный рост точности сейсмического прогнозирования. По новой методике на Северо-Востоке России впервые обнаружены сотни крупных палеосейсмодислокаций, группирующихся в не менее, чем шесть десятков роев, каждый из которых является следствием, как минимум, одного разрушительного землетрясения (рис. 1). Выполнена полевая заверка около двух десятков из них. Представлено самое обстоятельное на сегодня однотипное описание наиболее изученных, в том числе полевыми методами, роев региона (разд. 5.1.), включающее их сейсмологическую интерпретацию с вычислением магнитуды, с оценкой глубины очагов древних землетрясений и даты (разд. 5.3.). Определена максимальная величина магнитуды голоценовых землетрясений в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского. Сделаны предварительные оценки повторяемости разрушительных землетрясений для региона в целом и для его частей. Осуществлено районирование территории с выделением на новом, максимально сейсмостатистически обеспеченном уровне зон, субпоясов, в которых происходили голоценовые разрушительные землетрясения, а также сейсмически малоактивных «окон» в пределах сейсмического пояса Черского (разд. 5.3.). Выявлены некоторые закономерности строения и пространственного размещения палеосейсмодислокаций (разд. 5.2.).

Палеосейсмогеологические результаты применения новой методики использованы при составлении сейсмологического обоснования строительства Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыма в предложении о строительстве ГЭС на р. Рассоха в хр. Арга-Тас. На основе палеосейсмогеологических данных автором создана новая схема сейсмического районирования Магаданской области и смежных районов с выделением зон землетрясений с интенсивностью 8 и более баллов (разд. 5.3.). Прогноз сильных землетрясений, содержащийся в этой схеме, подтвердился по месту и по интенсивности при 8-балльном Шелиховском землетрясении 7 июля 1 996 г. на континентальном шельфе, прилегающем к выделенной на схеме Североохотоморской зоне землетрясений с интенсивностью 8 и более баллов.

Полевые заверки палеосейсмодислокаций выполнялись автором в разные годы с участием С.В.Мишина (7 сезонов), Л.Н.Важениной (4 сезона), В.А.Бобровникова (2 сезона), В.Н.Смирнова (2 сезона), а также С.В.Левашовой, В.Н.Воропаева, В.Н.Силантьева, О.Ю.Глушковой, К.Я.Гиберта, П.С.Минюка, А.А.Буйских, С.В.Щепетова, Д.И.Бермана и многих других. Представление о литосборных бассейнах возникло под непосредственным идейным влиянием Ю.Г.Симонова. Совместно с С.В.Мишиным сформулировано понятие о сейсмоблоках. Под его влиянием у автора зародился интерес к сейсмодислокациям. Этому же способствовало воздействие идей и работ Н.А.Флоренсова, В.П.Солоненко, А.А.Никонова, В.С.Хромовских и других. Поддержку и одобрение работ на разных ее стадиях проявляли: И.Г.Авенариус, С.М.Александров, В.А.Ахмадуллин, И.А.Белозуб, В.Ф.Белый, Д.И.Берман, В.А.Бобровников, О.А.Борсук, С.Г.Бялобжеский, Ю.Я.Ващилов, И.Л.Ведерников, А.В.Викулин, М.Л.Гельман, А.П.Дедков, Л.Н.Ивановский, М.А.Ильвес, В.С.Имаев, П.Н.Ионов, Л.П.Карсаков, О.А.Кашменская, Б.М.Козьмин, А.М.Космач, А.П.Кулаков, А.Н.Ласточкин, А.В.Ложкин, В.М.Мерзляков, Н.И.Николаев, А.А.Никонов, Ф.С.Онухов, О.В.Павлов, А.А.Рак, Е.А.Рогожин, Б.М.Седов, А.А.Сидоров, Ю.Г.Симонов, С.М.Тащи, Д.А.Тимофеев, Э.Э.Титов, М.А.Трумпе, В.П.Уткин, Г.Ф.Уфимцев, К.Фуджита, З.М.Хворостова, Г.И.Худяков, А.Д.Чехов, В.Г.Шахтыров, В.И.Шпикерман, Ю.В.Шумилов, В.В.Юшманов, А.Л.Яншин и многие другие. Всем, принявшим какое-либо участие в данной работе, автор выражает признательность и благодарность.

#### 1. ПРИНЦИПЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

#### 1.1. Принципы прецедента и унаследованности в сейсмическом районировании

Принципы прецедента и унаследованности в сейсмическом районировании; а также принципы актуализма, динамического соответствия гравитационных дислокаций с условиями их формирования и соразмерности коррелятных денудационных и аккумулятивных форм рельефа в палеосейсмогеологии представляются автору основополагающими.

Недавние разрушительные землетрясения на территории СССР и России (Спитакское 1 988 г., Рачинское 1 991 г., Нефтегорское 1 995 г.), происшедшие вопреки нормативной карте сейсмического районирования СССР, позволяют судить о приближающейся к 100% ошибке заключенного в ней прогноза по сильнейшим землетрясениям. Чтобы разобраться в причинах таких грубых просчетов, выполним ретроспективный анализ серии из фрагментов трех карт сейсмического районирования СССР разных лет издания на территорию юго-восточной половины сейсмического пояса Черского (рис. 2 *а-в*), включающую Магаданскую область с прилегающими районами Саха Якутии и Хабаровского края.

При сравнении этих карт видна явная тенденция смещения представлений об уровне сейсмичности территории в сторону его повышения. Объясняется это ростом с течением времени степени сейсмологической изученности территории, а также проявлениями естественного хода сейсмического процесса. Так, на первой схеме (рис. 2 а) сейсмического районирования СССР [Горшков и др., 1951], выполненной на основе геологического сходства с лучше изученными сейсмоактивными регионами и единичных эпицентров землетрясений, зарегистрированных весьма редкой в то время и удаленной сетью сейсмостанций, на территории Северо-Востока России выделены лишь зоны 5-и 6балльных землетрясений. Следующая карта (рис. 2 б) [Сейсмическое..., 1968] построена после сильных землетрясений 1 951 г. – Адычанского (8 баллов) и Сетте-Дабанского (7-8 баллов), а также, повидимому, с учетом данных о сильных землетрясениях в Приохотье – Ямском 1 851 г. (8-9 баллов) и Тауйском 1 936 г. (7-8 баллов). В результате на юго-восточном фланге сейсмического пояса Черского появились зоны возможных 7-балльных землетрясений – в Примагаданье, в хребтах Черского и Сетте-Дабан. Последняя из этих карт (рис. 2 в) сейсмического районирования [Сейсмическое..., 1980] составлена после серии сильных землетрясений 1 970-72 гг. – Аян-Юряхского 1 970 (7 баллов), Артыкского 1 971 г. (9 баллов), Юдомского 1 971 г. (7 баллов), Кулинского 1 972 г. (7 баллов), а также Гижигинского 1979 г. (7 баллов). В итоге в горах Черского впервые выделена зона 8балльных землетрясений.

При анализе эволюции карт сейсмического районирования легко угадывается не провозглашаемый, но явно используемый при их составлении, главный принцип – «принцип прецедента», в соответствии с которым прогнозируются только землетрясения такой силы, которые уже были и только там, где они уже регистрировались. «Принцип сейсмологического прецедента» определяет, само существование зон разной сейсмичности на картах, а структурно-геологические и геофизические данные используются лишь в качестве вспомогательных, косвенных критериев для определения конфигурации этих зон, вычерчиваемых обычно согласно простиранию геологических структур. Это хорошо видно на примере 7- и 8-балльных зон (рис. 2 б, в) в горах Черского и в Северном Приохотье, совпадающих по простиранию и, в некоторой мере по конфигурации, со структурами Верхояно-Колымских мезозоид и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Причем использование структурно-геологических и геофизических критериев имеет вынужденный характер и обусловлено дефицитом сейсмостатистических данных, особенно по сильнейшим разрушительным землетрясениям.

Вопрос о степени соответствия карт сейсмического районирования, построенных по принципу сейсмологического прецедента, реальной последующей сейсмичности просто решается посредством ретроспективного анализа их прогностических свойств. Наиболее удобна для этого карта 1 968 г. издания (рис. 2 б) в сравнении с изображением последующей сейсмичности, зафиксированной на рис. 2 в.



Рис. 2. Эволюция представлений 0 сейсмичности юго-восточной сейсмического половины пояса Черского, зафиксированных на картах сейсмического районирования CCCP разных издания; лет составлено по Г.П.Горшкову [1951] (а), Сейсмическое..., 1968 *(б)*, Сейсмическое..., 1980 Б.М.Козьмину (6), [1984]: 1-4 – зоны возможных землетрясений с интенсивностью 8 (1), 7 (2),6 (3), 5 (4) 5 – баллов; эпицентры землетрясений 15-го и более энергетических высоких классов; 6 - то же 14-го класса. Сокращения в индексации эпицентров обозначают: Ад -Адычанское, А – Артыкское, АЮ – Аян-Юряхское, Г – Гижигинское, К – Кулинское, СД – Сетте-Дабанское, Т – Тауйское, Ш – Шелиховское, Ю – Юдомское, Я – Ямское. В числителе дроби указан год землетрясения, в знаменателе интенсивность в баллах и магнитуда

Так, в пределах 7-балльной зоны возможных землетрясений в горах Черского произошло 9балльное Артыкское землетрясение с магнитудой (М) 7,1 (ошибка в 2 балла), а также 7-балльное Аян-Юряхское землетрясение 1 970 г. (М=5,6) – ошибки нет. На площади 6-балльной зоны зафиксировано три 7-балльных землетрясения: Юдомское 1 971 г. (М=5,6), Кулинское 1 972 г. (М=5,7), Гижигинское 1 979 г. (М=5,2). Для каждого из трех событий ошибка прогноза составляет 1 балл. В 7балльной Североохотоморской зоне в 1 996 г. отмечено 8-балльное Шелиховское землетрясение (М=5,8) (ошибка в 1 балл). Таким образом, оправдываемость прогноза карты сейсмического районирования 1 968 г. издания на территории юго-восточной половины сейсмического пояса Черского по сильным землетрясениям (с интенсивностью 7 баллов и более) за 30-летний период составила один случай из шести, что не достигает и 17%. Средняя ошибка в сторону занижения сейсмической опасности на одно сильное событие составила 1 балл, максимальная – 2 балла.

Карта издания 1 980 г., казалось бы, выглядит несколько лучше предыдущей из-за наличия лишь одной ошибки прогноза сильных землетрясений при 8-балльном Шелиховском землетрясении 1 996 г. Но этот единственный случай демонстрирует 100-процентную неоправдываемость прогноза карты по сильным землетрясениям, так как других событий такой интенсивности за период с 1 980 по 1 996 гг. в регионе просто не было. В этом варианте карты, кстати, полностью проигнорированы уже упомянутые три 7-балльных землетрясения в пределах 6-балльной зоны: Юдомское 1 971 г., Кулинское 1 972 г., Гижигинское 1 979 г., а также 8-9-балльное Ямское землетрясение 1 851 г., не учтенное в достаточной мере ни в одном из изданий, то есть в этих случаях не соблюден даже принцип прецедента, который не устоял перед, по-видимому, еще более сильным волевым решением научной проблемы районирования. Даже спустя много лет чувствуется растерянность составителей в отношении того, что же следует делать с этими 7-балльными землетрясениями: либо всю 6-балльную зону перекрасить в 7-балльную, либо только частями присоединить к 7-балльным и к каким – Сетте-Дабанской, гор Черского, Североохотоморской?

В готовящемся новом издании карты сейсмического районирования принцип сейсмологического прецедента выражен максимально. Впервые для сейсмического пояса Черского на ней вводятся зоны возможных 9-балльных землетрясений. Пространственно они полностью совпадают с эпицентральными зонами сильнейших землетрясений пояса – Артыкского 1 971 г. (9 баллов) и Ямского 1 851 г. (8-9 баллов), а по конфигурации и площади близки к максимальным изосейстам этих сейсмических событий [Козьмин, 1984]. Повышение роли сейсмологического прецедента в данном случае вызвано, очевидно, впечатлением от разрушительных землетрясений последнего десятилетия – Спитакского 1 988 г., Рачинского 1 991 г. и особенно Нефтегорского 1 995 г.

Несмотря на грубую недооценку сейсмической опасности на нормативных картах сейсмического районирования, никакого серьезного ущерба сильные землетрясения региона пока не принесли, но это вовсе не означает, что так будет всегда. И если сейсмическая угроза до сих пор ни разу не реализовалась, то объясняется это только непродолжительной историей хозяйственного освоения региона, а также невысокой плотностью и резкой неравномерностью территориального распределения населения. С течением времени потенциальная сейсмическая угроза со все большей вероятностью получает возможность превратиться в реальную. Уместно вспомнить, что Ташкент был разрушен в 1 966 г. землетрясением с неглубоким очагом при магнитуде всего 5,3. Только за непродолжительный период инструментальных наблюдений на описываемой территории Северо-Востока России произошло около десятка землетрясений интенсивностью 7 и более баллов с магнитудой от 5,2 до 7,1. При этом землетрясения региона характеризуются, в основном, неглубоким положением очагов, что в большей мере способствует проявлению их разрушительной силы по сравнению с глубокофокусными при одинаковой магнитуде. К тому же, здания и сооружения в Магаданской области и в смежных районах по сейсмостойкости едва ли отличаются в лучшую сторону от ташкентских, ашхабадских, спитакских, ленинаканских, нефтегорских.

В чем же причина крайне неудовлетворительного прогностического качества карт сейсмического районирования – в использовании принципа прецедента? Нет, сам по себе принцип прецедента не плох и даже хорош. Он, по сути, является отражением в сознании составителей карт сейсмического районирования другого фундаментального принципа – унаследованности, присущего, наряду с другими «долгоживущими» геологическими процессами, также и сейсмичности. Причина неудовлетворительного качества карт сейсмического районирования, основанных на принципе сейсмологического прецедента, усматривается в другом - в недостаточном «по объему» прецеденте по разрушительным землетрясениям, который, в свою очередь, лимитируется весьма редкой повторяемостью (сотни и тысячи лет) наиболее сильных разрушительных землетрясений в сочетании с совершенно не сопоставимым по длительности периодом инструментальных наблюдений за сейсмичностью (первые десятки лет). Попытки как-то «обойти» отмеченный недостаток, например, посредством экстраполяции закона повторяемости землетрясений, полученного при анализе совокупности несравненно более частых слабых землетрясений 10-го энергетического класса, успеха не имели. Всякая экстраполяция обладает существенным принципиальным недостатком – она не учитывает возможные качественные скачки за пределами известных данных. Так, на детский вопрос: «Какой будет маленькая гусеница, когда вырастет?», экстраполяция даст ответ: «большой гусеницей». Без резкого расширения периода наблюдения за развитием гусеницы невозможно прогнозировать превращение ее в куколку и в бабочку. Эти рассуждения общего характера убедительно подтверждаются историческими данными о неравномерности проявления сейсмичности. Так, текущее тысячелетие (до 1 988 г.) на территории Армении было существенно более спокойным, чем предыдущее, когда только древняя столица Армении г. Двин разрушался землетрясениями четырежды: в 851, 858, 863, 893 гг. [Никонов, 1984; Губин, 1990]. Такая же резкая неравномерность хода сейсмического процесса в диапазоне сильных и сильнейших землетрясений характерна, например и для гор Вранча в Румынии, где с конца XVIII века фиксируются очаги сильных глубокофокусных землетрясений с переменным периодом - 12, 27, 8, 70, 32 года [Никонов, 1984].

#### 1.2. Принцип прецедента в палеосейсмогеологии

Из изложенного следует естественный вывод о необходимости, с целью резкого повышения точности прогноза сильных землетрясений, существенного расширения временного периода наблюдений за сейсмичностью. При этом вектор усилий исследователей, разумеется, должен быть направлен в прошлое, которое может обеспечить прирост прецедента по сильным землетрясениям многократно более внушительный, чем будущее, кстати, неумолимо и непрерывно превращающееся в прошлое. Существенное увеличение времени ретроспективных наблюдений за сейсмичностью способна обеспечить палеосейсмология. Особенностью ее является генерализация сейсмических событий по рангу и возрасту, в соответствии с которой время в большей мере стирает следы менее сильных и более древних землетрясений, запечатлевающихся в памяти человечества, в искусственных сооружениях и ландшафте. В палеосейсмологии по используемым методам исследований различаются две ветви: сейсмоисторическая и палеосейсмогеологическая. Прекрасный пример успешных сейсмоисторических исследований – результат скрупулезных историко-архивных разысканий А.А.Никоновым информации о Шемаханских землетрясениях конца XVII в. на Кавказе [Никонов, 1984, Хромовских, Никонов, 1984]. Наиболее эффективно сейсмоисторические методы работают в регионах древнейших высокоразвитых цивилизаций.

Практически не зависима от уровня освоенности территории палеосейсмогеологическая методика. Палеосейсмогеология наиболее работоспособна в горных регионах с контрастным рельефом, но это ограничение области ее применения не очень существенно, так как именно к таковым относится подавляющая часть сейсмоактивных территорий. Палеосейсмогеологические данные, наряду с инструментальными, являются, несмотря на, казалось бы, присущий им серьезный недостаток – древность (и подразумеваемую устарелость), прямыми свидетельствами действия сейсмичности на территории. Несравненно более широко используемые ныне в сейсмическом районировании геолого-геофизические методы поставляют не прямую, а косвенную информацию о сейсмичности. Обычная неопределенность корреляции геолого-геофизических параметров территории с землетрясениями, большей частью слабыми, умножаемая на неопределенность краткосрочных инструментальных данных о землетрясениях (особенно сильных и сильнейших) дает в итоге неопределенность в квадрате.

Древность же палеосейсмогеологической информации обеспечивает, благодаря действию временной генерализации, выделение и сохранение из всего энергетического спектра сейсмических событий прошлого их сильнейшей разрушительной составляющей, которая наиболее важна для практики сейсмического прогнозирования. Присущая палеосейсмогеологии максимальная из всех источников информации глубина ретроспективности изучения сейсмичности территории позволяет полностью реализоваться положительным качествам принципа прецедента и, тем самым, многократно «увеличить объем прецедента» в сейсмическом прогнозировании, снизить его «беспрецедентность», то есть повысить сейсмостатистическую обоснованность прогнозов.

#### 1.3. Палеосейсмодислокации как природные сейсмограммы

Палеосейсмодислокации – геолого-геоморфологические следы древних разрушительных землетрясений – запечатлеваются в виде деформаций рельефа, горных пород и геологических структур. Основоположники палеосейсмогеологической методики Н.А.Флоренсов [1960] и В.П.Солоненко [1962, 1973] выделяют три главных морфологических типа палеосейсмодислокаций: тектонические (разрывы различной кинематики в коренных и рыхлых горных породах), гравитационные (смещения масс горных пород по дневной поверхности – обвалы, оползни, осыпи и т.п.), гравитационнотектонические (блоковые подвижки горных пород в недрах, сопровождаемые деформациями рельефа). Подробнее совокупность палеосейсмодислокаций характеризуется в разделе 2.1.1. В данной ра-«палеосейсмодислокация» боте термин используется В традиционном понимании его Н.А.Флоренсовым И В.П.Солоненко для обозначения всех разновидностей геологогеоморфологических следов разрушительных землетрясений. При этом признается целесообразность различного толкования терминов «сейсмодислокация» и «сейсмодеформация», предлагаемого А.А.Никоновым [1995], с обозначением словом «сейсмодислокация» только линейных разрывных и пликативных нарушений тектонической природы, а понятием «сейсмодеформация» – всего многообразия тектонических и гравитационных нарушений рельефа и горных пород. Вместе с тем, более чем тридцатилетняя история привычного понимания палеосейсмодислокаций предопределяет инерцию в сознании, затрудняющую переход на новое значение, тем более, что обычное употребление их в сочетании с дополнительной морфологической характеристикой – «тектоническая», «гравитационная», «гравитационно-тектоническая» – исключает ненужную терминологическую путаницу.

Палеосейсмодислокации являются по своей сути природными палеосейсмограммами. Они способны обеспечивать информацию о древних землетрясениях практически по всем параметрам, которые дает анализ инструментальных сейсмограмм, регистрирующих современные землетрясения, причем с достаточной (как показывает опыт изучения сильнейших современных землетрясений) точностью, большей частью сравнимой с точностью инструментальных измерений. К числу таких параметров относятся: географическое положение эпицентральной зоны, сила (магнитуда, интенсивность), глубина очага, временная датировка.

Положение эпицентральных зон древних разрушительных землетрясений отождествляется с плейстосейстовыми областями наибольших разрушений инженерных сооружений и деформаций рельефа и горных пород. Точность таких определений обычно не уступает высшей точности инструментальных измерений – около 10 км, что демонстрируется опытом изучения современных сильных землетрясений [Современная..., 1989]. Неопределенность в локализации эпицентров возникает лишь в случаях расположения очага на стыке горных сооружений с равнинами и впадинами, когда для ее устранения требуется поправка «на рельеф». Определение силы (впрочем, как и всех других параметров) древних коровых землетрясений возможно лишь при достижении и превышении ими порогового значения магнитуды около 6,5, когда очаг как бы выходит на земную поверхность с образованием разрывов и других сейсмодислокаций. По величине деформаций и плейстосейстовой области судят о силе землетрясения.

Известно множество формул разных авторов [Современная..., 1989] для вычисления магнитуд палеоземлетрясений по длине сейсмогенных разрывов. Все они имеют однотипную структуру М<sub>дл</sub>=C+K lgL, где М<sub>дл</sub> – магнитуда, определенная по длине разрыва (или зоны разрывов); С – некая постоянная величина, изменяющаяся в разных формулах от 4,88 до 6,3; lgL – десятичный логарифм длины сейсмогенной зоны разломов в километрах; К – коэффициент, изменяющийся в разных формулах от 0,53 до 1,3. Конкретный пример таких формул: М<sub>дл</sub>=5,73+0,96 lgL [Хромовских, Обухова, 1989] получен по данным анализа многих десятков современных сильных землетрясений Мира. Несмотря на зависимость интенсивности землетрясений и величины сейсмодеформаций (при одинаковой магнитуде) от глубины очага, точность определения магнитуд по сейсмодислокациям коровых землетрясений в большинстве случаев вполне удовлетворительна и составляет в сравнении с инструментальными данными доли единицы М (разд. 2.11.).

Определения возраста палеоземлетрясений существенно менее точны сравнительно с инструментальными датировками современных сейсмических толчков. Это, казалось бы, значительно снижает ценность палеосейсмогеологической информации. Однако точность временных определений современных землетрясений в доли секунды практически малозначима в прогнозе по времени сильнейших землетрясений, отличающихся редкой и, особенно, нерегулярной повторяемостью. Точность датировок древних землетрясений в сотни и даже в тысячи лет бывает вполне удовлетворительной для оценок повторяемости разрушительных землетрясений в пределах десятитысячелетнего голоценового периода, к которому относится большинство сохранившихся палеосейсмодислокаций, например, в пределах сейсмического пояса Черского.

Кроме довольно часто используемых радиоуглеродного, лихенометрического, дендрохронологического методов при датировании палеосейсмодислокаций может применяться комбинация дендрохронологического и радиоуглеродного методов. Опыт изучения палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского [Важенин, 1992 б; Важенин и др., 1997] позволил установить факт «долгоживучести» кедрового стланика в горах Северо-Востока России в особых экологических условиях на поверхности крупных сейсмогенных обвалов. Так, среди собранных автором нескольких десятков образцов отмерших стволов кедрового стланика обычны насчитывающие 500 годичных колец, а два имеют дендрохронологический возраст в 800 и 1 000 лет. Если прибавить к дендрохронологическому возрасту «довесок» в виде радиоуглеродного возраста слоя наиболее молодых частей ствола, то суммарный минимальный возраст отмершего стланика может увеличиться, как показывает опыт, еще на несколько сот – тысячу лет (разд. 2.10.4.). Такой способ позволяет в условиях Дальнего Востока и Сибири, где произрастает кедровый стланик, производить массовое предварительное определение минимального возраста палеосейсмообвалов древностью до 1-2 тыс. лет. Это, если считать равномерным возникновение палеосейсмодислокаций в течение всего голоцена, составляет 10 - 20% от всей их совокупности. Несколько меньший временной диапазон датировок (до порядка 600) лет способен обеспечить лихенометрический метод (разд. 2.10.2.).

Нижним пределом сохранности палеосейсмодислокаций в горах Северо-Востока России служит, главным образом, рубеж голоцена и позднего плейстоцена (около 10 тыс.лет назад), когда деградировало последнее горно-долинное оледенение, поскольку морфологически выраженные и потому легко выявляемые сейсмодислокации (сбросовые уступы, обвальные тела и т.п.) уничтожаются крупными ледниками так же легко, как мокрая тряпка стирает записи мелом на школьной доске.

Во всем временном диапазоне голоцена может работать, правда, с невысокой точностью, лишь способ, основанный на признаках постгенетической эволюции палеосейсмодислокаций и закономерностях постсейсмической адаптации литосборов [Важенин, 1982, 1985 *a*, 1995 *a*]. Принципиально наиболее точно работающий во всем временном диапазоне метод датировки сейсмогенных обвалов по образцам погребенных ими образований, содержащих углерод (растений, почв, костных остатков), реализуется весьма редко – не более чем для 2 - 4% изученных уже в регионе объектов. Способ датирования крупных палеосейсмообвалов, подпруживающих речные долины, по коррелятным им отложениям подпрудных бассейнов седиментации связан с трудоемкими и дорогими горновскрышными и буровыми работами и также затруднительно реализуется.

Качественное и даже полуколичественное определение глубин гипоцентров древних землетрясений можно производить посредством анализа величины и пространственного размещения отдельных палеосейсмодислокаций в пределах роя. Так, размещение сравнительно некрупных и равных по величине палеосейсмодислокаций в пределах большого по площади роя, а также незначительность и отсутствие тектонических дислокаций свидетельствуют о большой глубине очага – до 30 км и более. Небольшая площадь роя, развитость тектонических дислокаций, наличие очень крупной сейсмоструктуры в его центре и резкое убывание величины и количества дислокаций к периферии роя являются признаками малой глубины очага – до 10 - 15 км. Уточнение таких определений возможно в результате статистического анализа данных по современным разрушительным землетрясениям.

Таким образом, палеосейсмограммы в виде палеосейсмодислокаций способны обеспечивать информацию практически по всем важнейшим параметрам древних землетрясений с удовлетворительной, хорошей и даже высокой точностью.

#### 1.4. Принцип актуализма в палеосейсмогеологии

Возможность использования крупных гравитационных дислокаций в качестве индикаторов комплексных роев палеосейсмодислокаций при дешифрировании спектрозональных космоснимков определяется двумя факторами. Во-первых, из всего комплекса морфологически различных палеосейсмодислокаций крупные гравитационные дислокации (особенно скальные обвалы) выделяются наилучшей фотогеничностью (наиболее заметны в фотоландшафте, разд. 2.1.3.). Это обеспечивается:

- большими размерами обвалов с объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup> – сотни и первые тысячи метров по горизонтали и десятки и сотни метров по вертикали; контрастом в стереомодели их выпуклых тел, с вмещающими, как правило, отрицательными формами рельефа; спектральным контрастом крупноглыбовых обвалов, обычно лишенных развитого почвенно-растительного покрова, с подножьями гор, зачастую покрытыми древесно-кустарниковой и травянисто-кустарничковой растительностью;

- и все это – в сочетании с близким к оптимальному горизонтальным, вертикальным и спектральным разрешением спектрозональных стереокосмоснимков масштаба около 1:280 000.

Во-вторых, обвалы, несмотря на причисление их, порой, ко вторичным палеосейсмодислокациям – не самостоятельным, а только подтверждающим сейсмогенность тектонических дислокаций, являются обычным и довольно многочисленным, а нередко и исключительным компонентом роев сейсмодислокаций современных разрушительных землетрясений.

Недавними примерами разрушительных землетрясений, при которых образовались лишь многочисленные гравитационные сейсмодислокации (обвалы и оползни), при отсутствии тектонических, могут служить: Рачинское 1 991 г. [Богачкин и др., 1993; Рогожин, Богачкин, 1993], Дагестанское 1 970 г. [Чигарев, Шивков, 1977, 1981; Попова, Левкович, 1981], Артыкское 1 971 г. [Белый и др., 1971; Курушин и др., 1976; Козьмин, 1984]. Из еще более многочисленных современных разрушительных землетрясений, в результате которых сформировались комплексные рои сейсмодислокаций, включающие и крупные гравитационные, можно назвать следующие: Спитакское 1 988 г. [Никонов, 1990; Рогожин и др., 1990], Аляскинское 1 964 г. [Болт и др., 1978; Войт, 1976; Walker, 1982], Сан-Фернандо 1 971 г. [Болт и др., 1978], Сусамырское 1 992 г. [Корженков, Омуралиев, 1993; Чедия, Корженков, 1995], Гоби-Алтайское 1 957 г. [Гоби-Алтайское..., 1963] и многие другие. Сравнительно редкие сильные землетрясения, в результате которых в горах, при наличии тектонических, не возникли гравитационные сейсмодислокации, как, например, Сарыкамышское 1 970 г. в Иссык-Кульской котловине [Чигарев, Шивков, 1977], имеют, как правило, магнитуду не более 6,5 – на грани разрушительных-неразрушительных (то есть разрушительных и очень сильных, по шкале MSK-64) сейсмических событий и приходятся на участки с недостаточно высоким обвальным потенциалом.

При Спитакском землетрясении 1 988 г. сформировался рой сейсмодислокаций, включающий зону тектонических деформаций общей длиной 35 км, состоящую из соосных и кулисообразных разрывов различной кинематики длиной до 1-2 км, маркированную почти на всем протяжении более чем двумя десятками обвалов и оползней, в том числе крупных (рис. 3 *a*) [Рогожин и др., 1990]. На рис. 3 б изображен, в том же масштабе, что и Спитакский, Дукчинский рой предполагаемых палеосейсмодислокаций в Примагаданье [Важенин, 1992 *a*; Важенин и др., 1997]. Сходство этих двух роев очевидно. Дукчинский рой также представлен системой стыкующихся между собой свежих разломов длиной по 1 - 2 км и общей протяженность около 26 км на пологовершинном водоразделе Дукчинских гор, маркированной двумя десятками гравитационных дислокаций, половина из которых – крупные скальные обвалы.



Рис. 3. Рой сейсмодислокаций Спитакского землетрясения 1 988 г. (*a*) и Дукчинский рой палеосейсмодислокаций в Примагаданье (*б*); составлено по Е.А.Рогожину и др. [1990], Б.П.Важенину и др. [1997]. Основные условные знаки для схем всех роев палеосейсмодислокаций, начиная с рис. 3: 1 – скальные обвалы, в мел-

ких (*a*) и в более крупных (*б*) масштабах; 2 – скальные оползни; 3 – поверхность гравитационно-тектонических палеосейсмодислокаций или сейсмоблоков; 4 – контуры крупных палеосейсмоблоков; 5 – каменные глетчеры; 6 – обвально-осыпные конусы выноса; 7 –обвально-осыпные шлейфы; 8 – пролювиально-селевые конусы выноса; 9 – селевые потоки; 10 – участки тектонического бедленда; 11 – расщелины в коренных породах, предположительно сейсмотектонические; 12 – суффозионно-эрозионные каньоны в завальных плотинах; 13 – суффозионные ложбины на поверхности обвалов; 14 – крупные тектонические разломы – с вертикальной составляющей (*a*) и без нее (*б*); 15 – свежие предположительно сейсмогенные разрывные нарушения без заметной вертикальной составляющей; 16 – свежие сбросовые и взбросовые предположительно сейсмогенные уступы; 17 – сдвиги правые (*a*) и левые (*б*); 18 – бровки крутых обвально-осыпных склонов; 19 – бровки стенок срыва и ниш отрыва гравитационных дислокаций; 20 – линии четких водоразделов и абсолютные отметки вершин в м; 21 – гидросеть; 22 – скальные пороги в руслах рек; 23 – водопады; 24 – древнеледниковые морены; 25 – наледи и наледные поляны; 26 – подпрудные бассейны седиментации; 27 – озера; 28 – индексы гравитационных и гравитационно-тектонических сейсмодислокаций (сейсмоблоков), включающие заглавную букву названия, а также объем в млн м<sup>3</sup> для обвалов и оползней и в км<sup>3</sup> для сейсмоблоков; 29 – названия роев и суброев палеосейсмодислокаций

Они практически равны по величине плейстосейстовых областей, мало различаются по длине зон разломов, весьма похожи по набору и, в некоторой мере, по количеству отдельных сейсмодислокаций различных морфологических типов и по размерам.

Очень близки и сейсмические параметры этих роев. Инструментальная магнитуда Спитакского землетрясения составляет 6,8, вычисленная по длине зоны разрывов – 7,2, по площади плейстосейстовой зоны (140 км<sup>2</sup>) – 6,9. Для Дукчинского роя магнитуда, определенная по длине разрывов (26 км), равняется 7,1, а по плейстосейстовой площади (156 км<sup>2</sup>) – 7,0. Общим для всех сейсмодислокаций является их группирование в виде компактных и плотных роев на фоне обширных смежных участков со сходным геолого-геоморфологическим строением, где следов землетрясений нет. При этом, например, суммарная площадь роев в тотально сейсмогеологически обследованной юговосточной половине сейсмического пояса Черского площадью свыше 700 тыс.км<sup>2</sup> не превышает 2%. Второй общий для современных и древних сейсмодислокаций признак - комплексирование тектонических, гравитационных и гравитационно-тектонических их разновидностей в виде единых сейсмоструктур и сейсмотектонически закономерно построенных комплексных роев.

В памяти человечества запечатлелись лишь, по-видимому, единичные случаи асейсмичного образования крупных скальных обвалов, таких как Эльм-10 (объемом 10 млн м<sup>3</sup>), возникший в 1 881 г. в Швейцарии [Федоренко, 1988] – и то в результате техногенного воздействия на склон. При этом не известен ни один факт современного несейсмогенного формирования целых роев, особенно комплексных, типа Спитакского и Дукчинского, даже в условиях весьма активных современных тектонических движений, например, в зоне давно и пристально изучаемого и весьма динамичного разлома Сан-Андреас в Калифорнии. Но лишь одно калифорнийское землетрясение Сан-Фернандо 1 971 г. (М=6,5) в окрестностях Лос-Анджелеса вызвало образование роя с тысячами (!) обвалов и оползней [Болт и др., 1978]. Статистическое соотношение между сейсмогенными и асейсмичными современными крупными обвалами, и тем более роями, столь различно, что, пользуясь известным принципом актуализма для экстраполяции этого соотношения в весьма недавнее, в геологическом масштабе времени, голоценовое прошлое, можно практически со 100-процентной вероятностью утверждать, что рои типа Дукчинского могли образоваться только в результате сильных древних землетрясений с интенсивностью 8 баллов и более и при магнитуде не менее 6,5. В данном случае применение принципа актуализма, ввиду краткости ретроспективной экстраполяции, возможно даже в его утрированном униформистском смысле. Введение поправки на постсейсмическую эволюцию палеосейсмодислокаций при использовании принципа актуализма необходимо в целях детального сравнения современных и древних сейсмодислокаций. Из состава роев палеосейсмодислокаций с течением тысячелетий под действием денудации в первую очередь исчезают мелкие дислокации, особенно в рыхлых отложениях; затем малоамплитудные тектонические дислокации. Наиболее устойчивы крупные обвалы и оползни, залегающие на консервативных в отношении денудации и аккумуляции элементах рельефа.

#### 2. НОВАЯ (ТОТАЛЬНАЯ) ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

#### 2.1. Теоретические основания тотальной методики

Теоретическими основаниями тотальной палеосейсмогеологической методики являются: 1) известная палеосейсмогеологическая методика (в представлении таких ее разработчиков, пропагандистов и пользователей, как Н.А.Флоренсов, В.П.Солоненко, В.С.Хромовских, А.А.Никонов); 2) новое представление о фотоландшафте, позволившее определить оптимальный путь в адаптации и применении высокопроизводительных космических методов зондирования Земли для решения палеосейсмогеологических задач; 3) представление о литосборных бассейнах, способствовавшее повышению степени формализации, технологизации и доказательности палеосейсмогеологических исследований.

Название новой методики – «тотальная» – отражает ее высокую, сравнительно с традиционной, производительность тотального (сплошного по всей площади) сейсмогеологического обследования крупных сейсмоактивных регионов с целью выявления всех значимых и наиболее крупных палео-сейсмодислокаций.

#### 2.1.1. Известная палеосейсмогеологическая методика

Идея о возможности использования геолого-геоморфологических следов сильнейших древних землетрясений для определения их силы и положения эпицентральных зон не нова. Ее высказывали М.В.Ломоносов, И.В.Мушкетов, К.И.Богданович и др. Однако в виде целостной системы представлений и действий, выразившейся в особом палеосейсмогеологическом подходе или методе, она сформировалась лишь несколько десятилетий тому назад [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962, 1966, 1973, 1977].

В основу разработки и совершенствования этого метода положен принцип актуализма, в соответствии с которым постулируется подобие между наблюдаемыми сейсмодислокациями, возникающими при современных сильнейших землетрясениях и геолого-геоморфологическими следами древних землетрясений, сохраняющимися в течение сотен и тысяч лет. Следы древних досейсмостатистических землетрясений получили название «палеосейсмодислокаций». Как уже упоминалось, основоположниками метода выделяется несколько морфологических типов палеосейсмодислокаций: 1) сейсмотектонические (разрывные деформации различной кинематики – сбросы, взбросы, сдвиги, раздвиги, надвиги, поддвиги, трещины без смещения); 2) гравитационно-сейсмотектонические (блоковые деформации земной коры – сейсмотектонические клинья, сбросообвалы, сбросооползни); 3) сейсмогравитационные (смещения масс горных пород по склонам – новообразованным и старым – обвалы, оползни, каменные лавины, сели, осыпи, камнепады). Кроме того, сейсмотектонические дислокации подразделяются по рангу на региональные, зональные и локальные. По мнению автора ранжированию по крупности подчиняются и неразрывно связанные с тектоническими, гравитационно-тектонические сейсмодислокации.

Автором, во избежание тавтологии, в сложных (двух-, трехсловных) названиях палеосейсмодислокаций не используется дополнительный элемент (применяемый повторно – одновременно в двух словах), указывающий на их сейсмогенность, а именно: «сейсмо-«. В таком виде палеосейсмодислокации морфологически подразделяются на тектонические, гравитационно-тектонические и гравитационные (а не на сейсмотектонические, сейсмогравитационные и т.д.).

Сущность палеосейсмогеологического метода заключается в: 1) выявлении, изучении предполагаемых палеосейсмодислокаций и их генетической интерпретации; 2) сейсмологической интерпретации этих объектов, которая включает выяснение вопроса о сейсмогенности дислокаций и корреляцию параметров палеосейсмодислокаций с сейсмическими шкалами. Перечень выполняемых операций в ходе палеосейсмогеологического изучения территории может быть различным. Так, H.A.Флоренсов [1963] представлял его следующим образом: «1. Выявление по геолого-картографическим признакам больших древних сдвигов с последующим анализом новейших движений в них.

2. Поиски и изучение палеосейсмодислокаций геологическими и геоморфологическими полевыми методами. 3. Обнаружение палеосейсмодислокаций по аэроснимкам (выборочно для горных областей и районов крупного промышленного и гражданского строительства).

4. Особое внимание к горным массивам, хребтам и цепям, сопровождаемым дзэргэлэ (форбергами) и другими линейными структурами на бэлях (педиментах).»

В.П.Солоненко [1977] выделял три стадии палеосейсмогеологических исследований: 1) дешифрирование аэрофотоснимков; 2) аэровизуальные наблюдения; 3) наземное обследование и документация.

В модификации В.С.Хромовских [1989] эта схема выглядит несколько иначе: 1) камеральная подготовка – выделение районов вероятного проявления сильных землетрясений; 2) дешифрирование космо- и аэроснимков; 3) аэровизуальные наблюдения на участках предполагаемых сейсмодислокаций и возможных активных сейсмогенных структур; 4) наземное обследование и документация сейсмодеформаций.

При этом предполагаемые палеосейсмодислокации выделяют по сумме признаков; особое значение придается сочетанию (комплексированию) в пределах предполагаемых сейсмогенных структур дислокаций всех морфологических типов: тектонических, гравитационно-тектонических и гравитационных. По мнению автора, комплексирование дислокаций относится преимущественно к процедуре их сейсмологической интерпретации. Хотя следует отметить, что это уточнение имеет в большей мере методическое значение, чем практическое. В реальном палеосейсмогеологическом исследовании процедура сейсмологической интерпретации сначала на интуитивном, затем на логически доказательном уровне сопутствует всем стадиям работы. При выявлении и интерпретации палеосейсмодислокаций используется также ряд критериев, которые, впрочем, затруднительно отличаются от признаков и также непросто расставляются по полочкам последовательности операций в палеосейсмогеологических исследованиях.

Достоинства палеосейсмогеологического метода, согласно А.А.Никонову [1995], определяются следующими возможностями: 1) существенного пополнения региональных каталогов сильных землетрясений; 2) осуществления локализации дополнительных эпицентральных зон выдающихся и значимых сейсмических событий; 3) получения исходных материалов для оценки М<sub>max</sub> (максимальной магнитуды) за длительный срок (до 10 тыс.лет); 4) обнаружения или подтверждения наличия активных сейсмогенерирующих зон или их сегментов, в том числе не выявляемых другими способами; 5) определения средних интервалов повторения высокоамплитудных землетрясений, а иногда и режимов их проявления.

Палеосейсмогеологический метод, как уже отмечалось, является по сути способом расшифровки природных сейсмограмм – палеосейсмодислокаций, записанных и сохраняющихся в течение тысячелетий. Такая информация принципиально не доступна инструментальным методам исследования сейсмичности с их краткосрочным периодом наблюдений (десятки лет), совершенно не сопоставимым по длительности с периодом повторяемости (сотни и тысячи лет) сильнейших и самых опасных землетрясений. Экстраполяция же закона повторяемости, выведенного эмпирически по совокупности несравненно более частых слабых землетрясений (например 10-го энергетического класca), в область наиболее сильных землетрясений с К=16 и более показала свою полную несостоятельность на примерах неудачного прогноза ряда разрушительных землетрясений. Именно краткосрочностью наблюдений определяется наличие принципиальной грубой ошибки в прогнозировании стандартными методами не только повторяемости, но и максимальной силы самых разрушительных землетрясений. В то же время палеосейсмогеологический метод, несмотря на небольшую историю его развития, имеет на своем счету факты удачного прогноза разрушительных землетрясений по месту и по силе. Так, иркутскими сейсмогеологами В.С.Хромовских, В.П.Солоненко и др. [1977] выделена зона палеосейсмодислокаций на южном мегасклоне Большого Кавказа, в которой произошло сильнейшее по магнитуде за всю историю наблюдений на Кавказе Рачинское землетрясение 1 991 г., неожиданное для других сейсмологов. А информация о внушительных палеосейсмодислокациях на Сахалине – следах землетрясений с интенсивностью не менее 9-10 баллов – и о необходимости пересмотра его сейсмического потенциала была опубликована В.К.Кучаем и Г.В.Полуниным [1986] задолго до катастрофического Нефтегорского землетрясения 1 995 г.

#### 2.1.2. Недостатки известной методики

К числу недостатков палеосейсмогеологического метода относят неоднозначность определения силы палеоземлетрясений по некоторым параметрам палеосейсмодислокаций. Задача повышения точности таких оценок решается посредством изучения сейсмодислокаций современных сильных землетрясений с известной магнитудой [Современная..., 1989]. Существенное влияние на точность вычисления магнитуд древних землетрясений оказывает неопределенность в ряде случаев решения вопроса о одноили многоактности формирования отдельных палеосейсмодислокаций и их комплексов – палеосейсмоструктур.

Другим недостатком является невысокая (особенно сравнительно с инструментальными методами) точность датирования палеосейсмодислокаций, определяемая объективными особенностями их строения. В связи с этим ограничиваются, но не исключаются полностью возможности метода в прогнозе сильнейших землетрясений по времени.

К недостаткам метода, по мнению автора, следует отнести также совершенно не упоминаемую в публикациях невысокую производительность традиционного палеосейсмогеологического метода, которая определяет неполноту, фрагментарность и резко различное качество информации для разных частей крупных сейсмоактивных регионов вплоть до наличия «белых пятен». Это характерно даже для таких, казалось бы всесторонне изученных густонаселенных регионов, как Кавказ [Белоусов и др., 1993]. Северо-Восток России до недавнего времени представлял в этом смысле вообще почти сплошное «белое пятно». Этот недостаток весьма существенно влияет на точность прогноза сильных землетрясений даже по месту и максимальной силе.

Трудность достижения максимальной полноты палеосейсмогеологической характеристики крупного региона заключается в том, что древние «природные сейсмограммы» в отличие от инструментальных, сосредоточенных в общеизвестных архивах, рассеяны по большой территории в сотни тысяч квадратных километров. И, таким образом, решающее, ключевое значение в успехе всего комплекса палеосейсмогеологических исследований имеет задача выявления палеосейсмодислокаций.

Сравнительно невысокая производительность традиционной методики определяется тем, что в ней в качестве основного источника информации на стадии поиска палеосейсмодислокаций используются аэрофотоснимки, обладающие довольно высокой разрешающей способностью, обусловленной крупными масштабами (обычно 1:70 000 - 1:25 000), но при этом малой обзорностью, характеризуемой шириной полосы обзора местности фотокамерой от 13 до 6 км. Так, при наиболее распространенном масштабе аэросъемки среднегорий (1:50 000) на одном аэроснимке формата  $18 \times 18$  см изображается участок земной поверхности размером  $9 \times 9$  км. Для полного палеосейсмогеологического обследования, например, такого не самого обширного сейсмоактивного региона, как юговосточная половина сейсмического пояса Черского площадью около 700 тыс.км<sup>2</sup>, потребовалось бы просмотреть свыше 200 тыс. подобных аэроснимков, причем просмотреть внимательно под стереоскопом каждый квадратный сантиметр каждого снимка. А в тех случаях, когда обнаруживаются предполагаемые палеосейсмодислокации, обследование резко замедляется и превращается в тщательный поиск и кропотливое изучение выявленных объектов. Производятся «привязка» объектов к топографической карте, определение размеров, вычисление объемов, предварительная генетическая интерпретация, картирование.

#### 2.1.3. Представление о фотоландшафте

Осознаваемая принципиальная возможность достижения сформулированной цели на пути применения высокопроизводительных космических методов изучения Земли, а также положение проблемы сейсмогеологического дешифрирования на стыке сейсмологии, геологии, геоморфологии, ландшафтоведения, дистанционных методов зондирования вызвали необходимость освоения и адаптации методики и техники дистанционного зондирования. Данная работа выполнена в основном по публикациям Э.Баррета и Л.Куртиса [1979], Я.Г.Каца и др. [1976], А.С.Кучко [1974], Н.П.Лавровой [1983], Н.П.Лавровой и А.Ф.Стеценко [1981], А.В.Садова и А.Л.Ревзона [1979] и других. Она оформилась в виде сводки «Использование космических снимков в геологических исследованиях» [Важенин, 1986]. На базе этих сведений, а также знаний основ геологии, геоморфологии, ландшафтоведения выполнен анализ факторов формирования фототона космических снимков, которые сгруппированы в пять классов: 1) ландшафтные, 2) атмосферные, 3) пространственные, 4) инструментальные, 5) фактор времени. В результате такого анализа сформулировано новое представление о наиболее фотогеничной части географического ландшафта – фотоландшафте, имеющем ярусное строение [Важенин, 1993 *б*].

Фотоландшафт (рис. 4) представляет собой совокупность элементов ландшафта, способных изображаться на космо- и аэроснимках. Идея о ярусности фотоландшафта заимствована из представления С.В.Викторова [1966] о ярусности природно-территориального комплекса. Эндоярус фотоландшафта (рис. 4), включающий коренные горные породы, может непосредственно отображаться на снимках и дешифрироваться с применением прямых дешифровочных признаков (форма, размеры, фототон, структура изображения) лишь при отсутствии маскирования его вышележащими ярусами. Мезоярус включает рыхлые отложения и почвы и также дешифрируется с применением прямых дешифровочных признаков лишь при отсутствии маскирования его верхним ярусами. В состав эктояруса входят растительный покров и гидросфера во всех (пожалуй, даже и в газообразном) фазовых состояниях воды. Компоненты эктояруса могут распознаваться с применением как прямых, так и косвенных (получаемых по связям с легко дешифрируемыми элементами фотоландшафта) дешифровочных признаков.



Рис. 4. Фотоландшафт: 1 – прямые дешифровочные признаки ярусов фотоландшафта (форма, размер, фототон, структура изображения); 2 – косвенные дешифровочные признаки, получаемые по связям объекта с легко дешифрируемыми элементами ландшафта; 3 – рельеф земной поверхности; 4 – водоемы; 5 – древесно-кустарниковый покров; 6 – травянисто-кустарничковый покров; 7 – лишайниковый покров

Объем фотоландшафта непостоянен в пространстве и времени. Он изменяется в зависимости от естественной вариации маркирующих-маскирующих свойств элементов ландшафта в сочетании с переменным пространственным и спектральным разрешением съемочных систем.

Рельеф в фотоландшафте занимает особое место, он как бы входит в состав всех ярусов фотоландшафта. В широком смысле и эктоярус обладает рельефом. Фундаментальное свойство рельефа – наилучшее его изображение из всех элементов ландшафта на космо- и аэроснимках – обеспечивается светотеневым рисунком разноориентированных склонов и стереоскопичностью снимков. Из этого следует вывод о стереометодах как о наиболее продуктивном пути природоведческого дешифрирования космо- и аэроснимков с целью получения информации не только о рельефе, но и о геологическом строении и даже об объектах эктояруса – по закономерным связям их с рельефом. Полученный вывод кажется, на первый взгляд, тривиальным, однако сохраняющаяся тенденция развития дистанционных методов в направлении создания сложных и дорогостоящих систем многозональной съемки и дешифрирования свидетельствует об обратном.

Стимулом развития систем многозонального дешифрирования послужила заманчивая перспектива скорого решения задачи автоматизации сложного процесса дешифрирования на основе фотометрических характеристик снимков – единственно поддающихся машинному распознаванию из всего многообразия дешифровочных признаков, но и то лишь для простейших объектов. Ярусность фотоландшафта и доминирование в нем высококонтрастного (особенно на горных территориях) светотеневого рисунка, создаваемого рельефом, делают проблему многозонального нестереоскопического дешифрирования чрезвычайно сложной и неоднозначной. При стереоскопическом восприятии задача «изъятия» из состава фотоландшафта светотеневой маски, создаваемой рельефом, решается дешифровщиком на интуитивном уровне без каких-либо затруднений. Существенным недостатком систем автоматического дешифрирования является также то, что из них исключается непревзойденный пока инструмент для распознавания образов – мозг дешифровщика.

#### 2.1.4. Представление о литосборных бассейнах

Неразработанность и отсутствие специально созданных и адаптированных для палеосейсмогеологических целей разделов геоморфологии, общей и динамической геологии не способствуют достижению высокого уровня доказательности геологической и сейсмологической интерпретации предполагаемых палеосейсмодислокаций, а также ограничивают повышение степени формализации и технологичности процесса исследования. Разработка и палеосейсмогеологическая адаптация представления о литосборных бассейнах призваны способствовать устранению этих недостатков.

Литосборный бассейн можно рассматривать в качестве конкретного примера известных эрозионно-денудационных систем [Борсук, Симонов, 1977; Симонов и др., 1981 и др.]. Литосборным бассейном (ЛСБ) называется часть земной поверхности, с которой обломочный материал поступает в данный створ [Важенин, 1982, 1985 *a*, *б*, 1995 *a*]. Это понятие получено по аналогии с известными представлениями о водосборном бассейне, а также о ледосборе и лавиносборе. Перенос вещества в пределах литосбора в твердом виде наделяет его специфическими свойствами, не присущими водосбору, например такими, как изменение площади ЛСБ в зависимости от крупности обломочного материала, преодоление обломочным материалом водоразделов посредством эоловой, ледниковой, лавинной, обвальной транспортировки. Крупные ЛСБ включают в себя в качестве элементов целые речные системы. Элементарные ЛСБ могут состоять из одного склона, русла или даже их частей.

Величина и границы ЛСБ определяются локализацией замыкающего створа либо в устьях водосборных бассейнов, либо в избранных для изучения точках, а также орографией, крупностью способного мигрировать в данных динамических условиях обломочного материала, набором процессов, участвующих в его транспортировке и длительностью промежутков времени, для которых производится ограничение площади литосбора. Для самого мелкого материала площадь литосбора за все время действия ЛСБ имеет верхним пределом величину площади водосборного бассейна (без учета эолового, ледникового, лавинного, обвального переноса). Для каждого ЛСБ существует предельная крупность обломочного материала, площадь которого равна нулю. Литосборные бассейны характеризуются и сравниваются посредством множества морфологоморфометрических, динамических и иных параметров: площадь ЛСБ; коэффициент компактности; гипсографическая кривая; эквивалентный прямоугольник Гравелиуса; порядок ЛСБ, расход наносов; режим функционирования, определяемый набором процессов, участвующих в транспортировке обломочного материала.

Динамический каркас литосбора составляют оси ЛСБ. По рисунку осей литосбора в плане выделяются нормальные или концентрирующие ЛСБ (с конвергентными осями) и псевдолитосборы: эквидистантные и рассеивающие (с эквидистантным и дивергентным рисунком осей). По осям ЛСБ располагаются и измеряются дистанции дезинтеграции (ДД) обломочного материала. ДД – дальность транспортировки обломков горных пород от коренного источника до места их полного разрушения с образованием мономинеральных зерен размерности песка-алеврита. Участки разрывов ДД на осях литосбора пассивны в отношении транспортировки и дезинтеграции обломочного материала. На активных и пассивных отрезках осей ЛСБ, при прочих равных условиях, формируются разные гранулометрические спектры рыхлых отложений.

Процессы, участвующие в транспортировке обломочного материала в пределах литосборных бассейнов можно несколько утрированно представить в виде их «эстафетного» чередования в системе из водоразделов, склонов и долин. Этот ряд процессов (и агентов) транспортировки для варианта перигляциального морфолитогенеза (рис. 5) представляется следующим: 1) эоловый перенос (действуют на водоразделах, склонах и частично в долинах); 2) делювиальный смыв (на части водоразделов, на склонах, частично в долинах); 3) курумы (на части водоразделов, на склонах, частично в долинах); 4) ледники (на части водоразделов, на склонах, частично в долинах); 5) обвалы, осыпи, оползни, лавины (на склонах, частично в долинах); 6) дефлюкция, солифлюкция (на склонах, частично в долинах); 7) сели (частично на склонах, частично в долинах); 8) временные водотоки (частично на склонах, частью в долинах); 9) постоянные водотоки, чередующиеся по нарастанию порядков долин.



Рис. 5. Представление о эстафетном чередовании процессов, участвующих в транспортировке обломочного материала, использованное при построении карты режимов функционирования литосборных бассейнов Многие важные характеристики ЛСБ поддаются картографическому отображению. На рис. 6, 7, 8 представлены некоторые образцы разных типов карт литосборов. Они построены без проведения специализированных исследований и призваны продемонстрировать элементы методики анализа литосборов на конкретной, изученной автором в палеосейсмогеологическом отношении территории с разнообразным и в некоторой мере типичным для Северо-Востока России среднегорным рельефом (рис. 9).

На карте порядков и осей ЛСБ (рис. 6) изображены водотоки и их водоразделы, ранжированные, как те, так и другие по порядкам. Два литосбора первого порядка образуют, «сливаясь», ЛСБ второго порядка; два ЛСБ второго порядка, «сливаясь», дают ЛСБ третьего порядка и т.д. Границы литосборов дифференцированы по степени выраженности в рельефе. На этой же карте нанесены оси ЛСБ. Они получены вычерчиванием перпендикуляров (нормалей) к изогипсам, восстановленных из равноудаленных друг от друга точек на главных осях литосборов. В рисовке осей хорошо выделяются концентрирующие и псевдолитосборы. На рис. 7 демонстрируется способ изображения разнопорядковых водотоков, использованный при построении карты порядков и осей литосборов.



Рис. 6. Порядки и оси литосборных бассейнов: 1 – элементарные оси литосбора в пределах литосборных бассейнов І-го порядка; 2 – водотоки, играющие роль главных осей литосбора в одноранговых им литосборных бассейнах (способ их изображения представлен на рис. 7); 3-5 – очень четкие (3), четкие (4) и нечеткие (5) границы ЛСБ І-го порядка; 6-8 – то же для ЛСБ ІІ-го порядка; 9-11 – то же для ЛСБ ІІІ-го порядка; 12-14 – то же для ЛСБ ІV-го порядка

На карте режимов функционирования ЛСБ (рис. 8) шириной полос с разной штриховкой показана экспертно оцениваемая доля каждого из процессов, участвующих в транспортировке обломочного материала в пределах элементарных литосборов. Причем на ней характеризуются как нормальные литосборы первого порядка, так и псевдолитосборы: дивергентные и эквидистантные.

Разработаны и другие карты литосборов: осей ЛСБ; дистанций дезинтеграции обломочного материала; минимальной крупности обломков горных пород, площадь литосбора которых равна нулю; площадей литосбора обломочного материала различной крупности. Для представления некоторых из них требуется использование цвета, что исключено в данной публикации, другие не вполне согласуются с ее тематикой.



Рис. 7. Способ изображения ранжирования водотоков по порядкам (I-XI порядки водотоков). Первый порядок имеют элементарные водотоки, не обладающие притоками и изображаемые на топокартах м-ба 1:100 000. Порядок возрастает на одну ступень при слиянии одноранговых водотоков



Рис. 8. Процессы, участвующие в транспортировке обломочного материала и определяющие режимы функционирования литосборных бассейнов І-го порядка: 1 – делювиальный смыв; 2 – курумы; 3 – обвальноосыпные и лавинные; 4 – дефлюкция и солифлюкция; 5 – селевые потоки; 6 – временные водотоки; 7 – границы между участками протяженных псевдолитосборов, существенно различающимися по режимам функционирования; постоянные водотоки и границы ЛСБ ранжированы так же, как на рис. 6



**Рис. 9. Мельдекский суброй роя Туманы в Северном Приохотье:** 1 – четвертичные, преимущественно ледниковые, водно-ледниковые и аллювиальные валунники, галечники, пески; 2 – миоценовые угленосные пески-супеси; 3 – кислые эффузивы наяханской свиты верхнего мела; 4 – вулканомиктовые песчаники монкинской свиты средней юры; 5 – триасово-юрские аргиллиты; 6 – позднемеловые граниты; 7 – щебнистоглыбовые обвальные отложения; 8 – обвально-осыпные конусы выноса; 9 – пролювиально-селевые конусы выноса; 10 – предполагаемые сейсмотектонические расщелины; 11 – бровки стенок срыва крупных обвалов; 12 – свежие, предположительно сейсмогенные, сбросовые уступы; 13 – свежие разрывные нарушения без заметной вертикальной составляющей; 14 – крупные тектонические нарушения; 15 – валы позднеплейстоценовых конечных морен; 16 – геологические границы и элементы каркаса рельефа; 17 – водопады; палеосейсмообвалы: *В-3* – Водопадный-3, *М-0,1* – Мельдек-0,1, *М-3* – Морионовый-3 По режиму функционирования литосборов, определяемому набором процессов транспортировки обломочного материала, все ЛСБ делятся на две группы: комплексные (с полным набором для данных региональных условий); редуцированные ( с неполным набором). Группу редуцированных составляют большей частью малые, элементарные литосборы. Комплексные ЛСБ – преимущественно крупные – высокопорядковые. Среди комплексных и редуцированных литосборов особо выделяются деформированные каким-либо мощным быстродействующим процессом (или группой процессов) ЛСБ. Деформированные ЛСБ могут быть как низко-, так и высокопорядковыми. По виду деформирующего процесса литосборы бывают обвальными, оползневыми, осыпными, лавинными, селевыми, ледниковыми, вулканическими и разным образом комбинированными из нескольких процессов. Деформированные ЛСБ подразделяются на современные (деформируемые) и древние (реликтовые). Для реликтовых ЛСБ адаптация к современному режиму функционирования еще не завершилась. Адаптация реликтово деформированных ЛСБ может происходить как сравнительно замедленно, так и ускоренно.

Медленная адаптация литосборов свойственна, например, областям разгрузки древних исчезнувших ледников (в современных створах древнеледниковых литосборов), характеризующихся резким ослаблением эрозии на участках холмисто-западинного рельефа конечно-моренных комплексов, сложенных водоупорными суглинистыми валунниками. Бывший единым древнеледниковый литосбор разбивается здесь на множество мелких – элементарных, приуроченных к каждой бессточной западине. Поверхностный сток воды, а вместе с ним и сток наносов возникают лишь в местах подпруды многоводных водосборов. Подобные малоактивные литосборы способны сохраняться в течение тысячелетий. Сравнительно быстро идет размыв боковых морен, существенно менее водоупорных, чем конечные, и сформировавшихся в виде тромбов на активных участках осей до- и постледникового литосбора.

Резкая активизация литосбора происходит при его обвальной деформации. Обвальные, существенно глыбовые, с малым количеством заполнителя, тромбы на осях литосбора отличаются от древнеледниковых высокой фильтрационной способностью. Сток даже таких довольно многоводных рек, как Мургаб на Памире, Юпшара и Амткел на Кавказе сквозь завальные плотины Усойскую (у оз. Сарез), Рицинскую и Амткелскую – осуществляется только посредством фильтрации, без перелива через запруду. При этом довольно быстро происходит суффозионно-эрозионный размыв обвальных запруд с формированием сначала суффозионной ложбины над каналом стока, как это наблюдается на примерах сбросообвалов Улахан-Чистай-300<sup>2</sup> и Чул-300 (разд. 2.7., 5.1.), а затем суффозионно-эрозионного каньона, подобного Чульскому (разд. 4.3.2., 5.1.2.).

При сильных сейсмических воздействиях на горные литосборы в них, как показывает опыт обследования плейстосейстовых зон современных сильных землетрясений [Гоби-Алтайское..., 1963; Живая тектоника..., 1966; Чигарев, Шивков, 1977, 1981; Попова, Левкович, 1981; Рогожин и др., 1990; Рогожин, Богачкин, 1993; Богачкин и др., 1993; Чедия и др., 1993; Корженков, Омуралиев, 1993; и др.], формируются целые рои сейсмодислокаций разных морфологических типов: гравитационных, тектонических, гравитационно-тектонических. При этом в процесс литосбора залпово вовлекается огромное количество обломочного материала. Он отлагается на осях литосбора в виде обвальных, осыпных, оползневых, селевых, лавинных тромбов. Кроме того возникают новые зоны дробления и подновляются старые в коренных склонах и водоразделах, которые становятся уязвимыми для размыва даже маломощными временными водотоками.

Деформация тальвегов сбросовыми и взбросовыми уступами активизирует и замедляет эрозию на разных участках осей литосбора. Несмотря на формирование многочисленных тромбов на осях литосбора и даже благодаря этому, транспортировка обломочного материала в пределах сейсмически возбужденного ЛСБ в целом резко активизируется, но при этом становится заметно дифференцированной по активным и пассивным участкам осей. Из существенно глыбовых обвальных тромбов, благодаря аблювиальному эффекту, очень интенсивно вымывается мелкоземистый и более крупный заполнитель, который откладывается в непосредственной близости от участков размыва в

 $<sup>^{2}</sup>$  Здесь и далее число в названии гравитационной дислокации означает ее объем в млн м<sup>3</sup>. Объем 300 млн м<sup>3</sup> имеет куб с ребром 670 м.

виде обширных конусов выноса, шлейфов и мощных аккумулятивных толщ в подпрудных бассейнах седиментации. После суффозионно-эрозионного размыва завальных плотин отложения подпрудных бассейнов седиментации и аккумулятивные шлейфы из продуктов размыва плотин также подвергаются размыву, сопровождаемому временным отложением обильного «лишнего» обломочного материала в нижних звеньях гидросети. При этом возможно формирование сейсмогенно стимулированных террасовых уровней. На шлейфах из продуктов размыва тромбов обычно образуются крупные наледи. Такие наледи, а также аномально крупные и многочисленные обвально-осыпные и пролювиально-селевые конусы выноса служат хорошими дополнительными индикаторами сейсмически активизированных ЛСБ. Анализ литосборных бассейнов (ЛСБ-анализ) позволяет обнаруживать и аргументированно интерпретировать сейсмогенную составляющую на фоне медленно (эволюционно) формирующихся отложений и рельефа.

#### 2.2. Предпосылки для синтеза новой методики

Палеосейсмогеологический метод [Солоненко, 1962], или «палеосейсмогеологический подход» [Флоренсов, 1960], уже при его разработке был не отдельным частным методом, а совокупностью методов, приемов, операций. Так, в него бесспорно включается целая серия геологогеоморфологических методов: полевых исследований, датирования дислокаций, дешифрирования аэроснимков, логического анализа картографических и литературных источников информации, корреляции параметров разных морфологических типов сейсмодислокаций с сейсмическими шкалами. Таким образом, он уже тогда заслуживал статуса суммы методов, то есть методики или методологии. Тем более оправдан статус методики для ее новой модификации, включающей дополнительные новые компоненты: специализированный анализ космоснимков, ЛСБ-анализ и др.

Кажущаяся простота палеосейсмогеологической методики в изложении ее основоположников побудила многих представителей научных направлений, стыкующихся в палеосейсмогеологии, без достаточного «погружения» в проблематику смежных отраслей знаний, заниматься попутно с другими полевыми исследованиями, поисками и изучением палеосейсмодислокаций. Результатом этого становилось низкое качество получаемой информации, снижение доверия к ней и к палеосейсмогеологической методике вообще. Совершенствование методики – один из путей устранения указанных недостатков.

Предпосылками для создания новой методики послужили уже охарактеризованные ее основания: традиционная методика; ЛСБ-анализ; вывод из представления о фотоландшафте, в соответствии с которым стереоскопическое дешифрирование рельефа на космоснимках расценивается как наиболее продуктивный путь дистанционных природоведческих исследований. Другими предпосылками явились: наличие в природе объектов-индикаторов древних эпицентральных зон (крупных гравитационных сейсмодислокаций) и подходящих для задачи их выявления космоснимков.

Традиционная сфера применения космической информации для сейсмогеологических целей предполагает дешифрирование разломов по мелко- и среднемасштабным космоснимкам на первых этапах работ. Эта процедура, в частности, отражена в упомянутой палеосейсмогеологической методике в редакции В.С.Хромовских [1989]. При этом по пространственному совпадению эпицентров землетрясений (современных и древних) с зонами разломов выявляют их существенно малую сейсмоактивную часть. Решение обратной задачи – по известной сети разломов определить зоны, где землетрясения возможны, при отсутствии данных по эпицентрии, – представляется неоднозначным и весьма проблематичным.

Анализ фотогеничности разных морфологических типов палеосейсмодислокаций показывает, что лучше всего на космоснимках могут изображаться и дешифрироваться крупные гравитационные дислокации. Констатация этого имеется в сейсмогеологической литературе [Хромовских, Никонов, 1984]. Более того, известны попытки использования для определения параметров древних землетрясений только гравитационных дислокаций. Однако такие методы и результаты справедливо признаются ненадежными. Из опыта изучения плейстосейстовых зон сильных современных землетрясений с интенсивностью 8 и более баллов известно обычное, а порой и исключительное присутствие гравитационной составляющей в комплексе сейсмодислокаций. В ассортименте отечественных серийных космических материалов, в том числе на территорию сейсмического пояса Черского, имеются спектрозональные стереоскопические космоснимки формата 30×30 см с масштабом около 1:280 000, которые обладают реальным пространственным разрешением на местности по горизонтали в первые десятки метров. Вертикальное их разрешение приближается к горизонтальному. Спектральная чувствительность позволяет, например, различать лиственничники и заросли кедрового стланика. По этим показателям, а также по высокой степени обзорности, многократно более высокой, чем у аэроснимков, такие космоснимки оптимально соответствуют задаче высокопроизводительного поиска гравитационных дислокаций как индикатора древних эпицентральных зон.

Перечисленные предпосылки позволили сформулировать из известных в принципе элементов новую модификацию палеосейсмогеологической методики.

#### 2.3. Алгоритм новой методики

Новая палеосейсмогеологическая методика [Важенин, 1989 *а*, *б*, *в*, 1992 *б*] включает несколько стадий.

1). Сплошное (тотальное) дешифрирование по спектрозональным космоснимкам (или их информационным аналогам) с пространственным разрешением в первые десятки метров, под стереоскопом (с увеличением до пяти крат<sup>3</sup>) горных частей всей подлежащей палеосейсмогеологическому изучению территории с целью обнаружения, картирования (в масштабах 1:1 500 000 - 1:500 000 и крупнее), предварительной интерпретации и оценки величины крупных (объемами более 1 млн м<sup>3</sup>) гравитационных дислокаций (преимущественно скальных обвалов). При этом выявляются также и крупнейшие, предположительно сейсмогенные, тектонические и гравитационно-тектонические дислокации, маркируемые гравитационными.

2). Выборочное детальное изучение в стереомодели по аэроснимкам участков с повышенной концентрацией гравитационных дислокаций и участков с наличием крупнейших гравитационных дислокаций, а также густонаселенных мест с крупными, сейсмически уязвимыми, инженерными сооружениями. Это производится с целью: выявления и картирования (в масштабах 1:200 000 - 1:100 000 и крупнее) всех гравитационных дислокаций и близких к ним образований (мелкие обвалы, обвально-осыпные, пролювиально-селевые и лавинные конусы выноса, шлейфы подсклоновых осыпей, селевые отложения); уточнения их сейсмологической интерпретации; оценки величины; дифференциации гравитационных дислокаций по возрасту на основе различий в степени морфологической постгенетической эволюции, развитости почвенно-растительного и лишайникового покрова, соотношения с иными генетическими типами отложений. На данной стадии обнаруживаются и картируются достаточно крупные для разрешения аэроснимков тектонические и гравитационно-тектонические предполагаемые сейсмодислокации, маркируемые гравитационными.

3). Выборочное полевое и аэровизуальное изучение и заверка наиболее интересных участков с закартированными дислокациями, сопровождающееся: фотодокументацией (предпочтительно стереоскопической, разномасштабной и разноракурсной); анализом морфологии и вещественного состава отложений (как сейсмогравитационных, так и подстилающих и перекрывающих) и дислоцированных тел; анализом кинематики и динамики дислокаций; анализом признаков постгенетической эволюции дислокаций, радиоуглеродным, дендрохронологическим, спорово-пыльцевым, лихенометрическим опробованием дислокаций для их датирования. На этой стадии также выявляются и документируются тектонические и гравитационно-тектонические предполагаемые палеосейсмодислокации, маркированные гравитационными и недоступные разрешению аэроснимков.

4). Генетическая и сейсмологическая интерпретация выявленных дислокаций и территории, включающая корректировку и обобщение данных, палеосейсмогеологическое районирование территории. По параметрам дислокаций оцениваются параметры породивших их древних землетрясений. На основе дифференциации дислокаций по возрасту выполняется оценка повторяемости сильней-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> При более высоких увеличениях прирост информации прекращается из-за заметной зернистости изображения космоснимков на фотобумаге.

ших землетрясений. Выделяются маркированные сейсмодислокациями наиболее активные на современном этапе морфоструктурные блоки и разломы. Палеосейсмогеологические данные сопоставляются с современной сейсмичностью, рельефом и геологическим строением. Выявляются закономерности строения и размещения палеосейсмодислокаций. Производится геодинамический анализ истории развития маркированных сейсмодислокациями морфоструктур, определяется их роль в сейсмической активности территории и в формировании рельефа и рыхлых отложений.

#### 2.4. Отличия новой методики от традиционной

Довольно обстоятельное и потому громоздкое изложение алгоритма новой методики вуалирует существенные отличия ее от традиционной, что вызывает необходимость подчеркнуть их особо. Принципиально новыми существенными элементами в составе предлагаемой методики являются лишь два из множества заключенных в алгоритме. В несколько ином изложении, чем приведенное ранее [Важенин, 1993 г], один из них выглядит так: «...на первой стадии палеосейсмогеологичесих исследований поиск древних эпицентральных зон производят по стереомодели на серийных спектрозональных стереоскопических космоснимках с разрешением на местности в первые десятки метров»; второй: «...в качестве индикаторов древних эпицентров используют рои крупных (объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup>) гравитационных дислокаций (преимущественно скальных обвалов)». Совокупность этих двух (укрупненных) признаков определяет успех в достижении основной поставленной цели, заключающейся в резком повышении производительности поиска и полноты выявления палеосейсмосейсмогейсмогейсмогейсмоносновной цели, заключающейся в резком повышении производительности поиска и полноты выявления палеосейсмосейсмосейсмосейсмоносновной методики либо уже использовались в традиционной, либо имеют вспомогательное или производное значение по отношению к упомянутым основным.

Впрочем возможен и иной, более обстоятельный вариант анализа существенных отличительных признаков, полнее соответствующий процедуре подобного анализа в патентоведении. В таком случае число их заметно увеличивается, а детализация характеристики возрастает. Так, в качестве самостоятельных могут квалифицироваться следующие признаки: 1) поиск палеосейсмодислокаций проводят на первой стадии работ; 2) поиск выполняется тотально (всех дислокаций на всей исследуемой площади); 3) поиск производится дешифрированием космоснимков; 4) дешифрирование осуществляется по спектрозональным стереокосмоснимкам; 5) используют космоснимки, обладающие (оптимальным) разрешением на местности – в первые десятки метров; 6) космоснимки дешифрирование изображения до 5 крат; 8) в качестве индикаторов комплексных роев палеосейсмодислокаций и древних эпицентральных зон (на первой стадии работ) используют гравитационные палеосейсмодислокации; 9) для этого выбирают крупные гравитационные дислокации объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup>; 10) аэрофотоснимки для поиска и изучения палеосейсмодислокаций используют выборочно – только на тех участках, где посредством дешифрирования космоснимков были обнаружены гравитационные дислокации.

Кроме того, в состав новой методики включаются анализ литосборов, полевая фоторегистрация и комплексное дешифрирование фотоматериалов (разд. 3., 4.), также обеспечивающие прирост производительности поиска палеосейсмодислокаций и иной положительный эффект и, по сути, также могут рассматриваться в качестве элементов совокупности новых существенных отличительных признаков.

Такой совокупности существенных отличительных признаков нет ни у одной из известных палеосейсмогеологических методик, как в сформулированном виде, так и в несформулированном, но которую можно получить, производя, выражаясь «патентным языком», конструирование прототипа из фрагментов текстов, содержащих существенные отличительные признаки. Выполненная процедура патентной экспертизы, в которой наилучшим образом разработан анализ новизны и наличия существенных отличительных признаков новых способов и устройств сравнительно с аналогами и прототипами, позволяет судить о присутствии в предлагаемой методике новой совокупности существенных отличительных признаков, обеспечивающей появление положительного эффекта.

В данном случае положительный эффект весьма ощутим – повышение производительности поиска палеосейсмодислокаций в десятки раз по сравнению с известными методиками (способами-

аналогами и прототипом). Наличие хотя бы одного нового существенного отличительного признака в предлагаемом техническом решении, обеспечивающего появление положительного эффекта, расценивается в патентоведении как достаточное основание для признания его выполненным на уровне изобретения, то есть для признания его новым устройством, способом (методом) получения положительного эффекта, превышающего известный уровень. В рассматриваемом случае можно выделить от двух до 10 и более существенных отличительных признаков.

Предлагаемая палеосейсмогеологическая методика обладает всеми признаками, оцениваемыми с патентоведческих позиций, для квалификации ее в качестве новой самостоятельной методики, называемой, например тотальной, хотя она принципиально, может быть, не сильно отличается от традиционной. Но точно так же подавляющее большинство изобретений не имеет принципиальных отличий от прототипов, а как бы включает их в себя и, тем не менее, получает статус изобретения. Исключение составляют так называемые пионерные изобретения, для которых трудно подобрать аналоги и прототипы.

Для автора приемлемы оба возможных таксономических ранга предлагаемой методической разработки. Принципиально она является модификацией традиционой и включает большую часть ее существенных признаков, формально – отвечает всем требованиям для того, чтобы называться самостоятельной методикой.

В связи с изложенным возникает вопрос – почему данная разработка, несмотря на то, что соответствует требованиям, предъявляемым к изобретениям, не защищена охранным документом, то есть не запатентована? Ответ: 1) в начале разработки данной методики не возникло понимание ее патентоспособности и потому в первых публикациях была раскрыта сущность технического решения, что явилось препятствием (отсутствие новизны) для возможного последующего патентования; 2) кроме того, подобные методики (способы, технологии), по-видимому, относятся к числу неконтролируемых, следовательно, по получаемому с их помощью продукту нельзя судить о использованной для этого технологии, и патентование их обычно бывает нецелесообразным.

# 2.5. Признаки и критерии для выявления и генетической интерпретации дислокаций

Уверенному обнаружению и интерпретации при использовании как дистанционных, так и полевых методов поддаются лишь палеосейсмодислокации локального ранга. Выделение региональных и зональных сейсмодислокаций затруднительно даже для современных землетрясений. Однако эти крупнейшие из сейсмодеформаций возникают при самых сильных землетрясениях и всегда сопровождаются огромным количеством дислокаций локального ранга, как это было, например, при Гоби-Алтайском и Муйском землетрясениях 1957 г., при Аляскинском землетрясении 1964 г. В принципе региональные и зональные палеосейсмодислокации могут выявляться при тотальном и весьма трудоемком изучении всех локальных сейсмодислокаций на достаточно больших площадях. В связи с изложенным все внимание на начальных этапах тотального палеосейсмогеологического изучения крупных регионов должно быть сосредоточено на локальных палеосейсмодислокациях. Именно к локальному рангу палеосейсмодислокаций относится предлагаемое описание их основных признаков и критериев выявления и интерпретации. Дифференциация частных характеристик палеосейсмодислокаций на признаки выявления и критерии интерпретации невозможна даже в методическом смысле, потому что каждая такая характеристика выступает как в той, так и в другой роли на разных стадиях исследования. На стадии поиска и выявления – в большей мере в качестве интуитивно воспринимаемого признака, на стадии изучения-сейсмической интерпретации – как логически формулируемый критерий.

Наиболее убедительными признаками и критериями палеосейсмодислокаций, в соответствии с принципом актуализма, справедливо считают те, которые присущи современным сильным землетрясениям с интенсивностью 8 и более баллов. Бессмысленно признавать невозможным для древних землетрясений создавать такие же сейсмодислокации, что возникают при землетрясениях ныне. Все ведущие палеосейсмогеологи относят к числу основных признаков-критериев «резкость» формы, «свежесть» дислокаций всех морфологических типов сравнительно с фоновыми существенно более плавными формами рельефа. Такой морфологический контраст в пластике сейсмогенных, с одной стороны, и эволюционных (медленно образующихся) элементов рельефа – с другой – определяется несоизмеримо различными скоростями их формирования: это секунды и минуты в первом случае и сотни и тысячи лет – во втором. С увеличением возраста палеосейсмодислокаций их морфологический контраст с фоном уменьшается, а это затрудняет выявление и сейсмическую интерпретацию той их части, которая подходит к грани исчезновения из природной «сейсмогеологической летописи», что оставляет для изучения только хорошо выраженную в рельефе относительно молодую (в основном голоценовую) часть, возникавших когда-либо палеосейсмодислокаций.

В геологической истории горных регионов постоянное стирание старой палеосейсмогеологической информации осуществляют, наряду с медленными эволюционными процессами выветривания, склоновой денудации и эрозии, также и сами (последующие) землетрясения. Слабые и средние землетрясения производят это без записи новой информации. Так, за тысячелетние периоды формирования горных склонов на сейсмоактивных территориях они подвергаются воздействию десятков и сотен средних и слабых землетрясений [Полунин, 1989; Важенин, 1990], но даже слабые толчки вызывают многократное увеличение скорости (с 0,4-5,6 до 30 мм/год) смещения склонового чехла [Макаров, 1988]. Вследствие сейсмогенного ускорения склоновых процессов тектонические палеосейсмодислокации могут быть как срезаны (денудированы), так и погребены даже за один-два приема. Сильные землетрясения помимо эффективного стирания старой палеосейсмогеологической информации производят еще и запись новой. В таких условиях из всех морфологических типов палеосейсмодислокаций лучше сохраняются крупные гравитационные дислокации, поскольку с высокодинамичных склонов обвальные массы зачастую перемещаются на более консервативные, в отношении денудационно-аккумулятивного развития, элементы рельефа: подножья склонов в бортах впадин и широких реликтовых (например, древнеледниковых) долин.

В число значимых признаков-критериев тектонических сейсмодислокаций включают также несогласованность их с рельефом. Для сейсмогенных разломов характерно, например, пересечение разных форм рельефа (водоразделов, склонов, долин) под произвольными углами, не совпадающими с ориентировкой элементов эрозионного расчленения. Существенным для сейсмогенных разломов считают наличие в плоскостях смещения зеркал скольжения.

Абсолютному большинству сильнейших современных землетрясений свойственно сочетание (комплексирование) в их плейстосейстовых зонах дислокаций разных морфологических типов: тектонических, гравитационно-тектонических и гравитационных. Особенно часто в качестве критерия сейсмогенности тектонических дислокаций используют наличие при них гравитационных, то есть маркирование тектонических дислокаций гравитационными. Здесь уместна биологическая аналогия: чем серьезнее рана, тем более вероятно сопровождающее ее обильное кровотечение.

Важным признаком-критерием сейсмогенности дислокаций следует считать также установленную для палеосейсмодислокаций Северо-Востока России [Важенин, 1993 а, в, г; Важенин и др., 1997] и подтверждаемую результатами изучения современных плейстосейстовых зон, закономерность пространственного размещения сейсмодислокаций в виде роев, поясов и зон на фоне их полного отсутствия на обширных смежных горных территориях co сходным геологогеоморфологическим строением в том числе с достаточным обвальным потенциалом (разд. 2.7.1.). Рои палеосейсмодислокаций представляют собой пространственно единые и обособленные комплексы деформаций (рельефа и горных пород) разных морфологических типов (гравитационных, тектонических и гравитационно-тектонических), возникших, предположительно, в результате одного либо нескольких сильных древних (досейсмостатистических) землетрясений (рис. 3).

Размеры роев измеряются десятками, а порой и сотнями километров. Количество отдельных дислокаций в роях достигает десятков и сотен штук. Посредством временной и пространственной дифференциации дислокаций в отдельных топографически единых роях возможно выделение одноактных суброев [Важенин, 1993 в; Vazhenin, 1994 b]. По содержанию это понятие близко к известному представлению о сейсмогенной структуре, но больше его по объему, так как может включать несколько сейсмоструктур. Суброй также может состоять из одной или нескольких сейсмоструктур.
Важным аргументом сейсмогенности палеосейсмодислокаций считается, с позиций актуализма, тот факт, что комплексные рои сейсмодислокаций являются обычным результатом сильнейших современных землетрясений с интенсивностью 8 и более баллов (Гоби-Алтайского 1 957 г., Муйского 1 957 г., Аляскинского 1 964 г., Дагестанского 1 970 г., Сан-Фернандо 1 971 г., Спитакского 1 988 г., Рачинского 1 991 г. и др.), и в то же время не известен ни один случай несейсмогенного их формирования даже в условиях весьма динамичных современных тектонических движений, например, в зоне давно и пристально изучаемого разлома Сан-Андреас в Калифорнии. При этом только вследствие одного землетрясения здесь (Сан-Фернандо 1 971 г.) в горах Сан-Габриель в окрестностях Лос-Анджелеса образовался рой сейсмодислокаций с тысячами обвалов и оползней [Болт и др., 1978].

Еще одним доказательством сейсмогенности дислокаций служит выявленная [Важенин, 1989 *в*, 1990, 1992 *б*] закономерность расположения почти 90% роев палеосейсмодислокаций сейсмического пояса Черского в контурах и особенно на контактах магматических тел, преимущественно интрузивов (около 80%), с учетом тяготения к интрузивам и эпицентров современных землетрясений региона – большей частью слабых и средних [Имаев и др., 1990].

Результаты тотального палеосейсмогеологического изучения сейсмического пояса Черского [Важенин, 1992 б, 1993 г; Важенин и др., 1997] позволяют отнести к числу вспомогательных признаков и критериев сейсмогенности различные, в большей мере субсейсмогенные образования (крупные пролювиально-селевые и пролювиальные конусы выноса, наледные поляны), когда они встречаются, как и сейсмогенные деформации, в виде роев. Эти образования часто более заметны, чем собственно сейсмогенные и могут использоваться в качестве эффективных индикаторов на стадии поиска.

# 2.6. Современные и древние сейсмодислокации

#### 2.6.1. Хронологические рубежи палеосейсмодислокаций

Является общепринятым выделение из состава всей совокупности сейсмодислокаций, имеющихся на сегодня на земной поверхности и в доступных для наблюдения недрах, их древней – досейсмостатистической части – палеосейсмодислокаций. При этом в сейсмостатистическую часть сейсмодислокаций включаются те из них, которые возникли вследствие сильных сейсмических событий, зарегистрированных и изученных инструментально и/или по макросейсмическим проявлениям. В этой группе выделяют сейсмодислокации современных или актуальных землетрясений, регистрируемых и изучаемых современными инструментальными методами, и сейсмодислокации исторических землетрясений, информацию о которых получают главным образом из письменных и в меньшей мере из фольклорных устных источников прошлого.

Разная достоверность источников информации об исторических землетрясениях обусловливает разделение их и связанных с ними сейсмодислокаций на собственно исторические (включаемые в сейсмические каталоги без особых сомнений) и, если так можно сказать, «палеоисторические». Гдето между ними, по-видимому, и следует проводить временную границу между сейсмостатистическими и досейсмостатистическими сильными землетрясениями и, соответственно, их сейсмодислокациями.

Различная по длительности история инструментальных сейсмологических наблюдений и неравенство в возрасте письменных цивилизаций в отдельных регионах определяют подвижность хронологического рубежа между сейсмодислокациями и палеосейсмодислокациями. Так, для сейсмического пояса Черского (в разных его частях) он составляет от первых десятков до порядка 150 лет, а для Китая – до 3 тыс. лет. Следует отметить также, что хронологический рубеж между современными и древними землетрясениями (даже сильными) будет «моложе», чем рубеж между сейсмодислокациями и палеосейсмодислокациями. Это объясняется тем, что не все сильные землетрясения достаточно сильны для образования дислокаций, а сейсмодислокации являются следами не просто сильных, но сильнейших землетрясений, которые лучше запечатлеваются не только в геологической «летописи», но и в памяти человечества, и труднее из нее удаляются с течением времени. Нижнему временному рубежу палеосейсмодислокаций в его «привязке» к хронологической шкале в меньшей мере, чем верхнему, присущ, так сказать, гносеологический оттенок, то есть обусловленность возможностями и историей изучения землетрясений и их следов. В качестве лимитирующего фактора, ограничивающего возможность изучения все более древних палеоземлетрясений, а также их общее количество в природе выступает сохранность, а точнее, уничтожение палеосейсмодислокаций с течением времени.

Старение и уничтожение палеосейсмодислокаций обусловлено нормальным или ординарным ходом их постгенетической эволюции, а также более эффективным разрушающим воздействием каких-либо мощных геологических процессов революционного, а не эволюционного характера.

Эволюционное постгенетическое преообразование, деструкция и захоронение (без полного уничтожения) палеосейсмодислокаций осуществляются под действием главным образом экзогенных процессов: выветривания, денудации и аккумуляции. Они функционируют сравнительно медленно, однако практически непрерывно и повсеместно. Быстрое, но локальное уничтожение и захоронение палеосейсмодислокаций происходит в результате вулканической деятельности. Частичное уничтожение старых и создание новых сейсмодислокаций производят сильные землетрясения. Слабые и средние по интенсивности толчки не создают новых сейсмодислокаций, но довольно эффективно содействуют «стиранию» старых, стимулируя резкое увеличение мощности и скорости склоновых процессов, обычно действующих эволюционно.

Ледниковая денудация и аккумуляция наиболее эффективно из всех экзогенных процессов уничтожает и погребает палеосейсмодислокации. В эпохи оледенений этот фактор деструкции действует регионально. В начале роста оледениния дислокации просто перекрываются льдом и фирном. С течением времени в области ледникового транзита дислокации срезаются экзарацией. На склонах каров и трогов они уничтожаются активизируемыми ледниками, обвально-осыпными процессами, а в областях абляции и в перигляциальных зонах оказываются под ледниковыми и флювиогляциальными отложениями (что с точки зрения их поиска равнозначно уничтожению). В связи с этим на Северо-Востоке России нижний временной предел сохранившейся в рельефе совокупности палеосейсмодислокаций обусловлен моментом исчезновения последнего позднеплейстоценового горнодолинного оледенения, ознаменовавшим собой начало голоцена – около 10 тыс. лет назад.

# 2.6.2. Различия современных и древних сейсмодислокаций по строению и представительности

В данной работе используется ограниченное число морфологических разновидностей палеосейсмодислокаций и их групп или типов (разд. 2.1.1.); реальное же разнообразие тех и других существенно больше. Например, в группе сейсмогравитационных деформаций А.А.Никонов [1995] отмечает: обвалы, оползни, ступенчатые перекосы грунта, провалы и обрушения полостей, оплывины, срывы, сели, грунтовые и снежные лавины, камнепады. Кроме того, он предлагает выделять и использовать в палеосейсмогеологии еще несколько групп сейсмодеформаций: 1) встряхивания – растрескивание, уплотнение, провалы, расседания водоразделов, склонов и других поверхностей, причем без гравитационного смещения масс; 2) гидродинамических – разжижение рыхлых песчаных грунтов и пертурбации в их толще, в том числе с выбросами на поверхность влагонасыщенных масс; 3) выброса или наброса (трамплинные) – с антигравитационным перемещением масс по воздуху; 4) динамических – субгоризонтальные подвижки блоков и массивов горных пород в результате не непосредственного воздействия тектонических сил, а, по-видимому, за счет сейсмического возбуждения масс; 5) спелеодеформации – перекосы и обрушения сталактитов, сталагмитов и карстовых полостей; 6) субаквальных – мутьевые потоки и др.

Использование большего количества объектов палеосейсмогеологического анализа, безусловно, должно способствовать увеличению общего объема информации, повышению качества сейсмогеологической характеристики древних эпицентральных областей, росту достоверности генетической и сейсмологической интерпретации дислокаций. Вместе с тем, массовое применение отмеченных индикаторов сейсмичности и практическое достижение указанных целей ограничиваются целым рядом причин. Основными из них являются: 1) обычные сравнительно небольшие размеры многих из этих деформаций (например, селей, провалов, оплывин, лавин, камнепадов, гидродинамических деформаций); 2) частая неудовлетворительная выраженность их в рельефе и в фотоландшафте (тех же, плюс ступенчатые перекосы грунта, деформации встряхивания); 3) эфемерность некоторых деформаций – быстрая трансформация к виду образований, лишенных признаков сейсмогенности и полное их исчезновение (практически всех из перечисленных образований); 4) возможность климатической и иной обусловленности некоторой части из них и, как следствие, неопределенность генетической интерпретации (оползней, селей, лавин, камнепадов); 5) сравнительная редкость формирования и «неповсеместность» деформаций встряхивания, выброса, динамических, спелеодеформаций. Таким образом невыраженность большинства из них в масштабе космосъемки, стремление к повышению достоверности генетической интерпретации предполагаемых сейсмодеформаций и намеренное снижение, в связи с этим, чувствительности методики, наличие более подходящих многочисленных, легче обнаруживаемых и нтерпретируемых объектов существенно снижают возможности применения этих деформаций, особенно на первой стадии тотальных палеосейсмогеологичесих исследований.

При этом на более поздних этапах выявление и изучение отмеченных образований может быть полезным. Например, весьма крупная деформация наброса размером 400×850 м в составе сейсмоструктуры Чул-300 хорошо видна на аэро- и космоснимках, однако правильно интерпретирована она была только при полевой заверке (разд. 5.1.2.). Полевые наблюдения позволили выявить: более рыхлое сложение части грандиозного обвала Чул-300, залегающей в долине Чула западнее левого приустьевого выступа водораздела в виде пилона; наличие мощного глыбового «навершия» на поверхности «пилона» и полное отсутствие глыб на его западном склоне. Все это послужило основанием для вывода о перелете по воздуху на расстояние до 1 км довольно крупной части обвальной массы (около 10 млн м<sup>3</sup>), подброшенной вверх как трамплином, пилонообразным выступом левого водораздела [Важенин, 1988  $\delta$ , 1992  $\delta$ , 1996  $\delta$ ]. Возможный априорно снос песчаниковых глыб с правого борта долины р. Чул исключается благодаря тому, что он сложен гранитами Туманского массива. Из этого «перелетного» обломочного материала, наряду с «выплеснувшимся» по долине руч. Озерный, образовалась завальная плотина в долине р. Чул. Подобные факты характеризуют чрезвычайно высокую динамику обрушения обвала Чул-300.

Других подобных образований в регионе еще не обнаружено, за исключением, может быть, случая разброса, подобно гороху, крупных глыб по наклонной поверхности педимента массива Елау в одноименном рое ниже обвала-потока Сыгынах-14 (разд. 5.1.1.) на расстояние до 3 км от стенки срыва [Важенин, 1996 б]. Но в данном случае перемещение глыб осуществлялось, скорее всего, в виде перекатывания с подпрыгиванием. Разлет многочисленных глыб по поверхности педимента произошел, по-видимому, в результате резкой остановки и раскола на более мелкие обломки после удара о твердый субстрат крупного изометричного блока горных пород, перемещавшегося, вероятно, на или по поверхности лавинообразного глыбового обвала-потока с большей скоростью, чем весь поток.

Единственная пока в регионе деформация встряхивания выявлена также при полевой заверке роя Светлый у правого фланга обвала Голубой-20 (разд. 5.1.2.). Здесь коренной правый водораздел долины руч. Светлый интенсивно раздроблен до размерности глыб. Эта деформация очень напоминает эффект от подземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне в Казахстане.

Несколько скальных оползней закартировано в пределах роя Дукча вместе с другими гравитационными, тектоническими и гравитационно-тектоническими дислокациями [Важенин, 1992 *a*; Важенин и др., 1997]. Количество их может несколько увеличиться при дальнейшем изучении роев, не заверенных полевыми работами. В комплексном рое Дарпирчик выявлено и обследовано в «поле» единственное пока в регионе аккумулятивное тело с признаками каменного глетчера: активно подновляемый фронтальный уступ, дугообразные валы на поверхности, характеризующие неравномерность скорости течения ледово-обломочной массы в поперечном сечении [Важенин, 1992 *б*]. Еще несколько подобных образований обнаружены, но не заверены в рое Арга-Тас. Не исключено выявление новых каменных глетчеров при дальнейших исследованиях, а также за счет переквалификации некоторых из обвалов в обвалы, трансформировавшиеся в каменные глетчеры. Они, повидимому, могут дополнить список объектов палеосейсмогеологических исследований, поскольку нередко возникают благодаря цементации льдом обвальных отложений, в том числе крупнообъемных [Горбунов, 1988].

В качестве отдельной группы палеосейсмодислокаций могут выделяться и изучаться и гидрогеологические перестройки. В их число можно включить, в первую очередь, случаи резкого изменения направления поверхностного и подземного водного стока подобные тому, что наблюдается в сейсмоструктуре Чул-300. Здесь вода из подпрудного бассейна седиментации в долине руч. Озерный [Важенин, 1992  $\delta$ , 1996  $\delta$ ] по системе сейсмогенных сбросовых разломов, рассекающих ее левый коренной водораздел, поступает в соседнюю долину руч. Коленчатый и изливается из ее правого борта в виде высокодебитного источника, превосходящего по расходу основной водоток долины (разд. 5.1.2.).

Несколько иная ситуация наблюдается в гидрогеологических перестройках в долине руч. Юрюн-Тас, перегороженной завальной плотиной Улахан-Чистай высотой около 360 м [Важенин, 1988 *a*, 1992 *б*]. Оттого, что за время существования завала в подпрудном бассейне накопилась толща аллювиально-пролювиальных отложений мощностью около 140 м, ширина днища долины выше завала увеличилась с нескольких десятков до 600 м. Это вызвало разделение локализованного стока в долине с V-образным поперечным профилем на несколько «блуждающих» по поверхности подпрудного бассейна русел выше плотины и на три русла, выходящих на поверхность после фильтрации сквозь тело завала: под правым и левым бортами и в самой гипсометрически низкой его части – по оси погребенного коренного тальвега (разд. 5.1.1.). Такие перестройки надо относить скорее к постсейсмогенным, чем к собственно сейсмогенным гидрогеологическим деформациям. Они встречаются существенно чаще, чем подобные Чульской. Постсейсмогенными образованиями являются суффозионные ложбины и суффозионно-эрозионные каньоны, возникающие в завальных плотинах.

Гидрогеологические сейсмогенные и постсейсмогенные деформации по сути вторичны по отношению к тектоническим и гравитационным и могут использоваться на поздних стадиях исследований для повышения детализации палеосейсмогеологической характеристики структур и роев, а также для повышения достоверности их генетической интерпретации.

Из изложенного можно сделать вывод о различной статистической представительности дислокаций и деформаций разных морфологических типов в плейстосейстовых областях современных землетрясений, с одной стороны и в роях палеосейсмодислокаций – с другой. Количество и разнообразие видов и типов сейсмодеформаций в первых значительно выше. В роях палеосейсмодислокаций, ввиду естественной постгенетической эволюции сейсмогенных образований, из-за уничтожения в течение сотен и тысяч лет в первую очередь мелких и неустойчивых к денудации и аккумуляции их разновидностей, для исследования остаются главным образом наиболее крупные сейсмодеформации. Они легче выявляются дистанционными методами и, к тому же, с большей уверенностью могут интерпретироваться генетически и сейсмологически.

# 2.7. Гравитационные дислокации как компоненты и индикаторы роев палеосейсмодислокаций

Обвалы являются обычными компонентами роев современных сейсмодислокаций и палеосейсмодислокаций, и потому к ним в полной мере относятся все перечисленные (разд. 2.5.) признаки и критерии. Но они обладают и рядом специфических черт, обусловливающих их особую роль в новой палеосейсмологической методике. Обвалы в ней используются в качестве индикаторов роев палеосейсмодислокаций и, в итоге, в качестве индикаторов древних эпицентральных зон. Возможность этого определяется несколькими обстоятельствами. Первое из них состоит в том, что крупные обвалы объемами более 1 млн м<sup>3</sup> обладают наилучшей «фотогеничностью» из всех морфологических разновидностей сейсмодислокаций при изображении на космоснимках. Так, горизонтальные размеры обвала объемом в 1 млн м<sup>3</sup>, равного кубу с ребром 100 м, обычно составляют несколько сот метров. Мощность таких обвальных тел, имеющих форму, близкую к идеальной (разд. 2.7.1.), обычно достигает первых десятков метров.

На стереоскопических спектрозональных космоснимках масштаба около 1:280 000 с пространственным разрешением в первые десятки метров обвалы объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup>, лишенные, как правило, развитого почвенно-растительного покрова из-за высокой водопроницаемости слагающего их преимущественно глыбового обломочного материала, выглядят пятнами пурпурной окраски размерами 0,4 - 20 мм (в масштабе съемки) на голубоватом фоне изображения зеленой растительности. В стереомодели они имеют выпуклую форму, контрастирующую с вмещающими отрицательными формами рельефа долин и подножий склонов, часто характеризуются явным разделением поверхности на фронтальную и тыльную грани и динамически связаны с четкими стенками срыва либо с нишами отрыва транзитом крупных масс обломочного материала.

Из тектонических сейсмодислокаций на таких космоснимках наиболее «фотогеничны» разрывы со смещением (сбросы, взбросы, раздвиги и высокоамплитудные сдвиги), но лишь при условии значительных размеров – длиной до километров и шириной обычно более десятка метров, а также при благоприятном освещении, обеспечивающем контрастный светотеневой рисунок и при отсутствии маскирования растительным покровом и, к тому же, при наличии малоконтрастного фонового рельефа. Сочетание таких условий реализуется не часто, и потому тектонические дислокации для индикации древних эпицентральных областей на космоснимках заметно уступают гравитационным и для этого малопригодны.

Второе обстоятельство, позволяющее использовать обвалы в качестве индикаторов на стадии поиска, заключается в том, что обвалы являются обычным, а порой и единственным результатом (последствием) многих сильных землетрясений. Так, при тщательном изучении плейстосейстовой зоны сильнейшего по магнитуде (6,9-7,2) за всю историю наблюдений на Кавказе Рачинского землетрясения 1 991 г., характеризующейся изобилием гравитационных дислокаций, не были обнаружены тектонические [Рогожин, Богачкин, 1993]. При Аляскинском землетрясении 1 964 г. крупные гравитационные дислокации охватили зону побережья Тихого океана длиной в несколько сот километров, а тектонические были выявлены на суше только на о-ве Монтагью. Следует отметить, что известны также случаи, когда землетрясения с интенсивностью оцененной в 8 и даже 9 баллов, не сопровождались формированием крупных гравитационных дислокаций. Причину этого несоответствия можно усмотреть в ряде случаев в завышении оценки интенсивности землетрясений, вызванной ошибками недооценки (преуменьшения) глубины гипоцентра при магнитуде 6,5-7, достаточной для формирования дислокаций, но только при условии «мелкофокусности» землетрясений.

#### 2.7.1. Анализ формы гравитационных дислокаций

У многих исследователей при первом знакомстве с крупными обвалами возникает представление о том, что ярчайшей чертой их строения является хаотичность. Однако более обстоятельное изучение, помимо полевых, еще и дистанционными методами, позволяет сделать вывод об ошибочности первого впечатления и о том, что хаотичность присуща, главным образом, деталям их строения, наблюдаемым непосредственно, а формирование обвальных тел и других гравитационных дислокаций в целом, подчиняется достаточно строгим, хотя, порой и неявно выраженным, закономерностям. Более того, к специфике крупных обвалов, с точки зрения оценки признаков и критериев их выявления и интерпретации, относится возможность использования геометрической формы их поверхности, что позволяет производить предварительную генетическую интерпретацию гравитационных дислокаций во многих случаях дистанционными методами и даже по космоснимкам. Затрудняет эту процедуру наличие конвергенции признаков обвалов и некоторых генетически близких и иных образований: оползней, осыпей, древнеледниковых морен, каменных глетчеров, селевых отложений, коренных структурных выступов на склонах и в долинах.

Это вызвало необходимость выполнения анализа формы гравитационных дислокаций и факторов ее определяющих [Важенин, 1992 б, 1998 б; Vazhenin, 2000]. Следствием его явилось создание схемы вариации геометрической формы продольного профиля гравитационных дислокаций (рис. 10). Данная логико-эмпирическая схема построена с использованием результатов полевого обследования свыше 50 крупных гравитационных дислокаций разных типов и в разных геологогеоморфологических условиях в сейсмическом поясе Черского и много большего их количества, изученного дистанционно. Кроме того выполнялся анализ формы гравитационных дислокаций в плане.



Рис. 10. Вариация геометрической формы продольного (по падению) профиля гравитационных дислокаций в зависимости от изменения высоты смещающего склона (h), растянутости во времени процесса обрушения (соотношения единовременных обрушений, Am с общей массой гравигационного тела – M), наклона поверхности субстрата: I-III – горизонтальной, IV-VI – по падению, VII-IX – против падения смещающего склона Форма продольного, ориентированного по падению обвальной массы профиля гравитационных дислокаций варьирует в широких пределах. Она зависит в основном от изменения трех параметров: 1) высоты стенки срыва (h), 2) растянутости во времени процесса обрушения, выражаемой отношением масс единовременных обрушений ( $\Delta m$ ) к общей массе обвального тела (M), 3) наклона поверхности субстрата. Малозначимым фактором представляется крутизна смещающего склона, так как для класса крупных обвалов она изменяется мало и близка к углу естественного откоса. Прочностные свойства скальных пород, в том числе и обусловленные тектоническим дроблением, не оказывают непосредственного влияния на форму обвального тела, а определяют лишь то, произойдет или не произойдет обрушение, а также величину объемов тел. При разных соотношениях высоты стенки срыва и растянутости во времени процесса обрушения в случае горизонтального субстрата (рис. 10, варианты I-III) генерируются формы гравитационных дислокаций с различными продольными профилями.

Вариант  $h_3$ III (рис. 10) изображает продольный профиль идеального обвала в виде тупоугольного треугольника, обращенного тупым углом вверх, а наименьшим – в сторону смещающего склона. Такая форма обусловлена стремлением составных частей всей обрушивающейся массы отскочить от субстрата под углом, равным углу падения смещающего склона. При этом крутизна тыльной грани обвала стремится к величине угла падения смещающего склона, но не достигает ее, так как значительная часть энергии обрушения тратится на трение о склон, на дробление обрушивающихся блоков и субстрата, а также потому, что обрушение происходит в поле силы тяжести, дополнительно снижающей угол отскока масс. Отличительные черты идеального обвала – наличие контруклона тыльной грани и ее вогнутость. Обвал приобретает серповидную в плане форму благодаря отскоку обломков от субстрата в виде веера – из-за их взаимодействия друг с другом в ограниченном объеме конуса разлета. Для высокодинамичного процесса обрушения характерно не столько пребывание в фазе полета значительной части обрушивающейся массы, сколько высокая интенсивность ударного дробления скальных пород до размерности глыб и щебня.

Обвалы с продольным профилем, полностью соответствующим идеальному, единичны. Среди изученных на Северо-Востоке России к ним в наибольшей мере приближаются обвалы Тирехтях-0,5 (рис. 11) в одноименном рое, Мельдек-0,1 в рое Туманы, Уптар-1 (рис. 12) и Снежка-1 в рое Дукча

[Важенин, 1992 *а*]. Более многочисленны и крупны сегментные в плане обвалы с продольными профилями  $h_3$ II,  $h_2$ II, отличающиеся субгоризонтальной тыльной гранью, например, Дарпир-Сиен-4,5 (рис. 13), соседние с ним мелкие обвалы и обвал Омулевка-3 (рис. 14) в рое Дарпир, малые обвалы в долине р. Хетакагчан под вершиной 1 441 м в рое Бахапча, Нючага-12 в одноименном рое, Ола-1,6 и Ола-3,7 в рое Хурэндя и др. [Важенин, 1992 *б*, 1996 *б*, 1998 *б*; Важенин и др., 1997] (разд. 5.1.).

Редкость вполне идеальных обвалов и наличие их только в категории малых – объемами до 1 млн м<sup>3</sup> – объясняется нечастой реализацией совершенно единовременного обрушения крупных масс горных пород без растягивания их по высокому смещающему склону в процессе перемещения по нему и дробления при этом исходного крупного скального блока – то есть без растягивания процесса обрушения во времени. Некоторая ограниченность обвалов типа  $h_3$ II по величине объемов и по распространенности вполне объяснима не очень частым сопряжением высоких обвалью-осыпных склонов с горизонтальными и даже субгоризонтальными подножьями. Подобные ситуации характерны для денудационно-тектонических бортов долин и впадин с днищами, выположенными ледниковой и водно-ледниковой аккумуляцией. Типичным примером этого может служить зона разлома Дарпир, разделяющего тектоническим уступом высотой до 1 000 м Омулевское среднегорье и Дарпирскую впадину. Гораздо чаще такие склоны сочетаются с наклонными подножьями. Данная комбинация сместителя и субстрата в большей мере присуща верхнему ярусу гор. Тогда формируются обвалы с продольными профилями типов  $h_3$ V,  $h_2$ V. Последнему из них соответствует крупный многосегментный обвал Дарпирчик-40 (рис. 15) в одноименном рое [Важенин, 1992 *б*]. При этом у каждого из сегментов еще сохраняется серповидность формы.



Рис. 11. Обвал Тирехтях-0,5, близкий по форме к идеальному, в рое Тирехтях в хр. Улахан-Чистай. Условные знаки элементов дешифрирования фотоснимков, начиная с рис. 11: 1 – щебнисто-глыбовые отложения обвалов; 2 - скальные оползни; 3 - блоковые гравитационно-тектонические сейсмодислокации или палеосейсмоблоки (разд. 2.9.); 4 - контуры крупных сейсмоблоков; 5 - щебнисто-глыбовые обвально-осыпные шлейфы; 6 - обвально-осыпные конусы выноса; 7 – пролювиально-селевые конусы выноса; 8 – подпрудные бассейны седиментации; 9 – аккумулятивные шлейфы, формирующиеся из продуктов размыва обвальных отложений; 10 – выраженные в рельефе древнеледниковые отложения; 11 – селевые потоки; 12 – наледи и наледные поляны; 13 – крупные, выраженные в рельефе разрывные дислокации без заметной вертикальной составляющей; 14 – крупные сбросы; 15 – свежие разломы и трещины; 16 -свежие сбросовые и взбросовые уступы; 17 -сдвиги левые (*a*) и правые (*b*); 18 бровки крутых обвально-осыпных склонов; 19 – бровки стенок срыва и ниш отрыва крупных гравитационных дислокаций; 20 – суффозионные ложбины в завальных плотинах; 21 – суффозионные ложбины на поверхности обвалов; 22 - границы геологических тел и форм рельефа; 23 - индексы названий сейсмодислокаций (буква заглавная в названии, число – объем в млн м<sup>3</sup> для гравитационных дислокаций и объем в км<sup>3</sup> – для гравитационнотектонических); 24 – зеркала скольжения в плоскостях сместителей с указанием направления смещения и без него; 25 – элементы ориентировки снимков по странам света; 26 – абсолютные отметки горных вершин в м; 27 – абсолютные отметки уреза вод в м; 28-34 – петрографическая характеристика коренных горных пород (а) и грубообломочных (сложенных остроугольным и окатанным материалом) отложений (б): 28 - песчаники, 29 - аргиллиты и алевролиты, 30 – известняки и мраморы, 31 – гранитоиды, 32 – кислые эффузивы, 33 – средние эффузивы, 34 – основные эффузивы; возраст отложений указан индексами в соответствии с общепринятой геохронологической шкалой



Рис. 12. Обвал Уптар-1 роя Дукча в Примагаданье, близкий по форме к идеальному

Вариант  $h_3I$  продольного профиля (рис. 10) соответствует обвально-осыпному конусу выноса. Когда массы единовременных обрушений малы, отскок их от субстрата вырождается в перекатывание каждой последующей порции обломков по наклонной и шероховатой поверхности предыдущих. Но при этом запас их энергии достаточен для достижения периферии конуса выноса и образования слабо выраженного зачаточного фронтального уступа с крутизной, приближающейся к величине угла естественного откоса. Такие сейсмогенные и постсейсмогенные образования с объемами, обычно существенно меньшими 1 млн м<sup>3</sup>, чрезвычайно широко распространены в пределах роев палеосейсмодислокаций, вне их они встречаются гораздо реже.

Вариант h<sub>1</sub>I продольного профиля (рис. 10) соответствует осыпи. В этом случае потенциальной энергии малых обрушений с небольшой высоты достаточно только для осыпания, сползания каждой последующей порции обломков к подножью склона по шероховатой поверхности предыдущих.

Вариант  $h_1$ III продольного профиля (рис. 10) иллюстрирует гравитационное смещение по типу обвала-оползня. Здесь обрушение массы переходит в сползание, не сопровождающееся полным ее дроблением из-за снижения энергии перемещения, обусловленного малой высотой сместителя. К этому же эффекту приводит и уменьшение крутизны смещающего склона. Еще большее снижение высоты и (или) крутизны смещающего склона определяет перемещение масс по типу оползня. Скальные оползни единичны среди изученных гравитационных дислокаций региона. Это обусловлено, помимо прочего, большей трудностью их выявления и интерпретации сравнительно с обвалами. На поздних стадиях палеосейсмогеологических исследований количество обнаруженных оползней может возрасти. Число переходных образований типа обвала-оползня не поддается пока точному учету из-за сложности их выделения из комплекса гравитационных дислокаций.

Отклонение поверхности субстрата от горизонтали по направлению падения (варианты IV-VI, рис. 10) или против падения смещающего склона (варианты VII-IX) ведет либо к распластыванию, либо к сжиманию гравитационного тела в направлении смещения. Так, единовременное обрушение крупной массы с большой высоты на наклонный по падению субстрат (вариант  $h_3$ VI) вызывает образование вместо идеального обвала обвала-потока или обвальной глыбовой лавины. Характерным в этом случае является отрыв (удаленность) тыльной части обвального тела от стенки срыва. Такой вариант реализуется редко. Чаще встречаются обвалы-потоки с профилем типа  $h_3$ V и  $h_2$ V. Среди них имеются и весьма крупные, длиной до 2-3 км и более, например, Душистый-5 (рис. 16) в рое Сиглан [Важенин и др., 7], Аган-18 в рое Дёл-Урэкчэн [Важенин и др., 1997], Уптар-16-37 (рис. 17, 18) в рое Дукча [Важенин, 1992 *a*, 1997; Важенин и др., 1997], Орангутан-12, Дялтунгда-30 и Увязка-40 в рое Бахапча [Важенин, 1996 *б*; Важенин и др., 1997]. Длины более 15 км достиг ледово-глыбовый обвалпоток, обрушившийся с вершины г. Уаскаран (6 768 м) на город Юнгай при Перуанском землетрясении 1 970 г. [Болт и др., 1978, Варнс, 1981, Jacobs, 1985].



Рис. 13. Сегментный обвал Дарпир-Сиен-4,5 и такие же сопряженные с ним обвалы роя Дарпир в Омулевском среднегорье



Рис. 14. Сегментный обвал Омулевка-3 роя Дарпир в Омулевском среднегорье



Рис. 15. Рой Дарпирчик в юго-восточной оконечности хр. Улахан-Чистай: Д-40 – серия сопряженных сегментных обвалов Дарпирчик-40, Д-11-2 – сейсмоблок ДАРПИРЧИК-11-2, ОХ-1,5 – сейсмоблок ОХОТНИЧИЙ-1,5

Обвал Дялтунгда-30 распластан еще и в поперечном сечении. Это объясняется дугообразностью длинной стенки срыва в древнеледниковом каре, обусловившей конвергентность рисунка осей обвального литосбора (раздел 2.1.4.), снизившую распластанность обвала вдоль одной (генеральной) оси. Еще больше этот эффект противоборства концентрации с распластыванием обвальной массы проявился при формировании обвала Угловой-38 в рое Елау [Важенин, 1996 б], в результате которого образовалось существенно караваеобразное тело.

Распластанность обвалов-потоков в виде веера может возникать при дивергентном рисунке осей обвального литосбора. Яркий пример образования обвальных тел такой формы представляют

последствия Аляскинского землетрясения 1964 г. Один из крупных обвалов объемом 23 млн м<sup>3</sup> – Шерман-Глейшер или Шерман-23 (рис. 19) появился в результате сейсмогенного срыва карлинга в верховьях бокового притока ледника Шерман в горах Чугач [Болт и др., 1978, Walker, 1982]. Форма обвальной массы до обрушения была довольно изометричной, о чем можно судить, сравнивая снимки, выполненные до и после землетрясения. При движении по узкой крутой поверхности ледникапритока она трансформировалась в глыбовый обвал-поток и приобрела удлиненную форму, но вырвавшись на обширную наклонную, выпуклую и скользкую поверхность конечной части ледника Шерман, распласталась в виде плащеобразного веера (средней мощностью всего 3 м) в соответствии с дивергентным рисунком осей литосбора, почти совпадающих с линиями уклонов. Легко допустить, что при отсутствии ледово-снежной смазки и таких же уклонах сместителя распластывание было бы менее эффективным. Типичных веерных обвалов в изученных роях палеосейсмодислокаций региона, пожалуй, нет. Но для сейсмоактивных областей современного горного оледенения образование веерных и вообще сильно распластанных обвалов характерно. Практически все многочисленные крупные обвалы, возникшие на ледниках гор Чугач, Святого Ильи и п-ова Кенай в результате Аляскинского землетрясения 1964 г., были именно такими. Сравнительно небольшое присутствие обвалов с ярко выраженной веерной формой в составе роев палеосейсмодислокаций и редкость сохранившихся в таком первоначальном виде на современных ледниках, объясняется их быстрой ледниковой переработкой в поверхностные и затем в конечные морены.



Рис. 16. Глыбовый обвал-поток Душистый-5 (Д-5) длиной около 2 км в рое Сиглан на северном побережье Охотского моря. Тыльная часть обвальных масс перегородила долину ручья высокой плотиной с образованием подпрудного бассейна седиментации, заполненного уже до уровня верхнего бьефа: *О-20* – обвал Обнаженный-20; Б3-5 – обвал Большой Забияка-5; М3 – грабен-обвал Малый Забияка

При этом в строении некоторых крупных обвалов проявляются элементы веерности. Больше всего среди изученных гравитационных дислокаций это свойственно сбросообвалу Чул-300 (рис. 20, 21). Источником обвальной массы послужил сравнительно небольшой пластообразный блок размером 300×750×1 200 м в левом водоразделе долины руч. Озерный. Сформировавшееся из него существенно пластообразное тело имеет ширину во фронтальной части более 2 км при длине по падению около 2,5 км. Веерообразность его обусловлена выпуклостью склона и водораздела, по которым смещалась обвальная блоково-глыбовая масса, в сочетании с гравитационно-динамическим сжиманием ее по вертикали за счет дробления исходного более изометричного блока. Левый фланг этой лавины отклонился по уклону водораздела влево от первоначального направления и обрушился в долину соседнего руч. Коленчатый, а отдельные крупнейшие глыбы размером в первые десятки метров достигли его устья. Часть обвальной массы левого фланга объемом около 10 млн м<sup>3</sup>, двигавшая-ся вдоль водораздела, встретила на своем пути выступ, была им подброшена, как трамплином, и около 1 км до днища долины р. Чул преодолела по воздуху. Правый фланг в несколько меньшей ме-

ре, чем левый, отклонился вправо, главным образом, за счет оттеснения большим объемом центральной части, распластывавшейся при дроблении глыбовой лавины. Центральная часть обвальной массы, двигавшаяся под острым углом к оси долины руч. Озерный, полностью – от одного водораздела до другого – завалила ее низовья и, частью объема отразившись от погребенного правого борта, повернула вдоль тальвега в долину р. Чул, где возникла завальная плотина. Некоторые черты сходства со сбросообвалом Чул-300 наблюдаются в строении и кинематике сейсмообвала Амткел-100 в Абхазии [Хромовских и др., 1977], а именно: веерность всего обвала и вероятная «трамплинность» образования части его объема.



Рис. 17. Двухъярусный обвал-поток Уптар-16-37 (*У-16-37В* – верхний ярус, *У-16-37Н* – нижний) роя Дукча в Примагаданье (общий объем дислокации 37 млн  $m^3$ , верхнего яруса – 16 млн  $m^3$ ); *а* – общий вид, *б* – верхняя часть.; *У-0,5* – сейсмоблок УПТАР-0,5. Заметна врезанность более поздней ниши отрыва в раннюю и их соразмерность с объемами двух ярусов обвала. При некотором внешнем сходстве с каменными глетчерами (форма в виде глыбового потока) у Уптара-16-37 полностью отсутствуют признаки последних (межглыбовый лед, активный осыпной фронтальный уступ, поперечные дугообразные валы) и вместе с тем наблюдаются свойственная сейсмообвалам «ударная» трещиноватость глыб, жесткая связь с тектоническими сейсмодислокациями и др.: 1 – бровка ниши отрыва обвала нижнего яруса; 2 – то же для верхнего яруса



Рис. 18. Сейсмоструктура Уптар роя Дукча в Примагаданье в составе крупного обвала Уптар-16-37, оползня Дукча-1, сейсмогенерирующего блока УПТАР-0,5 (частично погребенного гравитационными отложениями) и многих тектонических дислокаций; а – схема в плане, б – разрезы в продольном (*I-I'*) и поперечном (*II-II', III-III'*) сечениях обвала: 1 –дневная поверхность обвала *V-16-37* и ниши отрыва в продольном профиле по линии *I-I'*; 2 – поверхность субстрата обвала в том же сечении; 3 – дневная поверхность обвала и бортов долины в поперечном сечении по линии *II-II'*; 4 – поверхность субстрата в том же профиле; 5, 6 – дневная поверхность и поверхность субстрата в поперечном разрезе по линии *III-III'*; 7 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения в продольном (*a*) и в поперечных (*б*) сечениях; 8 –щебнисто-глыбовые отложения обвально-осыпных конусов выноса в изображении на профилях; 9 – отложения подпрудного бассейна седиментации (*БС*) и аккумулятивного шлейфа, формирующегося из продуктов размыва обвала (*III*); 10 – бровки стенок срыва и ниш отрыва всех гравитационных дислокаций за исключением верхнего яруса обвала *У-16-37* (*a*) и то же для верхнего яруса *У-16-37* (*б*); остальные условные знаки такие же, как на рис. 3; буквы в индексации дислокаций означают их названия: *У* – Уптар, *Д* – Дукча



ис. 19. Ледник Шерман в горах Чугач до (*a*) и после (*б*) Аляскинского землетрясения 1 964 г. (по Walker [1982]). Сейсмообвал Sherman-Glacier или Шерман-23 (*Ш-23*) объемом 23 млн м<sup>3</sup>, обрушившийся на поверхность ледника, распластался по его скользкой и наклонной поверхности в виде веера площадью около 8 км<sup>2</sup> при средней мощности всего 3 м. Другие крупные и малые сейсмообвалы, рухнувшие на ледники в горах Чугач и Св. Ильи, также имели вид плащеобразных обвалов-потоков. На левом снимке (*a*) хорошо видна «ленточная» форма поверхностных и боковых морен, формирующихся из обломочного материала малых обрушений, происходящих при обычной (без сейсмического стресса и при слабых землетрясениях) денудационной деятельности ледника



Рис. 20. Чульская сейсмоструктура роя Туманы в Северном Приохотье, включающая крупные обвалы Чул-300 (*Ч-300*), Озерный-10 (*О-10*), Озерный-6 (*О-6*), сейсмоблок типа матрешки ЧУЛ-9-2 (*Ч-9*, *Ч-2*), крупные сейсмотектонические расщелины и сбросы: 1 – четвертичные ледниковые, водно-ледниковые и аллювиальные валунники, галечники, пески; 2 – кислые эффузивы наяханской свиты верхнего мела; 3 – вулканомиктовые песчаники монкинской свиты средней юры; 4 – верхнемеловые граниты; 5 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения; 6 – уступы в рельефе обвальных тел; 7 – обвально-осыпные конусы выноса; 8 – пролювиально-селевые конусы выноса; 9 – предположительно сейсмогенные расщелины и высокие сбросовые уступы; 10 – бровки стенок срыва крупных обвалов; 11 – наиболее молодые сбросовые уступы; 12 – свежие разрывы без заметной вертикальной составляющей; 13 – протяженные тектонические нарушения; 14 – суффозионные ложбины на поверхности обвала; 15 – суффозионно-эрозионный каньон, врезанный в Чульскую завальную плотину; 16 – геологические границы и элементы каркаса рельефа; 17 – подпрудные бассейны седиментации; 18 – аккумулятивный шлейф из продуктов размыва обвальных отложений; 19 – контур сейсмоблока ЧУЛ-2; 20 – контур сейсмоблока ЧУЛ-9; 21 – водопад; *В-3* – обвал Водопадный-3; *М-0,1* – обвал Мельдек-0,1



Рис. 21. Палеосейсмообвал Чул-300; *а* – стенка срыва, тыльная и средняя части обвала (*Ч-300В*); *б* – стенка срыва и тыльная часть обвала. Размер стенки срыва по простиранию 1 200 м, по падению (видимый) – 750 м. Максимальная дальность перемещения обвальных масс: по горизонтали – до 2,5 км, по вертикали – до 0,9 км. *Ч-27-2* – фрагмент палеосейсмоблокаЧУЛ-27-2; *Ч-2* – большая часть палеосейсмоблока ЧУЛ-2. Стрелкой показана глыба размером около 20 м, заметная даже на спектрозональных космоснимках, изображенная на рис. 42

Несколько иной механизм смещения обвальной массы проявился при формировании сбросообвала Улахан-Чистай-300 (рис. 22, 23). В долину руч. Юрюн-Тас рухнул отрог-контрфорс ее правого борта длиной около 1 км, шириной по основанию около 0,7 км и относительной высотой не менее 1 км. Направление его первоначального, по-видимому, блокового смещения, было перпендикулярным к оси долины, а инерция столь велика, что он вздыбился на левый борт относительной высотой около 400 м. Но для преодоления его частью объема не хватило 40 м. Задние эшелоны смещавшейся обвальной массы натыкались на возникшую в долине обвальную гору высотой около 300 м, вздыбливались на нее, а затем скатывались влево и вправо. Левая ветвь вторичного смещения масс вдоль левого борта из-за контруклона днища долины получилась более крутой и короткой, чем правая. Современная видимая длина части этого выступа обвала, не погребенной мощными постгенетическими отложениям подпрудного бассейна седиментации, около 0,5 км. Правая ветвь в виде более пологого языка продвинулась по уклону долины вдоль тальвега на расстояние около 1,5 км от гребня завальной плотины. Это как бы расплющивание высокодинамичной обрушивающейся массы о левый борт долины и вздыбливание на него и на более ранние эшелоны глыб более поздних обусловило характерную – в виде буквы «Т» – форму обвала в плане, а уклон долины руч. Юрюн-Тас определил ее асимметричность. Такую же, но менее ярко выраженную, форму имеет и широко известный Усойский завал на Памире [Планета Земля..., 1987, Федоренко, 1988].

Обвально-осыпные конусы выноса, формирующиеся на наклонном по падению субстрате, также приобретают вид удлиненных потоков (варианты h<sub>3</sub>IV, h<sub>2</sub>IV) с веретенообразной формой в плане. Удлиненность их возрастает при увеличении крутизны субстрата и залегании в ложбинах и в верховьях узких низкопорядковых горных долин. В случаях «утыкания» обвально-осыпных конусов выноса в противоположный склон узкой V-образной долины они приобретают форму, напоминающую перевернутую вниз струнами балалайку.

При наличии контруклона субстрата высокодинамичное обрушение, как уже было отмечено, характеризуется вздыбливанием крупнообъемного обвала на противоположный сметителю склон с образованием продольного профиля по вариантам  $h_3IX$ ,  $h_2IX$ . При очень больших объемах обрушений (в десятки и сотни миллионов кубических метров) обвальные тела часто формируются по этому типу, так как величина их становится сравнимой с шириной долин. Продольный профиль с характерным контруклоном тыльной грани имеет, помимо упомянутого сбросообвала Улахан-Чистай-300, также и Усойский завал. В случаях снижения энергии обрушения из-за растянутости процесса во времени или уменьшения высоты сместителя в узких долинах с контруклоном субстрата образуются гравитационные дислокации с формой поверхности, близкой к кучеобразной, в соответствии с вариантами  $h_3VIII$ ,  $h_2VIII$ ,  $h_1IX$ .

Схема на рис. 10 отражает основные закономерности вариации геометрической формы продольного профиля гравитационных дислокаций. Она пригодна (и пожалуй, достаточна) для объяснения механизма формирования и генетической интерпретации по стереомодели на космо- и аэроснимках в первую очередь малых и средних тел. В случаях анализа формы крупнейших гравитационных дислокаций, как видно на примерах сбросообвалов Чул-300 и Улахан-Чистай-300, требуется учет и самого механизма смещения обвальной массы. При этом могут играть существенную роль: крупные неровности субстрата; неровности, служащие препятствиями для поздних эшелонов крупных гравитационных масс, возникающие за счет остановки и аккумуляции более ранних; гравитационно-динамическое распластывание исходных существенно изометричных блоков при их дроблении в результате перемещения, обусловливающее приобретение веерности глыбовыми потоками; конвергентность осей обвального литосбора; ориентировка трещин и сейсмогенных разломов относительно стенки срыва; структурно-геологические и петрофизические особенности горных пород, слагающих склоны.

Осложнять задачу анализа геометрической формы гравитационных дислокаций могут процессы их постгенетической эволюции, например, такие как: частичное погребение тыльной грани обвалов осыпями и обвально-осыпными конусами выноса; рассечение суффозионными ложбинами и суффозионно-эрозионными каньонами; подрезание боковой эрозией рек; размыв за счет абразии; деформация и уничтожение действующими ледниками; деформация новыми сильными землетрясениями; трансформация в каменные глетчеры. Хотя здесь перечислено много факторов, осложняю-



щих анализ и интерпретацию, легко распознаваемых гравитационных дислокаций, среди изученных в регионе, все же намного больше, чем сомнительных.

Рис. 22. Основная часть роя Тирехтях в хр. Улахан-Чистай, включающая сейсмоблок ЮРЮН-ТАС-3,3 (ЮТ-3,3), крупные обвалы Улахан-Чистай-300 (УЧ-300), Юрюн-Тас-50 (ЮТ-50), Шумный-10 (Ш-10), Шумный-5 (Ш-5), а также Тирехтях-0,5 (Т-0,5) и другие дислокации; а – схема в плане; б – гипсометрические профили: 1 – дневная поверхность в сечении вдоль современного тальвега долины руч. Юрюн-Тас по линии *I-I*'; 2 –погребенный обвалом и другими постсейсмическими образованиями древний тальвег долины в том же разрезе; 3 – дневная поверхность в сечении поперек долины по линии *II-II*'; 4 – погребенная поверхность субстрата обвала в том же профиле; 5 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения в продольном (*a*) и поперечном (б) относительно долины разрезе; 6 – щебнисто-глыбовые отложения обвально-осыпного шлейфа, прикрывающего низ стенки срыва, в изображении на гипсометрическом профиле; 7 – валунно-галечно-песчаные аллювиальные, пролювиальные и озерные отложения подпрудного бассейна седиментации (*БС*), аккумулятивного шлейфа, формирующегося из продуктов размыва завальной плотины (*Ш*), пролювиально-селевого конуса выноса руч. Юрюн-Тас (*КВ*); другие условные знаки такие же, как на рис. 3



Рис. 23. Долина руч. Юрюн-Тас (правый приток р. Тирехтях) с крупными обвалами Улахан-Чистай-300 (УЧ-300) и Юрюн-Тас-50 (ЮТ-50), залегающими на разломе Улахан, трассирующемся (в данном месте) по оси хр. Улахан-Чистай. ЮТ-3,3 – палеосейсмоблок ЮРЮН-ТАС-3,3

#### 2.7.2. Классификация и морфологическая характеристика гравитационных дислокаций

Анализ геометрической формы гравитационных дислокаций в продольном профиле и в плане может служить основой для их классификации по морфологическим признакам. Обычно применяются другие принципы выполнения классификации гравитационных образований, главным образом оползней, с включением и родственных им обвалов, например, на генетической основе (эндокинетические и экзокинетические [Пальшин и др., 1976], сейсмогравитационные, сейсмоденудационные [Попова, Левкович, 1981]); на основе «типов движения масс и характера горных пород» [Варнс, 1981]; на основе «учета типа смещения, роли сейсмичности, требований инженерно-геологической практики» [Федоренко, 1988] и т.п. К недостаткам многочисленных известных классификаций, с точки зрения их использования в палеосейсмогеологических исследованиях, относятся: стремление к максимальному охвату всех разновидностей гравитационных смещений и всего их размерного ряда, что обычно снижает детальность проработки раздела крупных скальных обвалов; упор на генезис и тип перемещения гравитационных масс. Механизм смещения может быть легко установлен при непосредственном наблюдении процесса формирования современных гравитационных тел. При анализе древних гравитационных дислокаций о нем можно судить лишь с какой-то вероятностью, по результату перемещения масс - геометрической форме аккумулятивного образования и по его положению в рельефе.

Бинарная классификация гравитационных дислокаций, построенная на характеристике их геометрической формы в продольном профиле и в плане, может применяться и на первых стадиях палеосейсмогеологических исследований – до окончательного решения вопроса о типе смещения гравитационных масс. Она ограничивается рассмотрением, главным образом, крупных скальных обвалов с включением «пограничных», генетически близких образований разной величины: обвальноосыпных конусов выноса, осыпей, обвалов-оползней. Каждый класс или тип гравитационных дислокаций в такой классификации образуется при сочетании двух параметров: кода варианта продольного профиля из диаграммы (рис. 10) и словесной характеристики формы в плане, которая, впрочем, также может быть выражена в виде символов. Не все элементы ряда плановых форм гравитационных дислокаций поддаются приемлемому словесному описанию с использованием только геометрической терминологии и без оттенков, указывающих на тип перемещения масс, особенно в тех случаях, когда в употреблении уже имеются яркие и понятные термины, отражающие механизм смещения, с присущей им характерной формой. К таким, например, относятся термины «обвальноосыпной конус выноса», «склоновая осыпь», «обвал-поток».

Ряд вариации геометрической формы в плане для изученных гравитационных дислокаций Северо-Востока России можно было бы представить следующим образом: 1) склоновые осыпи; 2) обвально-осыпные конусы выноса; 3) серпообразные (обвальные) тела; 4) сегментовидные тела; 5) распластанные или уплощенные (обвалы-потоки) – линейные (прямо- и криволинейные), дивергентные или веерные (в том числе Т-образные), конвергентные (в частности караваеобразные и дугообразные), плащеобразные (с эквидистантным рисунком осей литосбора); 6) обвалы-надвиги; 7) грабен-обвалы; 8) прыгающие или трамплинные. При формальной оценке общего числа членов бинарной классификации гравитационных дислокаций необходимо множество вариантов продольного профиля (27) умножить на множество вариантов плановой формы (8 или 15 с учетом разновидностей). Произведение получается слишком большим для практического использования.

Упрощает эту ситуацию то, что далеко не все сочетания вариантов первого и второго множеств встречаются в природе. Но и число реализуемых сочетаний довольно велико – несколько десятков, что служит косвенным признаком несовершенства такой классификации-перечисления. Причина этого кроется в попытке использования максимального числа реальных вариантов формы гравитационных дислокаций в плане. Среди указанных есть взаимопересекающиеся классы, из которых один включает другой или несколько других, например, обвалы-потоки с их разновидностями, что логикой выполнения классификации не допускается [Кондаков, 1976]. Выход видится в использовании для характеристики плановой формы гравитационных дислокаций представления о типах рисунка осей литосбора (разд. 2.1.4.): конвергентном, эквидистантном, дивергентном. Все перечисленные разновидности плановой формы дислокаций укладываются в рамки этой схемы в полном соответствии с правилами деления объема понятия [Кондаков, 1976]. Они распределяются следующим образом: 1) конвергентные (вариант К) – караваеобразные, дугообразные; 2) эквидистантные (вариант Э) – склоновые осыпи (шлейфы), линейные обвалы-потоки, плащеобразные обвалы; 3) дивергентные (вариант Д) – конусы выноса, серпообразные, сегментовидные, веерные или секторные, Тобразные. Остальные из упомянутых разновидностей могут входить в разные из перечисленных групп в различных типах обвальных литосборов. Например, плащеобразный обвал формируется при параллельном перемещении обвальных масс по обширному плоскому субстрату в условиях обрушения с протяженной стенки срыва, а при изометричной исходной обвальной массе и выпуклом субстрате образуется плащеобразное веерное тело.

Совокупность из 27 вариантов продольного профиля гравитационных дислокаций (рис. 10) также поддается дальнейшей классификации, которая, впрочем, уже как бы выполнена при составлении этой диаграммы. Остается только сделать необходимые пояснения. Группа из 9 вариантов I-III объединяет формы дислокаций, образующихся на горизонтальном субстрате. Уместно обозначить ее символом «ГС». Наиболее ярким представителем этой группы является вариант идеального обвала  $h_3$ III. Самые близкие к нему формы –  $h_3$ II и  $h_2$ III. Вариант  $h_2$ II отличается от идеального не на одну, а на две ступеньки (счет следует вести не по диагонали, а по горизонтали и вертикали). Вариант  $h_1$ I (склоновая осыпь) наиболее далек от варианта идеального обвала – на 4 ступеньки. Такая формальная система сравнения близости геометрической формы продольного профиля дислокаций представляется удачной для отражения степени их трудноопределимого реального родства.

СУБСТРАТ ТИП ОБВАЛЬНОГО ЛИТОСБОРА	с уклоном по падению УП	с контрук-
к 🖉		(C)
Э 🗄 эквидистантный		<b>S</b>
А <del>Қ</del> дивергентный		1 N 1

Рис. 24. Морфологическая бинарная классификация обвалов, построенная на основе вариации их формы в продольном профиле (в зависимости от наклона субстрата) и изменения планового рисунка (определяемого типом обвального литосбора)

Варианты формы продольного профиля IV-VI присущи гравитационным дислокациям, образующимся на субстрате с уклоном, совпадающим по направлению с падением масс (символ «УП»). Характерным ее представителем является обвал-поток (вариант  $h_3$ VI). Группа вариантов профиля VII-IX формируется на субстрате с контруклоном («КУ»). Ее наиболее высокодинамичный вариант – обвал-надвиг ( $h_3$ IX).

Объединение трехзвенной классификации формы продольного профиля гравитационных дислокаций (группы ГС, УП, КУ) с трехзвенной классификацией их формы в плане (группы К, Э, Д) позволяет создать бинарную классификацию, в

которую хорошо вписывается все разнообразие реальных форм обвальных и родственных им тел и пригодную для характеристики основных черт их строения по трем осям координат. Графический вариант такой классификации представлен на рис. 24 для наиболее высокодинамичного обрушения по типам идеального обвала (группа ГС), обвала-потока (группа УП) и обвала-надвига (группа КУ).

Комбинация концентрирующего литосбора с субгоризонтальностью (К-ГС) или с не очень большим уклоном субстрата (К-ГС-УП) обеспечивает формирование караваеобразного тела типа Дялтунгда-30 (рис. 25) в рое Бахапча или Угловой-38 (рис. 26-28) в рое Елау. При сочетании К-УП формируется выпуклый в поперечном сечении обвал-поток, такой как Сыгынах-14 в рое Елау (рис. 26, 29). В варианте К-КУ вздыбливание обвала-надвига на субстрат с контруклоном компенсируется параллельным процессом создания караваеобразно-сегментной формы обвального тела. Такая ситуация характерна для образования наиболее высокой части завальной плотины в долине р. Чул в составе значительно более крупного обвала Чул-300 (рис. 20, 30). Сочетание Э-ГС обусловливает

формирование сегментных обвалов, типа Нючага-12 в одноименном рое, Ола-3,7 и Ола-1,6 в рое Хурэндя. Размер их по хорде соответствует длине стенки срыва. Часто так формируются многосегментные обвалы – Дарпирчик-40 (рис. 15, 31) в одноименном рое, Дарпир-Сиен-4,5 (рис. 13) со смежными менее крупными обвалами в рое Дарпир. Комбинация Э-УП обеспечивает образование маломощных распластанных обвалов-потоков либо плащеобразных глыбовых покровов. Ширина их поперек осей литосбора зависит от длины стенки срыва. Такие обвалы-потоки более уплощены и удлиннены по сравнению с вариантом К-УП.



Рис. 25. Сейсмоструктура Сфинкс роя Бахапча, включающая крупные обвалы Сфинкс-150 (*C-150*), Дялтунгда-30 (Д-30), Дялтунгда-17 (Д-17), палеосейсмоблок СФИНКС-5 (*C-5*); *а* – схема в плане, *б* – гипсометрические профили: 1 – дневная поверхность в сечении по линии *I-II*; 2 – поверхность субстрата обвалов в том же разрезе; 3 – дневная поверхность в профиле по линии *II-III*; 4 – дневная поверхность в сечении по линии *III-III*; 5 – поверхность субстрата в том же разрезе; 6 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения в сечениях по линиям *I-I*, *III-III* (*a*) и по линии *II-III* (*б*); 7 – щебнисто-глыбовые отложения обвальных конусов выноса в изображении на гипсометрическом профиле; 8 – гипотетическая поверхность обвальных масс до их обрушения, изображенная в сечениях по линиям *I-I* и *III-III*; 9 – реконструированная поверхность ледников последнего позднеплейстоценового леденения в цирке Сфинкс и в троге Хетакагчан; 10 – поверхность предпоследнего позднеплейстоценового ледника Хетакагчан; другие условные знаки такие же, как на рис. 3



Рис. 26. Рои палеосейсмодислокаций Тирехтях и Елау в хр. Улахан-Чистай. Буквы *Т*, *УЧ*, *ЮТ*, *Ш*, *Б*, *С*, *Ск*, *У*, *Tc* в индексации дислокаций означают их названия, соответственно: Тирехтях, Улахан-Чистай, Юрюн-Тас, Шумный, Бёдёнг, Сыгынах, Сквозняк, Угловой, Тастах

Сочетание условий Э-КУ определяет возникновение обвалов-надвигов с причудливой, на первый взгляд, Т-образной формой. Параллельность осей обвального литосбора, не ослабляющая высокую энергию обрушения крупных масс с большой высоты, создает условия для весьма эффективного антигравитационного вздыбливания обвала по инерции на крутой противоположный склон узкой горной долины с кратковременным существованием, за счет обвальной аккумуляции, уклонов формирующегося тела, превышающих величину угла естественного откоса, отчего часть его объема выжимается и скатывается влево и вправо от первоначального направления обрушения. Фронтальная часть обвала при этом как бы расплющивается о преграду. Такую ярко выраженную форму, как уже отмечалось, имеет обвал Улахан-Чистай-300 в рое Тирехтях. Механизм формирования серповидных обвалов в комбинации Д-ГС достаточно полно описан ранее в разделе 2.7.1. Секторные или веерные плащеобразные обвалы-потоки образуются при варианте Д-УП. Примером их может служить обвал Шерман-Глейшер (разд. 2.7.1.). Снижение энергии обрушения за счет дивергентности литосбора в варианте Д-КУ обусловливает меньшую морфологическую выраженность боковых вторичных смещений части обвальной массы, чем в сочетании Э-КУ и тенденцию к возникновению треугольной и трапециевидной, а не Т-образной формы обвала-надвига.



Рис. 27. Обвал Угловой-38 в рое Елау с караваеобразной верхней (южной) частью (У-38В). У левой рамки снимка – сбросовый уступ с зеркалами скольжения по гранитам, изображенный на рис. 49. По этому сбросу заложился суффозионно-эрозионный каньон, разделивший обвал на верхнюю (У-38В) и нижнюю (У-38Н) части



Рис. 28. Продольный разрез верхней части обвала Угловой-38 (У-38В) в рое Елау: 1 – дневная поверхность в сечении вдоль линии тальвега руч. Угловой, через верхнюю часть обвала и по стенке срыва; 2 – поверхность субстрата обвала в том же разрезе; 3 – профиль правого водораздела руч. Угловой; 4 – тальвег суффозионноэрозионного каньона, врезанного в правый фланг верхней части обвала; 5 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения; 6 – рыхлые отложения подпрудного бассейна седиментации (БС) и аккумулятивного шлейфа, формирующегося из продуктов размыва обвала (Ш)



**Рис. 29. Продольный разрез обвала-потока Сыгынах-14 (С-14) в рое Елау:** 1 – дневная поверхность в сечении вдоль направления падения обвала; 2 – поверхность субстрата обвала и других, выраженных в рельефе рыхлых отложений в том же разрезе; 3 – профиль правого водораздела древнеледникового кара, в котором залегает обвал; 4 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения; 5 – отложения аккумулятивного шлейфа, формирующегося из продуктов размыва обвала; 6 – предполагаемые отложения последнего позднеплейстоценового оледенения



Рис. 30. Караваеобразный фрагмент (*Ч-300К*) завальной Чульской плотины, составляющий правый фланг фронтальной части обвала Чул-300 в рое Туманы. Левый фланг фронтального участка обвала слагают «трамплинные» обвальные массы (*Ч-300Т*), перелетевшие через г. Левый Пилон (рис. 21*a*). На переднем плане изображен уступ верхней и средней частей обвала Чул-300 (*Ч-300В*). О суффозионно-эрозионном размыве каньона рекой Чул, без перелива вод через запруду, свидетельствует врез его вдоль оси долины, невзирая на наибольшую высоту завала в этом месте. Поверхность северо-западного сегмента «каравая» преобразована перекрывающим его, пролювиально-селевым конусом выноса



рр. Рассоха и Омулевка. Морена вместе с коренным субстратом интенсивно дислоцирована. *Д-2-11* – палео-

фотопанорамы около 200° по горизонтали

сейсмоблок ДАРШИРЧИК-2-11. Угол охвата

олины Дарпирчик-Омчик в водоразделе

Для некоторых крупных обвальных литосборов рисунок типа УП осей может изменяться на разных их участках. Так, при обрушении достаточно протяженной части дугообразной стенки ледникового или древнеледникового кара обвальная масса в его пределах перемещается конвергентно, попав в сужение устьевой части кара или в область ледникового транзита малого ледника-притока трансформируется в эквидистантный обвал-поток, а вырвавшись на выпуклую поверхность главного крупного ледника или обширного устьевого конуса пролювиально-селевого выноса, распластывается дивергентно в виде уплощенного Такие особенности свойственны веера. в значительной мере литосборам обвалов Шерман-Глейшер и Уаскаран, возникших при Аляскинском 1964 г. и Перуанском 1970 г. землетрясениях, соответственно. Это может вызвать некоторые затруднения при классификации гравитационных дислокаций по типу осей литосбора. При характеристике обвального литосборного бассейна, безусловно, необходимо отмечать такую особенность, но при кодовом описании формы гравитационной дислокации решающее значение имеет рисунок осей литосбора на завершающей формирования. стадии ee Таким образом гравитационные дислокации, отмеченные в приведенных примерах, сформировались окончательно при дивергентном перемещении. классификация Эта (рис. 24)

проиллюстрирована на примере лишь одной высокоэнергичной ступени самой гравитационного смещения. В схеме вариации формы продольного профиля (рис. 10) их 5, с общим числом вариантов, равным 9. Полезно было бы представить подобный классификационный анализ и для остальных, но он достаточно трудоемок, и это предстоит сделать в более специализированной работе. При описании формы гравитационных дислокаций в трехмерном пространстве может использоваться несколько иная, чем изложенная, характеристика с применением той же системы символов И диаграмм. Например, форма гравитационных дислокаций может быть обозначена кодами: Улахан-Чистай-300 – Э-КУ-h<sub>2-3</sub>IX; Чул-300 – Д-УП-ГС-h<sub>2-3</sub>VI-III; Сфинкс-150 – К-УП-h<sub>1-2</sub>V; Дялтунгда-30 – К-УП-h<sub>2</sub>V; Нючага-12 – Э-ГС-h<sub>3</sub>II; Шерман-Глейшер – Д-УП-h<sub>3</sub>VI. Здесь комбинации

символов типа Э-КУ получены с диаграммы на рис. 24, а следующие за ними символы, являющиеся уточнением характеристики формы, – с диаграммы на рис. 10. Разумеется, для расшифровки смысла характеристики, выраженной символами, необходимо обращаться к этим же диаграммам. Наличие в некоторых из указанных кодов в индексации высоты стенки срыва двух чисел с дефисом между ними объясняется промежуточным положением реальной формы относительно имеющихся на диаграмме. А присутствие двух индексов, например, «УП» и «ГС», в коде обвала Чул-300 является выражением значительной неровности субстрата с сочетанием уклона по падению в тыльных частях тела и горизонтальности в долине Чула. Расположение индекса «VI» впереди индекса «III» того же кода означает преобладание этого типа продольного профиля в строении обвального тела. Исходная морфологическая информация для подобного кодирования может быть получена, естественно, только в результате дистанционного и полевого изучения гравитационных дислокаций.



Рис. 32. Дугообразный обвал Сфинкс-150 роя Бахапча, залегающий у подножья криволинейной стенки древнеледникового кара. Обвал разделен на правую (*C-150П*) и левую (*C-150Л*) половины суффозионной ложбиной, сформировавшейся на продолжении сейсмотектонической расщелины с дренирующим ее руч. Сфинкс (рис. 25). *C-5* – палеосейсмоблок СФИНКС-5; *X-360* – палеосейсмоблок ХЕТАКАГЧАН-360

Такая формализованная характеристика может быть дополнена словесной. Например, Улахан-Чистай-300 квалифицируется в качестве обвала-надвига Т-образной формы; Чул-300 – сложного веерного тела, с включением частей караваеобразной и плащеобразной формы, образовавшегося при высокоамплитудной неровности субстрата; Дялтунгда-30 – караваеобразного удлиненного в направлении падения тела – из-за большой крутизны субстрата; Сфинкс-150 – дугообразного, с выпуклостью против падения, тела, обусловленного средней крутизной субстрата, отчего конвергентность литосбора не реализовалась завершением формирования караваеобразности (рис. 25, 32, 33). При краткой характеристике формы менее крупных морфологически простых гравитационных дислокаций, чтобы получить представление о существенных чертах их строения, можно обойтись без дополнительной информации. Например, код Э-ГС-h<sub>3</sub>II характеризует обвал Нючага-12 как сегментный, сформировавшийся при обрушении с большой высоты, в условиях умеренного растягивания процесса обрушения во времени и с перемещением обвальной массы по эквидистантным осям литосбора.



Рис. 33. Интенсивно дислоцированные граниты на правом фланге ниши отрыва палеосейсмообвала Сфинкс-150. Дугообразность ниши, в сочетании с большой величиной цирка и сравнительно небольшой крутизной его днища, предопределила такую же форму в плане обрушившегося из нее обвала. *С-5 и Х-360* – фрагменты палеосейсмоблоков СФИНКС-5 и ХЕТАКАГЧАН-360

Подобная морфологическая характеристика, сопровождающаяся выявлением существенных черт строения гравитационных дислокаций, может служить надежной основой для максимально точной реконструкции механизма их формирования и, разумеется, для достоверной генетической интерпретации.

#### 2.7.3. Обвальный потенциал

Из результатов анализа роли гравитационных дислокаций как компонентов и индикаторов роев палеосейсмодислокаций следует ввести представление об обвальном потенциале. При прочих равных условиях его величина тем больше, чем больше высота и крутизна склона. На Северо-Востоке России повышенным обвальным потенциалом обладают денудационно-тектонические склоны морских берегов, межгорных и внутригорных впадин, речных, а также ледниковых и древнеледниковых троговых долин и цирков. Отдельные склоны и участки территории могут квалифицироваться и сравниваться по величине обвального потенциала в качественном, количественном и полуколичественном выражении. Качественная характеристика обвального потенциала территории, например, по шкале «высокий, средний, низкий», может использоваться наряду с количественной. Она применима при сравнении в самых общих чертах различных районов, участков, склонов. Так, альпинотипные высокогорья, очевидно, обладают более высоким обвальным потенциалом, чем средне- и низкогорья.

Количественное сравнение по величине обвального потенциала двух конкретных склонов может быть выполнено во многих случаях без особых затруднений. Например, при одинаковой высоте потенциал выше у более крутого склона, а при одинаковой крутизне – у более высокого. Когда же один из них ниже, но круче, а другой выше, но менее крут, возникают некоторые затруднения в сравнении их потенциала. Выход из этого положения может быть найден при использовании, например, некой комплексной характеристики склона, представленной произведением величины крутизны склона, выраженной, к примеру, в виде коэффициента, равного синусу угла наклона и высоты, обозначенной в единицах сотен метров. Так, склон высотой 500 м и крутизной 30° будет иметь обвальный потенциал 2,5 (5 x 0,5), а склон высотой 350 м и крутизной  $45^{\circ}$  – 2,45 (0,7 x 3,5). Эта принципиальная, но весьма приблизительная схема оценки, разумеется, нуждается в уточнении значимости каждого из сомножителей посредством сравнения с экспериментальными данными. Возможно, лучше подойдет радианное выражение величины угла склона. При малых величинах численные значения коэффициента угла в «синусном» и в радианном выражении практически равны, а при повышении крутизны до 90° синус возрастает лишь до 1, а в радианном выражении – до 1,57. В этом случае обвальный потенциал более крутого, но низкого склона окажется выше – 2,77 против 2,6. Радианное значение коэффициента, к тому же, увеличивается и при отрицательных уклонах, что соответствует представлению об обвальном потенциале.

При сравнении различных участков и территорий по обвальному потенциалу требуется введение еще одного параметра, характеризующего количество склонов с каким-то повышенным обвальным потенциалом либо в абсолютном выражении, либо приходящееся на единицу площади. В качестве такого параметра может выступать длина склонов (по их простиранию) с повышенным обвальным потенциалом. Однако уравновешивание трех сомножителей в получаемой величине произведения с целью обеспечения соответствия его какой-то более-менее реальной величине обвального потенциала представляется трудно реализуемым, что вынуждает зафиксировать на определенном уровне некоторые из исходных параметров. В первую очередь это можно сделать с крутизной склона. В качестве наиболее подходящего критерия для массового определения величины обвального потенциала подходит выделение склонов, причисляемых к разряду обвально-осыпных, с крутизной, превышающей угол естественного откоса – около 45° для скальных пород в горах. Такие склоны на топографических картах изображаются не горизонталями, как более пологие, а штрихами в сочетании с только утолщенными изогипсами или совсем без них.

В простейшем варианте полуколичественных оценок можно обходиться без учета высоты обвально-осыпных склонов, выявляемых, например, для обеспечения единообразия по топокарте определенного масштаба (лучше 1:100 000). Абсолютная величина обвального потенциала какого-либо участка может быть просто выражена длиной в километрах обвально-осыпных склонов, относительная или удельная – в км/км<sup>2</sup>. Введение уточняющих коэффициентов на высоту склонов требует дополнительных исследований, в том числе и экспериментальных и, вероятно, не обеспечит ожидаемого существенного повышения точности определений обвального потенциала. Картографическая генерализация, используемая при создании карт, позволяет при таком способе вычисления величины обвального потенциала исключить недостаточно высокие склоны, то есть в каких-то пределах зафиксировать еще один исходный параметр – высоту склона. Такую – морфометрически определяемую величину обвального потенциала, без учета свойств горных пород, можно было бы назвать идеальной.

Априорно допустимо утверждать, что реальная величина обвального потенциала должна определяться еще одним важным параметром – прочностью горных пород, слагающих склоны. Сразу надо отметить, что имеющаяся возможность ее количественного определения физическими методами для штуфных объемов горных пород совершенно не реализуема в количественном выражении для горных массивов и тем более для обширных территорий. Реальная прочность скальных склонов – точнее, устойчивость к обрушению – при фиксированном значении прочности горных пород, может варьировать в очень широких пределах в зависимости от степени их тектонической раздробленности и ориентировки трещин относительно векторов силы тяжести и импульсов сейсмических воздействий.

Противоречиво может оцениваться влияние прочности горных пород на величину обвального потенциала. Увеличивается обвальный потенциал с ростом прочности или наоборот – уменьшается? С одной стороны, казалось бы, чем больше прочность, тем труднее преодолеть ее, например, постоянно действующей силе тяжести и вызвать обрушение – то есть сделать обвальный потенциал не идеальным, умозрительным, а реальным, но при этом выше уровень нереализуемого и нереализованного потенциала. С другой – чем меньше прочность, тем скорее горный массив теряет высоту и крутизну и, соответственно, обвальный потенциал.

Вместе с тем, следует учитывать, что значительная часть горных сооружений находится под воздействием не только гравитации, медленных тектонических движений, экзогенных факторов

рельефообразования, но еще и сейсмических толчков разной силы. Роль сейсмичности в рельефообразовании оценивается большей частью по весьма эффектным, но сравнительно редким (почти экзотическим в понимании большинства исследователей) результатам действия ее наиболее сильной – разрушительной составляющей, что отражено, например, в учебниках по общей геоморфологии и динамической геологии [Леонтьев, Рычагов, 1988]. На основании инструментальных сейсмологических наблюдений последних десятилетий можно утверждать, что сейсмичность участвует в формировании рельефа горных сейсмоактивных регионов не эпизодически, а практически постоянно, правда, с некоторой оговоркой – в геологическом масштабе времени. Это утверждение можно расценивать как бесспорное в отношении высокосейсмичных регионов, например, таких, как Камчатка и Курилы. Из устного сообщения А.В.Викулина следует, что сейсмостанцией Петропавловск-Камчатский каждые сутки регистрируется в среднем около 4 землетрясений различной силы. Большая часть из них местные.

Для сейсмического пояса Черского это утверждение нуждается в более обстоятельном обосновании. По данным Б.М.Козьмина [1984], в горах Черского на площади 340 тыс.км<sup>2</sup> помимо сильных землетрясений происходит довольно много средних и еще больше слабых, с энергетическим классом 10-13 и интенсивностью до 6 баллов. Каждый участок этой горной территории с площадью 1 тыс.км<sup>2</sup> (32×32 км) за приблизительно десятитысячелетний голоценовый период подвергся в среднем воздействию 147 землетрясений 10-го класса, 42 – 11-го, 15 – 12-го и 5 – 13-го. В сумме это составляет 209 землетрясений, то есть одно землетрясение происходит приблизительно в 50 лет. Информация по более сильным землетрясениям за короткий период инструментальных наблюдений статистически непредставительна и поэтому в данном случае не рассматривается. Но можно предполагать, что их вклад в средне- низкоэнергетическое сейсмическое воздействие на горные сооружения на больших удалениях от очага также заметен, поскольку площади, например, 5-балльных сотрясений для самых сильных из современных землетрясений региона – составляют 150-250 тыс.км<sup>2</sup>. Такая частота слабых и средних сейсмических воздействий обусловливает периодически-постоянное ускорение хода склоновых процессов, в том числе и обвально-осыпных и даже стряхивание с достаточно крутых склонов малых объемов неустойчивых масс горных пород. Эти рассуждения подтверждаются данными стационарных исследований склоновых процессов в хр. Хамар-Дабан [Макаров, 1988]. Обычная величина смещения склонового чехла, обусловленная действием экзогенных факторов, составляет там 0,4-5,6 мм/год. Единовременные подвижки всей массы склоновых отложений, вследствие воздействий слабых землетрясений 1 981 и 1 983 гг., достигали 30 и 6.6 мм, что превосходит величину обычной склоновой денудации за год.

В результате устойчивость горных склонов к постоянному асейсмическому воздействию гравитации и экзогенных агентов денудации возрастает – то есть снижается потенциал возможных малых обрушений. Это объясняется тем, что на склонах не происходит обусловленное выветриванием накопление масс неустойчивых горных пород, которые могли бы при достижении некоторого критического объема обрушиваться с них без какого-либо существенного внешнего воздействия, так как они регулярно удаляются малыми порциями. Вместе с этим не снижается, а пожалуй, даже возрастает, вероятность обрушения крупных объемов, но только при экстраординарных сейсмических событиях.

Поэтому представляется совершенно закономерным результат экспериментального провоцирования обрушения горных пород с максимально неустойчивого, по экспертной оценке, сложенного интенсивно дислоцированными гранитами склона с крутизной от 30 до 90°, рассеченного зияющими трещинами на всю его 450-метровую высоту [Важенин, Мишин, 1988]. При планировании эксперимента вероятность обрушения, хотя бы малых горных масс, оценивалась на уровне не менее 0,5. Реальный эффект оказался практически нулевым. 500-килограммовой массы аммонита хватило лишь для выброса дробленых обломков глыб из трещины, в которой размещался заряд. Не было даже малообъемных камнепадов, несмотря на наличие нависающих участков склонов и свободно залегающих на «полочках» огромных глыб.

Влияние сильнейших землетрясений на устойчивость склонов с повышенным обвальным потенциалом, по-видимому, также неоднозначно. Противоречие заключается в том, что крупнообъемные сейсмогенные обрушения, с одной стороны, вызывают снижение крутизны и высоты склонов в пределах плейстосейстовых областей, а для древних землетрясений – в пределах роев палеосейсмодислокаций; с другой – обусловливают появление новообразованных поверхностей с повышенной крутизной и сейсмотектонической раздробленностью то есть увеличивают вероятность малых обрушений, в том числе, по-видимому, даже без непосредственного провоцирования их сейсмическими импульсами. Неоднозначно расценивается влияние на изменение обвального потенциала и воздействие таких мощных агентов денудации как горные ледники. Функционирующие долинные ледники поддерживают крутизну горных склонов на довольно высоком уровне за счет экзарации бортов и днищ долин, малых обрушений на их поверхность с обнаженных скал и непрерывного выноса образующегося обломочного материала в область абляции. Это обусловливает высокий уровень обвального потенциала. Вместе с тем, ледники заполняют собой значительную часть поперечного сечения долин, существенно снижая (на первые сотни метров, а порой и более) высоту обнаженных склонов, с которых только и могут происходить обрушения. Деградация ледников способствует значительному повышению обвального потенциала стенок сохранившихся трогов и каров благодаря увеличению высоты экспонированных склонов и, по-видимому, из-за исчезновения ледовых «распорок» из отрицательных форм ледникового рельефа.

Как видно из изложенного, приближение идеальных оценок обвального потенциала к реальной действительности затруднено противоречивым действием на его величину достаточно мощных факторов рельефообразования, что ограничивает использование этого понятия, главным образом, на качественном и полуколичественном уровне.

## 2.8. Анализ литосборов и сейсмогенные тромбы

Согласно представлению о фотоландшафте, ЛСБ-анализ, в предлагаемой палеосейсмогеологической методике, выполняется на первой стадии исследований по серийным спектрозональным космоснимкам с пространственным разрешением в первые десятки метров и только в стереомодели. Благодаря высокой обзорности таких космоснимков и, соответственно, возможности оперативного изучения крупных регионов, у дешифровщика быстро формируется представление о нормальных и аномальных (в отношении интенсивности процессов транспортировки обломочного материала), литосборах. Так, наиболее часто гипсометрический профиль осей литосбора для горной территории имеет заметно вогнутый вид, подобный кривизне известной гипсографической кривой для суши. Отклонения от этого стандарта легко фиксируются в стереомодели и воспринимаются как тромбы на осях литосбора. Значимость скальных обвалов, квалифицируемых в качестве сейсмогенных тромбов, лимитируется горизонтальным и вертикальным разрешением космоснимков, при котором легко выявляются и достаточно уверенно интерпретируются только крупные тромбы объемами не менее 1 млн м<sup>3</sup>.

Наиболее часто тромбы встречаются в сейсмически возбужденных и в реликтовых ледниково деформированных ЛСБ. Сейсмогенные тромбы размещаются только на активных участках осей современных литосборов (иначе – в частях ЛСБ с повышенным обвальным потенциалом). Древнеледниковые тромбы располагаются, в соответствии со спецификой ледникового литосбора, на участках разгрузки древних ледников (большей частью в области абляции), которые существенно не совпадают с активными частями современных ЛСБ. В случаях исключений из этого правила решающую роль в генетической интерпретации «сомнительных» тромбов играет полевой тест на петрографическое соответствие тромба его предполагаемым либо обвальному, либо древнеледниковому литосборам.

В рамки ЛСБ-анализа легко вписывается анализ формы гравитационных дислокаций, который также выполняется в стереомодели на космо- и аэроснимках при разных увеличениях вплоть до пятикратного. Положение обвального тела, близкого по форме к идеальному, относительно его литосбора, обязательно включающего смещающий склон (для голоценовых дислокаций) и его геометрическая форма являются производными от высокодинамичного процесса обрушения крупных масс с большой высоты (от сотен до тысячи метров и более), что придает им специфические черты, не свойственные образованиям, возникшим в результате медленной аккумуляции грубообломочных отложений.

Отражением динамики ударного дробления глыб и блоков горных пород в обвальном литосборе являются их остроугольность, острореберность и трещиноватость. Наиболее надежным из этих полевых критериев интерпретации тромбов следует считать трещиноватость, следы которой способны сохраняться на протяжении нескольких тысячелетий даже в тех случаях, когда интенсивно дробленые глыбы трансформируются до состояния «разборной скалы» либо вообще превращаются в кучи остроугольного щебня, тогда, как внешние углы и ребра глыб за это время заметно сглаживаются процессами выветривания.

Важным отличительным полевым и дистанционным признаком древнеледниковых и сейсмогенных тромбов является их различная фильтрационная способность: водоупорность первых и водопроницаемость вторых. Древнеледниковые тромбы преодолеваются подпруженными водотоками только посредством перелива через запруду с медленным врезанием в морену крайне извилистого и порожистого русла. Размыв завальных тромбов осуществляется преимущественно суффозионным путем, облегчаемым действием аблювиального эффекта, и сопровождается на первых этапах формированием ложбин на поверхности завальных плотин над каналами подземного стока, а в дальнейшем – суффозионно-эрозионных каньонов со сравнительно постоянным по продольному профилю уклоном и с постоянным по длине каньона V-образным поперечным профилем. При возникновении обвальных тромбов на водотоках I-III порядков из-за весьма высокой фильтрационной способности слагающего их преимущественно глыбового материала обычно не образуются подпрудные озера. Подземный сток сквозь такие завалы достигает в ряде случаев на Северо-Востоке России длины двух километров. Менее водопроницаемые обвально-оползневые и оползневые тромбы создают эфемерные в геологическом масштабе времени подпрудные озера.

Активная флювиальная аккумуляция обломочного материала, происходящая в подпрудных бассейнах, возникающих в долинах выше обвальных тромбов, размыв гравитационных тромбов и вызванная этим аккумуляция продуктов размыва у нижних бьефов завальных плотин составляют морфологически наиболее хорошо выраженные и доступные для дистанционного изучения признаки постгенетической эволюции сейсмогенных тромбов и адаптации сейсмически возбужденных литосборов к современным динамическим условиям.

#### 2.8.1. Тест на петрографическое соответствие тромба и его литосбора

Важную информацию для генетической интерпретации дислокаций можно получать при сравнении сейсмогенных и иных тромбов с их предполагаемыми литосборными бассейнами по петрографическому составу горных пород. Очевидно, что степень петрографического соответствия горных пород, слагающих тромб и его литосбор, должна быть очень высокой, приближающейся к полной и совершенно полной. Изменение полноты петрографического соответствия обусловлено, как минимум, двумя причинами.

Одна из них заключается в длительности процесса формирования некоторых генетических разновидностей тромбов. К их числу относятся конечные морены и более редкие морфологически выраженные фрагменты береговых (боковых) морен. Конечные морены формируются в течение сотен и тысяч лет. В течение продолжительного времени премещения ледником обломочного материала к месту аккумуляции в виде тромба обломки горных пород разной исходной крупности подвергаются дезинтеграции на меньшие части по первоначальным трещинам тектонического и экзогенного происхождения под действием многократного замерзания и оттаивания проникающей в них воды. Этот процесс сопровождается истиранием, окатыванием крупных обломков, выносом посредством водной эрозии и ветровой дефляции наиболее мелких фракций. В результате в крупных фракциях обломочного материала, слагающего ледниковые тромбы обширных ледо- и литосборов, представленных горными породами разного петрографического состава, преобладают разности массивных горных пород, склонных к формированию больших обломков и устойчивых к истиранию. Доля неустойчивых к механическому воздействию пород уменьшается. Таким образом, при длительной транспортировке происходит снижение степени петрографического соответствия тромба его литосборному бассейну.



Рис. 34. Палеосейсмообвал Юрюн-Тас-50 (*ЮТ-50*) в верховье одноименной долины (рой Тирехтях), рассеченный глубокими суффозионно-эрозионными каньонами, сформировавшимися вдоль оси активного разлома Улахан. Ниша отрыва соразмерна по объему обвалу. Он состоит исключительно из гранитных глыб, источник которых находится в левом борту долины, а правый борт сложен карбонатными горными породами: 1 – точка и направление съемки рис. 35



Рис. 35. Налегание фронтальной части обвала Юрюн-Тас-50 (*ЮТ-50*), сложенного только гранитными глыбами (имеющими темно-серый тон из-за накипных лишайников на них) на правый борт долины, состоящий из светлых коренных мраморов и мраморизованных известняков Обвальные и оползневые тромбы в наибольшей мере среди всех генетических типов отложений совпадают по петрографическому составу со своими литосборными бассейнами. Это обычно легко обнаруживается при сравнении горных пород, слагающих обвал и его стенку срыва. Резкое петрографическое несоответствие в пределах обвального литосбора может возникать при совпадении поверхности отрыва с границей горных пород разного петрографического состава. В таких ситуациях необходим учет геологического строения фланговых зон стенки срыва и ниши отрыва за пределами данного обвального литосбора. Подобные ситуации достаточно редки. Бывают случаи присутствия в составе бесспорно обвальных тромбов древнеледниковых валунов, петрографически отличающихся от коренных пород в стенке срыва. Такое видимое несоответствие часто просто объясняется залеганием на склоне или водоразделе (до обрушения его части) древнеледниковых отложений. Это также без особого труда выясняется при полевой заверке.

В некоторых ситуациях факт петрографического соответвествия или несоответветствия может наблюдаться даже на космоснимках при условии высокого спектрального контраста горных пород, слагающих тромбоформирующие литосборы. Это характерно, например, для крупнейших обвалов в рое Тирехтях. Правый борт долины руч. Юрюн-Тас сложен весьма светлыми протерозойско-кембрийскими мраморами и мраморизованными известняками. Их глыбы формируют обвал Улахан-Чистай-300 (рис. 23). В левом борту обнажаются меловые граниты, покрытые коркой выветривания и серыми накипными лишайниками. Из таких же гранитных глыб состоит обвал Юрюн-Тас-50 (рис. 34, 35). Однако достоверное петрографическое тестирование возможно лишь при полевой заверке и фоторегистрации.

## 2.9. Сейсмогенерирующие блоки

#### 2.9.1. Представление о сейсмоблоках

В составе комплексных роев палеосейсмодислокаций, выявленных и изученных дистанционными методами в последние годы в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского, помимо гравитационных и тектонических выделяется более двух десятков гравитационно-тектонических палеосейсмодислокаций [Важенин, 1988 a, b, 1992 a, b, 1995 b, 1996 b; Важенин, Мишин, 1993]. Изучение 17 из них еще и полевыми методами позволило выявить в их строении специфические черты, дающие возможность интерпретации этих объектов в качестве сейсмогенерирующих блоков (сейсмоблоков, палеосейсмоблоков).

Сейсмоблоки представляют собой блоки земной коры размерами до 1 км и более, имеющие резкие ограничения от фона по всему (или почти по всему) периметру в виде сбросовых (редко взбросовых) уступов, расщелин, маркированных по всей их длине часто сплошным шлейфом гравитационных и тектонических дислокаций. Объемы сейсмоблоков вычислялись, исходя из предположения о их более-менее изометричной форме, по способу [Важенин, Мишин, 1993; Важенин, 1996 б], в соответствии с которым использовались два усредненных горизонтальных размера, а вертикальный приравнивался к меньшему из них (рис. 36). Определенные таким образом объемы предполагаемых палеосейсмоблоков юго-восточной половины сейсмического пояса Черского характеризуются величинами от 0,125 до 360 км<sup>3</sup> (табл. 1., рис. 37).



Рис. 36. Способ вычисления объема сейсмоблоков: a, b – усредненные горизонтальные размеры сейсмоблока (a – больше или равно b); произведение усредненных горизонтальных размеров должно быть равно площади дневной поверхности сейсмоблока ( $a \times b = S_{c\delta}$ ); размер по вертикали «c» приравнивается к наименьшему из горизонтальных (c=b); объем сейсмоблока  $V_{c\delta} = a \times b^2$ 

## Краткая характеристика сейсмоблоков юго-восточной половины сейсмического пояса Черского

No.4	Сейсмоблок	Рой палео	Vapakillalilli	BUCOTO OVO		Изунациости
JN <u></u> 24	Сейсмоолок	гои палео-	у срекдненные	Бысота сме-	<b>K</b> .5	Изученность
		каший со-	размеры сенс-	щающих ус-	<b>K</b> <sub>1</sub> <i>5</i>	
		кации, со-	MOOJIOKOB, KM	TYHOB, M		(кс), аэро-
		сейсмоблоки				
1	БОРОНГ-1 56	Боронг	1 3×1 1×1 1	Ло 10	13.57	и в «поле» (п)
2	МОХОВОЙ-20	Эрикит	7×1 7×1 7	До 10	14 69	Кс
3	БЁЛЁНГ-1	Блау	3×0.6×0.6	До 10	13 39	Ксасл
4	СКВОЗНЯК-0 125	_"_	0.5×0.5×0.5	До 10	12 48	Ксасл
5	ЮРЮН-ТАС-3 3	Тирехтях	$23 \times 12 \times 12$	До 150	13.90	Ксасл
6	ОХОТНИЧИЙ-1 5	Ларпирчик	1 5×1×1	~4	13,57	Ксасп
7	ЛАРПИРЧИК-11	_"_	5×1 5×1 5	Ло 5	14 43	Ксасл
7.	ЛАРПИРЧИК-2(вложен в	_"_	2×1×1	До 5	13.69	Ксасп
	ДАРПИРЧИК-11)		2 1 1	Ac 2	15,09	110, 40, 11
8.	ПРОПАСТЬ-?7	Дарпир	-	-	-	Кс, ас, п
9.	ЗОРЬКА-0,2	Колыма	1×0,44×0,44	До 5	12,69	Ac
10.	МЕЛЬДЕК-0,3	Туманы	0,7×0,7×0,7	До 3	12,86	Кс, ас, п
11.	ЧУЛ-9	-"-	4×1,5×1,5	До 30	14,34	Кс, ас, п
	ЧУЛ-2(вложен в ЧУЛ-9)		2×1×1	До 500	13,69	Кс, ас, п
12.	ХЕТАКАГЧАН-360	Бахапча	10×6×6	До 30	15,59	Кс, ас, п
	СФИНКС-5 (вложен в	_''_	5×1×1	До 10	14,09	Кс, ас, п
	ХЕТАКАГЧАН-360)					
13.	ОРАНГУТАН-1	_''_	1×1×1	До 50	13,39	Кс, ас, п
14.	НУКЕ-1,5	Хурэндя	1,5×1×1	До 10	13,57	Кс, ас, п
15.	УПТАР-0,5	Дукча	2×0,5×0,5	До 20	13,09	Кс, ас, п
16.	ДУКЧА-0,125	-"-	0,5×0,5×0,5	До 10	12,49	Кс, ас, п
17.	БОЛЬШОЙ ЗАБИЯКА-	Сиглан	0,7×0,6×0,6	До 30	12,79	Ас, п
	0,25					
18.	ЛУЖИНА-11	Чуткавар	3,3×1,8×1,8	До 5	14,43	Кс, ac
	ЛУЖИНА-5,2	-"-	1,8×1,7×1,7	_"_	14,11	Кс, ac
	ЛУЖИНА-3,6	-"-	1,6×1,5×1,5	_"_	13,59	Кс, ac
	ЛУЖИНА-0,7 (ЛУЖИНА-	-"-	1,5×0,7×0,7	_"_	13,28	Кс, ac
	5,2-0,7 вложены в					
	ЛУЖИНА-11					
19.	НИЖНИЙ ЯНЫЧАН-0,4	Нижний	0,8×0,7×0,7	До 10	12,99	Ac
	<u>~</u>	Янычан				
20.	НИЖНИИ ЯНЫЧАН-0,15	-"-	0,6×0,5×0,5	До 10	12,57	Ac
21.	ЛИХОИ-32	Верхний	3,2×3,2×3,2	До 5	14,89	Ac
		Янычан			10 - :	
22.	ГУИКИЧ-1,4	Иня	2,8×0,7×0,7	До 10	13,54	Kc, ac

Исходя из представлений С.В.Мишина об излучении сейсмической энергии в результате соударения блоков земной коры [Мишин, Шарафутдинова; 1992, Мишин, 1993], любой из сейсмоблоков можно считать источником сейсмического излучения тем большего, чем больше его объем (масса) и амплитуда смещения. Так, блок объемом 9 км<sup>3</sup> при опускании его на один метр может вызвать сейсмическое излучение, соответствующее землетрясению с магнитудой М=6. Для каждого из выяв-

<sup>4</sup> Номер сейсмоблока в таблице соответствует номеру на рис. 37.

<sup>5</sup> Энергетический класс сейсмоблока (K<sub>1</sub>), равный логарифму энергии, выделившейся при его опускании на 1 м. Увеличение высоты опускания на один порядок вызывает рост энергетического класса (K<sub>10</sub>) на единицу.

<sup>6</sup> Здесь и далее название сейсмоблока записывается, в отличие от гравитационных дислокаций, заглавными буквами, а числа (число) в названии означают объем в км<sup>3</sup>.

<sup>7</sup> Выделение контура и вычисление объема затруднительны без дополнительного изучения.
ленных палеосейсмоблоков определен энергетический класс (K<sub>1</sub>), равный логарифму энергии, выделившейся при опускании блока массой m на 1 м. Унификация всех палеосейсмоблоков по амплитуде вертикального смещения величиной 1 м вызвана затруднительностью, в большинстве случаев, доказательства одноактности опускания блоков на всю наблюдаемую высоту смещающего уступа, часто много большую 1 м.



Рис. 37. Размещение палеосейсмоблоков И эпицентров сильных современных землетрясений юго-восточной В половине сейсмического пояса Черского: 1-4 эпицентры землетрясений не менее 12-го класса энергетического (по Б.М.Козьмину [1984]): 1 - К=15 и более, 2 - К=14, 3 - К=13, 4 - К=12; 5 простые сейсмоблоки; 6 – сложные сейсмоблоки (типа «матрешки»); 7 номера сейсмоблоков (соответствуют их нумерации в табл. 1)

Величина энергетического класса известных на сегодня на Северо-Востоке России палеосейсмоблоков изменяется от 12,49 до 15,95. При упомянутых допущениях в

определении величины энергетического класса палеосейсмоблоков (K<sub>1</sub>) наблюдается неплохое совпадение их совокупности по энергетике с диапазоном сильных современных землетрясений на той же территории с K=12 и более.

Свыше 70% из всех выделенных на Северо-Востоке России сейсмоблоков изучено по спектрозональным стереокосмоснимкам, не менее 90% – по аэроснимкам и около 70% рекогносцировочно обследовано «в поле». В настоящее время [Важенин, 1996 *б*] известно более 28 предполагаемых палеосейсмоблоков, входящих в состав 16 роев палеосейсмодислокаций. Рои Дарпирчик, Туманы, Бахапча, Чуткавар содержат до трех и более палеосейсмоблоков. Имеются простые (одиночные) сейсмоблоки и сейсмоблоки типа «матрешки», состоящие из мозаики разнокалиберных блоков, в которой меньшие входят в состав больших (ХЕТАКАГЧАН-360 и СФИНКС-5, ЛУЖИНА-11-5,2-3,6-0,7, ЧУЛ-27-9-5,6-2, ДАРПИРЧИК-11-2). Две трети из общего числа палеосейсмоблоков имеют четырехугольную в плане форму, около четверти – треугольную и только два – овальную (ХЕТАКАГЧАН-360) и круглую (ЛИХОЙ-32).

Достоверность выделения палеосейсмоблока определяется качеством выраженности в рельефе ограничивающих его смещающих уступов. При этом противоречивую роль играют гравитационные дислокации. С одной стороны, они маркируют сместители сейсмоблока, с другой – погребают их тем интенсивнее, чем динамичнее сейсмоблок. Сместители, совпадающие с горными долинами, до-полнительно, помимо обвалов, интенсивно погребаются сейсмически активизированными флювиальными процессами литосбора.

## 2.9.2. Палеокинематические реконструкции сейсмоблоков

Сочетание палеосейсмоблоков в роях с гравитационными и тектоническими дислокациями позволяет выполнять их палеокинематические реконструкции посредством возрастного сопоставления сместителей с коррелятными сейсмогенерирующим подвижкам блоков отложениями (обвалами, обвально-осыпными и пролювиально-селевыми конусами выноса), а также с реперными образованиями (древнеледниковыми отложениями, вершинными и склоновыми поверхностями). На этих принципах выполнены палеокинематические реконструкции сейсмоблоков в роях Елау (горы Черского), Бахапча (Верхнеколымское нагорье), Верхний Янычан и Туманы в Северном Приохотье.

В состав Чульской сейсмоструктуры (рис. 20) роя Туманы входит система предполагаемых палеосейсмоблоков типа «матрешки»: ЧУЛ-27-9-5,6-2, а также огромный сбросообвал ЧУЛ-300, несколько обвалов объемами до 10 млн м<sup>3</sup>, множество обвально-осыпных конусов выноса, система сбросовых уступов с высотами от первых десятков до 500 м, серия расщелин длиной до 1 км и глубиной в десятки метров. Предполагаемой сейсмогенерирующей подвижке блока ЧУЛ-27 по уступу высотой в первые десятки метров, нет коррелятных крупных обвалов, маркирующих его контур. С этой подвижкой можно сопоставить лишь аномально большие конечно-моренные образования в среднем течении р. Туманы, сформированные, вероятно, из обильного обвального материала, деградирующим позднеплейстоценовым ледником. В начале голоцена произошла сейсмоизлучающая подвижка сейсмоблока ЧУЛ-9, вероятно, консолидированно с включенным в него сейсмоблоком ЧУЛ-2. С ней коррелируются два крупных обвала в среднем течении долины руч. Озерный (приток Чула). В среднем голоцене – не позже 2 тыс. л. н. произошла подвижка сейсмоблока ЧУЛ-2 по 500метровому ступенчатому сбросу, вызвавшая срыв сбросообвала ЧУЛ-300. Верхний предел возраста этого события получен дендрохронологическим и радиоуглеродным датированием (М.А.Трумпе, А.В.Ложкин и др.) отмерших стволов кедрового стланика с поверхности этого обвала. Амплитуда одноактного смещения блока ЧУЛ-2 по вертикали могла быть и существенно меньшей высоты сбросового уступа.

## 2.9.3. Ряд сейсмотектонической эволюции интрузивов

На основании приуроченности большинства палеосейсмоблоков к контактовым зонам позднемезозойских интрузивов, а также произведенных палеокинематических реконструкций сейсмоблоков и наблюдаемых различий в сейсмотектонически обусловленном эрозионном расчленении интрузивов и вмещающих их отложений выработано представление о ряде сейсмотектонической эволюции интрузивов. Первой стадии эволюции среди изученных объектов соответствует перекрытый меловыми эффузивами «всплывающий» интрузив, на котором возник палеосейсмоблок ЛИХОЙ-32 (рой Верхний Янычан). На второй стадии находятся Чугулуккский массив с сейсмоблоками роя Елау, Бахапчинский массив с сейсмоблоками одноименного роя, Магаданский массив с сейсмоблоками Дукчинского роя [Важенин, 1992 *а*]. Для этих массивов характерна довольно высокая степень сохранности округлой, по-видимому, первичной поверхности интрузива. Примером третьей стадии сейсмотектонической эволюции может служить Туманский массив с сейсмоблоками одноименного роя. Он уже существенно расчленен густой сетью горных долин глубиной до 1 400 м.

На сегодня сейсмоблоки известны лишь не более, чем у 8% всех интрузивов на исследованной территории. Однако оценка их значения в сейсмической активности и в рельефообразовании может быть существенно повышена при учете потери значительной части информации о доголоценовых сейсмоблоках в ходе активного плейстоценового морфолитогенеза. При этом роль сейсмоблоков, при допущении их функционирования как в качестве результатов сильных землетрясений, так и в качестве источников сейсмического излучения, представляется немаловажной в сейсмоактивных регионах не только в смысле непосредственного, весьма быстрого преобразования рельефа, но и в смысле мощного стимулятора интенсивности «медленных» эволюционных процессов морфолитогенеза.

Отсутствие до сих пор информации об образованиях, подобных сейсмоблокам, при изучении плейстосейстовых областей многих современных сильных землетрясений может быть объяснено: а) недостаточно тщательными для выявления сейсмоблоков и ориентированными на поиск сейсмогенерирующих разломов исследованиями; б) кинематикой опускания части сейсмоблоков с перекосом (с поворотом вокруг горизонтальной оси, близкой к одной из сторон блока), с образованием уступа не по всему его периметру; в) реализующейся в ряде случаев кинематикой взбросообразования в процессе выжимания из недр сранительно малых блоков за счет малоамплитудного (и потому незаметного) опускания больших смежных блоков.

#### 2.10. Определение возраста палеосейсмодислокаций

В результате действия разрушительных землетрясений и формирования палеосейсмодислокаций возникают новообразованные поверхности, рассекающие горные породы и элементы рельефа, а также, в какой-то мере, погребаются старые поверхности. Это обеспечивает принципиальную возможность датирования палеосейсмодислокаций. Новообразованные поверхности представлены возникшими в результате землетрясений экспонированными стенками сбросовых и взбросовых уступов, расщелин и той части сдвигов, которые рассекают борта эрозионных и тектонических отрицательных форм рельефа и их элементов и кроме того новоэкспонированными поверхностями гравитационных дислокаций и новыми гранями обломочного материала, их слагающего, а также стенками срыва и нишами отрыва, появившимися в результате гравитационных смещений. Старые досейсмические поверхности погребаются гравитационными (обвалы, оползни, осыпи, лавины) и близкими к ним образованиями (сели) и отложениями подпрудных бассейнов седиментации, блокированными сейсмогенными тромбами и аккумулятивными шлейфами, формирующимися из продуктов размыва сейсмогенных тромбов.

Момент возникновения новообразованных поверхностей фиксируется двумя способами: 1) по степени их изменения с течением времени; 2) по соотношению каких-либо разорванных и не разорванных реперных поверхностей и отложений, возраст которых определим, например, по содержащим органику, разорванному почвенному горизонту и перекрывающих его отложений.

Постгенетическая эволюция новообразованных поверхностей оценивается по морфологическим признакам (например, по изменению крутизны сбросовых и взбросовых уступов, по уменьшению резкости, четкости их бровок; по глубине выветрелости горных пород на новообразованных поверхностях; по величине площади покрытости накипными лишайниками (и их возрасту) сместителей тектонических дислокаций, реликтовых стенок срыва и обломочного материала гравитационных дислокаций; по степени освоенности гравитационных дислокаций почвенно-растительным покровом и по возрасту этих почв и растительности.

#### 2.10.1. Радиоуглеродный метод

Погребенные гравитационными и близкими к ним отложениями досейсмические поверхности датируются обычно по органическим остаткам погибших при захоронении, главным образом, растительных организмов с использованием радиоуглеродного метода. Этот способ определения возраста гравитационных дислокаций и комплексирующихся с ними тектонических, обладает наибольшей точностью, лимитируемой только инструментальной погрешностью датировки и чистотой проб. Временной диапазон радиоуглеродных датировок (от 0 до 60-70 тыс. лет) также большей частью вполне удовлетворяет потребностям палеосейсмогеологии. Недостатком указанного пути индикации возраста палеосейсмодислокаций является то, что возможность для радиоуглеродного опробования погребенных поверхностей и отложений представляется довольно редко. Она реализуется лишь в тех случаях, когда гравитационные отложения уже прорезаны последующей эрозией. Так, при полевой заверке более чем 50 гравитационных дислокаций принадлежащих к 16 роям, лишь в двух случаях удалось получить радиоуглеродные образцы с погребенных обвалами поверхностей. Потенциальная возможность такого опробования в виде эрозионных врезов имеется не более чем у 10% только крупных гравитационных дислокаций. С включением мелких дислокаций эта доля еще более снижается. При этом потенциальная возможность радиоуглеродного пробоотбора снижается в ряде случаев из-за опасности обваливания крупных глыб при пробоотборе и отсутствия в современных обнажениях признаков наличия погребенной органики. Но имеется также возможность находок погребенной органики при новых обследованиях осмотренных ранее обнажений, изменяющихся в результате продолжающегося размыва.

Близкие к максимально точным датировки могли бы быть получены при вскрытии шурфовкой или бурением (в сочетании с радиоуглеродным, спорово-пыльцевым и другим опробованием) отложений подпрудных бассейнов седиментации, возникших при крупных сейсмогенных запрудах и не вскрытых еще эрозией (Чул-300, Улахан-Чистай-300, Голубой-20, Туманы-42 и др.). Но это – весьма трудоемкая и дорогостоящая работа, что обусловлено труднодоступностью объектов и большой мощностью отложений – десяки и многие десятки метров.

### 2.10.2. Лихенометрический метод

Лихенометрический метод определения возраста сейсмодислокаций довольно прост в полевом использовании и по мнению А.А.Никинова и Т.Ю.Шебалиной [1986] может гораздо шире, чем ныне применяться для датирования сейсмических событий в диапазоне до 700-1 000 лет. Однако он имеет ряд особенностей, которые резко ограничивают возможности его реализации в палеосейсмогеологии. В первую очередь это сравнительно небольшой временной предел надежных датировок – не древнее 600 лет. Так, если принять распределение сильных землетрясений, формирующих сейсмодислокации, за равномерное в течение всего голоцена (около 10 000 лет), то на период применимости лихенометрического метода придется всего около 6% палеосейсмодислокаций. Остальные 94% будут древнее. Практика полевых заверок палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского подтверждает справедливость этой оценки.

Второй недостаток заключается в неравной скорости роста розеток накипных лишайников (по величине которых оценивают возраст) в различных условиях, определяемых высотной поясностью, экспозицией поверхности и т.п., а также климатическими изменениями во времени. Это порождает возможность появления грубых ошибок при индикации возраста палеосейсмодислокаций. Так, например, на поверхности сбросового уступа высотой до 2-3 м под перевалом Мельдек 20 августа 1 982 г. были обнаружены существенно меньшая покрытость его, по сравнению с фоном, мелкими накипными лишайниками и уменьшение покрытости сверху вниз – вплоть до полного исчезновения лишайников, на основании чего возраст этой дислокации был предварительно оценен в несколько десятков – сто лет [Смирнов, Важенин, 1985]. Однако при новых полевых наблюдениях автором 19 июля 1 986 г. тот же самый уступ более чем на половину высоты был прикрыт снежником. Такая же картина наблюдается и на аэроснимках, выполненных 7 августа 1 980 г. То есть этот уступ, расположенный под перевалом на Охотоморско-Колымском водоразделе на высоте 1 100 м над уровнем моря около 10 месяцев в году прикрыт снежником, особенно в нижней части. Именно это обусловливает недоразвитость и неравномерность размещения по вертикали накипных лишайников на уступе. После ошибочной, по мнению автора, датировки уступа, был сделан следующий неверный шаг [Смирнов, 1988, Smirnov, 1992]: все грандиозные дислокации выявленного и изученного в 1986, 1 987 гг. [Важенин, 1988 б, 1992 б, 1996 б] Туманского роя палеосейсмодислокаций (куда вошел и упомянутый уступ) были объявлены одновозрастными и являющимися следствием 8-балльного Ямского землетрясения 1851 г. [Мушкетов, Орлов, 1893; Козьмин, 1984] с известным (по Б.М.Козьмину) эпицентром, расположенным в 230-300 км от Туманского хребта.

Более аргументированная оценка возраста крупнейшего сейсмического события в Туманском рое составляет несколько тысяч лет (не менее 2 тыс.лет, разд. 2.9.2., 2.10.4., 5.1.2.). Она получена путем суммирования дендрохронологической (около 1 000 лет) и радиоуглеродной (1 160 лет, М.А.Трумпе, А.В.Ложкин и др.) датировок образцов кедрового стланика с поверхности сбросообвала Чул-300. Признаки постгенетической эволюции дислокаций и постсейсмической адаптации литосборов (разд. 2.8.) дают основания для оценки возраста этого события в несколько тысяч лет.

## 2.10.3. Спорово-пыльцевой и палеокарпологический методы

Спорово-пыльцевое и палеокарпологическое опробование погребенных отложений может использоваться с меньшей надеждой на успех, чем радиоуглеродное, из-за недостаточной точности самого метода, а также обычной неполноты (усеченности) разреза, затрудняющей возрастную корреляцию проб. К числу факторов, ограничивающих применение этих методов, надо добавить также то, что как и при радиоуглеродном датировании, редко удается обнаруживать участки благоприятные для опробования погребенных обвалами отложений.

#### 2.10.4. Дендрохронологический метод в комбинации с радиоуглеродным

Наиболее широко, как показывает опыт полевых заверок, при определении возраста новообразованных поверхностей гравитационных дислокаций может использоваться дендрохронологический метод в сочетани с радиоуглеродным. В условиях Северо-Востока России на крупных гравитационных дислокациях, хотя и медленно, но возникает фрагментарный почвенно-растительный покров. При этом среди растений-пионеров доминирует кедровый стланик. Он замечателен тем, что разнос его семян производит кедровка, которую привлекают удобные для разделки шишек поверхности крупных глыб, слагающих обвалы. То есть освоение кедровым стлаником новообразованных поверхностей обвалов происходит достаточно быстро. В некоторых местах на поверхности обвалов, особенно крупных, сразу же после их появления создаются условия для зарождения зачаточной скелетной почвы из дробленого до мелких фракций обломочного материала и из обильной пыли (содержащей, хотя и в малых количествах, также и органику), возникающей обычно при крупных обрушениях. Еще одной особенностью кедрового стланика является то, что он способен жить весьма длительное время, даже дольше близкого ему вида – кедровой сосны (Pinus sibirica). Так, максимальный возраст кедра не превышает 600 лет, а среди образцов кедрового стланика, собранных автором с поверхности обвалов, имеются долгожители в 800 и 1 000 лет, и можно сказать, обычны образцы с дендрохронологическим возрастом в 400-600 лет.

Причина такого феномена заключается, вероятно, в особых условиях обитания, формирующихся на крупных обвалах. Это в первую очередь – ярко выраженный островной характер размещения на поверхности обвалов участков, пригодных для освоения кедровым стлаником. Поэтому стланик на крупных обвалах, даже с возрастом в тысячи лет, растет небольшими куртинами с обширными промежутками между ними. Фрагментарность пространственного размещения защищает лесных долгожителей от губительного действия основного, лимитирующего их возраст фактора – пожаров, а также, по-видимому, и от некоторых болезней и вредителей. Хотя условия для произрастания кедрового стланика на обвалах не очень благоприятны (скудная почва, не всегда, вероятно, достаточное увлажнение), тем не менее они в некоторых местах стабильны на протяжении сотен и даже тысяч лет, что гарантирует его долгожительство по сравнению с кедровой сосной, а также кедровым стлаником, произрастающим в густых зарослях на склонах. Такие замечательные свойства кедрового стланика обеспечивают возможность широкого применения при определении возраста обвалов (а по ним и других дислокаций роев) дендрохронологического анализа в сочетании с радиоуглеродным. Этому способствует еще и обычно довольно хорошая сохранность отмерших стволов кедрового стланика на поверхности обвалов, как следствие высокой смолистости древесины, отсутствия избыточного увлажнения зачаточных почв на щебнисто-глыбовом основании и обычно хорошей «продуваемости» поверхности обвалов, а также существенно меньшего, чем под пологом леса, количеством древоточцев.

Особенностью определений возраста гравитационных дислокаций по радиоуглеродным и дендрохронологическим датировкам образцов кедрового стланика является то, что они дают минимальный из всех возможных возраст дислокаций, поскольку как бы быстро ни была освоена растительностью новообразованная поверхность, эта поверхность древнее того, что на ней выросло. Но и такие определения минимального возраста имеют смысл, так как пригодны для предварительной массовой оценки возраста гравитационных дислокаций благодаря присутствию хотя бы малых и редких куртин кедрового стланика практически на всех крупных обвалах Северо-Востока России и возможности получения датировок в диапазоне до первых тысяч лет.

С целью получения максимальных значений радиоуглеродного возраста (максимально приближенных к возрасту дислокаций) производится отбор только отмерших стволов кедрового стланика, при этом достаточно хорошо сохранившихся (не гнилых) и желательно наибольшего дендрохронологического возраста. Такой ствол необязательно будет самым толстым. Так образец, взятый с поверхности сбросообвала Чул-300, насчитывающий 730 годичных колец, представляет собой не полный круг, а лишь сектор радиусом 11,5 см со сгнившей присердцевинной частью, что позволяет оценивать полный дендрохронологический возраст этого образца (с учетом легко геометрически восстанавливаемой недостающей части) – около 1 000 лет. Средняя толщина годичных колец сохранившейся части не превышает 0,16 мм. Имеются образцы с еще меньшей толщиной колец на отдельных участках радиуса – 0,068 мм. Это в некоторых случаях делает возможным подсчет годичных колец только при высоких увеличениях бинокулярного микроскопа и вызывает ошибки, чаще в сторону занижения. Ошибки в сторону завышения возможны в случаях так называемых ложных годичных колец, образующихся в аномальные по погодным условиям годы с резким и продолжительным похолоданием в середине лета, что может обусловить формирование двух колец вместо одного. Но такие ситуации, по-видимому, бывают нечасто, и едва ли они способны существенно снизить и так сравнительно невысокую точность метода.

Радиоуглеродному анализу для обеспечения максимальной точности подвергается по возможности более узкий слой годичных колец. При этом удобнее использовать молодые (приповерхностные) слои, поскольку они обеспечивают достаточный объем древесины для анализа и часто лучше сохраняются под действием процессов гниения. В то же время, в состав пробы не включается, во избежание омоложения датировок, самый верхний слой древесины, подверженный растрескиванию, заселению лишайниками и прочим засорениям. Удаляются также сучки, ходы древоточцев и участки подгнившей древесины.

Оценка возраста гравитационной дислокации составляется таким образом из суммы нескольких временных отрезков,  $T_{duc}=t_p+\Delta t_{dd}$ , где  $T_{duc}$  – полный возраст гравитационной дислокации;  $t_p$  – радиоуглеродный возраст слоя  $N_1-N_2$  лет;  $\Delta t_{dp}$  – разность дендрохронологического возраста образца и средневзвешенной величины возраста слоя годичных колец ( $N_1-N_2$ ), избранного в качестве радиоуглеродной пробы;  $\Delta t_{dd}$  – неизвестная, качественно оцениваемая разность между возрастом дислокации и дендрохронологическим возрастом образца. Понятно, что при какой-то фиксированной величине полного возраста дислокации соотношение слагаемых может быть различным для разных образцов. Максимально близкой к полному возрасту дислокаций окажется полуколичественная оценка возраста того из образцов, у которого будут большие величины слагаемых  $t_p$  и  $\Delta t_{dp}$ . Из этого следует вывод о необходимости многократного дублирования образцов при таком датировании с последующей отбраковкой всех полученных данных, кроме максимального значения. Причем это значение принимается в качестве минимального возраста дислокации.

Стремление к получению образцов с максимальным дендрохронологическим возрастом вынуждает производить отбор лучше сохранившихся стволов кедрового стланика, то есть с меньшим радиоуглеродным возрастом, который, в соответствии с имеющимся опытом, часто не превышает первых сотен лет. Сгладить в какой-то мере это противоречие может дублирование описанного способа (дендрохронологического + радиоуглеродного датирования) отбором образцов с признаками максимального радиоуглеродного возраста (без коры, выветрелые, но все же не гнилые). При подготовке проб к радиоуглеродному анализу, с учетом «долгоживучести» стланика, следует использовать только (по возможности) тонкий приповерхностный слой древесины.

## 2.10.5. Методы на основе анализа постгенетической эволюции палеосейсмодислокаций и постсейсмической адаптации литосборов

В.П.Солоненко и В.С.Хромовских [Современная..., 1989] составлена относительная шкала для приблизительного определения возраста тектонических сейсмодислокаций. Она основана на признаках постгенетической эволюции сейсмогенных уступов, расщелин и связанных с ними рыхлых отложений и компонентов ландшафта: рельефа, почв, растительности. Диапазон таких определений составляет от первых десятков до тысяч лет, точность – десятки, сотни и тысячи лет.

При дистанционном и полевом палеосейсмогеологическом изучении сейсмического пояса Черского определены некоторые специфические черты постгенетической эволюции гравитационных сейсмодислокаций как составной части процессов адаптации сейсмически активизированных литосборов к современным условиям [Важенин, 1992 б, 1995 а]. В ходе постсейсмической адаптации литосборов осуществляется:

- аккумуляция отложений в подпрудных бассейнах седиментации;
- выработка суффозионно-эрозионных каньонов в завальных плотинах;

- формирование аккумулятивных шлейфов из продуктов размыва обвальных отложений;

- образование пролювиально-селевых конусов выноса из обильного, сейсмически дробленого обломочного материала;

- врезание водотоков в отложения подпрудных бассейнов;

- кольматация гравитационных тел, развитие на них почвенно-растительного покрова;

- снижение остроты углов и ребер глыб и щебня, слагающих обвальные тела, под действием выветривания.

Все это, безусловно, может служить основой для предварительной оценки возраста крупных сейсмических событий, вызвающих образование целого роя дислокаций и сейсмическое возбуждение некой совокупности смежных литосборных бассейнов. Временной диапазон таких определений может составлять тысячи лет и достигать предела возраста самых древних из сохранившихся в рельефе голоценовых и даже позднеплейстоценовых палеосейсмодислокаций. Постепенное совершенствование и повышение точности возрастных оценок на основе признаков постсейсмической адаптации литосборов возможно на основе корреляции с результатами других методов датирования.

Нижний предел возраста для абсолютного большинства выявленных в сейсмическом поясе Черского палеосейсмодислокаций на современной стадии их изученности оценивается рубежом – поздний плейстоцен – ранний голоцен. Причина такого суждения заключается в предположении о некоторой специфике взаимодействия сейсмического и ледникового морфолитогенеза, основанном на знакомстве с формированием и размещением палеосейсмодислокаций, в том числе и гравитационных, в областях современного горно-долинного оледенения. Ледники также легко «стирают» следы прежних (доледниковых) землетрясений, как это делает мокрая тряпка с записями мелом на школьной доске.

Гравитационные дислокации объемами в десятки миллионов кубических метров, обрушивающиеся на крупные ледники, распластываются по ним в виде плаща мощностью в метры и площадью в квадратные километры, как это было, например, при Аляскинском землетрясении 1 964 г. на леднике Шерман и других ледниках гор Чугач и Св.Ильи [Walker, 1982] (разд. 2.7.1., 2.7.2.). В результате подобных обрушений образуются и сравнительно кратковременно существуют в таком виде бронированные поверхностной мореной крупные ледники. Мелкие ледники получают возможность трансформироваться в каменные глетчеры. Вследствие крупных сейсмогенных обрушений за время существования ледосбора в его области абляции формируются аномально крупные конечноморенные дуги, как это наблюдается, например, у подножья хр. Улахан-Чистай в месте выхода позднеплейстоценового палеоледника Тирехтях (длиной около 70 км) в Момскую впадину [Важенин, 1992 *б*]. Здесь сформировались и сохранились хорошо выраженными в рельефе, пожалуй, крупнейшие на Северо-Востоке России (за исключением Камчатки) конечно-моренные дуги объемами в 2,6 и 5,4 км<sup>3</sup>. Конечные морены соседних равных и более крупных древних ледосборов в несколько раз меньше тирехтяхских по объему.

Причина этой аномалии видится в том, что древний ледосбор Тирехтях совпадает с современным литосбором, сейсмически возбужденным в голоцене. В пределах этого литосбора в роях палеосейсмодислокаций Тирехтях и Елау залегает полтора десятка только крупных обвалов общим объемом свыше 430 млн м<sup>3</sup>. Этот объем лишь на один порядок меньше объема позднеплейстоценовых конечных морен, но приблизительно такая же разница присуща длительности голоцена и позднего плейстоцена. Это может служить основанием для предположения о том, что в течение позднего плейстоцена палеолитосбор Тирехтях испытал, по меньшей мере, несколько раз сейсмическое возбуждение. При таких построениях необходим учет, вероятно, немалой доли в объеме конечных морен обломочного материала, сформированного до- и межледниковыми сейсмическими активизациями литосбора, а также «асейсмогенного» обломочного материала. Некоторое уточнение в оценке сейсмогенной составляющей объема конечных морен можно получить сравнивая сейсмически деформированный в голоцене литосбор Тирехтях с соседними одноранговыми литосборами, например, Буордах, где нет крупных голоценовых дислокаций, и, вероятно, не было крупных сейсмических событий и в позднем плейстоцене. Палеосейсмогеологический анализ лито- и ледосборов позволяет в какой-то мере судить не только о голоценовой, но и о позднеплейстоценовой сейсмической активности и, разумеется, грубо датировать крупнейшие сейсмические события. Точность такого анализа и датировок очень зависит от качества геолого-геоморфологического изучения территории.

### 2.10.6. Другие методы датирования

Применяются и иные методы датирования возраста, частью даже не палеосейсмодислокаций, а сейсмических событий, например, по разрезам озерных ленточных глин, по годовым карбонатным пленкам дислоцированных сталактитов и сталагмитов, по разрывам погребенных палеопочв и торфа, по отложениям предположительно сейсмогенных мутьевых потоков (турбидитов) на дне морей, по следам заплесков цунами на морских берегах, по аномальным уровням террас, по маркирующим прослоям вулканического пепла, по археологическим и палеонтологическим находкам. Для реализации этих методов требуются специфические геолого-геоморфологические условия, и потому они менее универсальны, чем охарактеризованные ранее. Однако их использование может быть весьма полезным на поздних стадиях палеосейсмогеологических исследований и при изучении древней сейсмической активности плейстосейстовых областей современных разрушительных землетрясений.

Удачное применение радиоуглеродного датирования органики (растительного детрита, торфа), содержащейся в погребенных почвах, разорванных тектоническими сейсмодислокациями, для определения возраста и повторяемости сильных сейсмических событий в эпицентральных зонах Спитакского и Нефтегорского землетрясений и в роях палеосейсмодислокаций демонстрируют работы Е.А.Рогожина с сотрудниками [Рогожин, 1995, Рогожин и др., 1988, 1998]. К сожалению, вскрытие шурфами палеопочв сильно затруднено в обширных районах Северо-Востока России из-за наличия многолетней мерзлоты.

И.В.Мелекесцев и А.В.Курбатов [1997] помимо этого используют целую гамму методов для датирования и оценки повторяемости сильнейших землетрясений на восточном побережье Камчатки и Корякии и на прилегающих акваториях. Решение этой задачи облегчается здесь присутствием прослоев вулканических пеплов известного возраста в отложениях турбидитов и аномальных (предположительно сейсмогенных) уровней низких морских террас. Датирование заплесков волн цунами производится радиоуглеродным методом по находкам плавника (древесины) и раковин моллюсков на аномально высоких участках морского берега. Минимальный возраст крупного обвала (мыс Крещеный Огнем) на берегу Олюторского зал. определен И.В.Мелекесцевым и А.В.Курбатовым посредством радиоуглеродного анализа углей из древнего кострища на его поверхности.

# 2.11. Соотношение параметров палеосейсмодислокаций с сейсмическими шкалами

Поскольку инструментальных данных о силе и других характеристиках древних землетрясений нет, такие соотношения устанавливаются по современным землетрясениям с известными как инструментальными, так и сейсмогеологическими характеристиками. Причем региональных сведений для получения статистически представительных выборок сильнейших землетрясений обычно не достаточно. Число таких событий для каждого сейсмоактивного региона редко превышает 10. Это в полной мере относится и к сейсмическому поясу Черского. Представительность выборки сильнейших землетрясений в связи с их невысокой повторяемостью и кратким периодом инструментальных наблюдений могут обеспечить только суммарные данные по всем сейсмоактивным регионам Земли. К числу характеристик древних землетрясений, которые желательно и в какой-то мере возможно определять по палеосейсмодислокациям относятся: сила землетрясения, выражаемая либо через магнитуду (М), либо через интенсивность (I), либо через энергетический класс (К); глубина очага (h); положение эпицентральной зоны. Для определения этих характеристик в разной мере пригодны следующие параметры палеосейсмодислокаций: длина сейсмогенных разрывов и, в некоторой мере, амплитуда смещений по ним; площадь древней плейстосейстовой области, маркированной палеосейсмодислокациями; величина гравитационных дислокаций; объем и амплитуда смещений палеосейсмоблоков.

### 2.11.1. Длина сейсмогенных разрывов и магнитуда

Известно много формул для вычисления магнитуд древних коровых землетрясений по длине сейсмогенных разрывов. Их авторы и пользователи: Д.Точер; К.Иида; Н.В.Шебалин; В.П.Солоненко [1989]; В.С.Хромовских; А.А.Никонов [1980, 1987]; М.Бонилла; Р.Марк; Ю.В.Ризниченко; С.Д.Хилько; В.С.Хромовских и Л.Г.Обухова [Современная..., 1989]. Все эти формулы построены однотипно и в обобщенном виде выглядят следующим образом: M=C+k lgL, где M – магнитуда; С – некая постоянная величина, изменяющаяся в разных формулах от 4,88 до 6,3 [Хромовских, Обухова, 1989]; lgL – десятичный логарифм длины сейсмогенной зоны разломов, в км; k – коэффициент, изменяющийся в разных формулах постоянной величины (С), которая составляет большую часть получаемого значения магнитуды объясняется эмпирически установленным фактом формирования сейсмогенных разрывов при достижении землетрясениями порогового значения магнитуды около 6,5. Усложненные варианты формул содержат в составе констант и коэффициентов уточняющие интервальные оценки, не превышающие обычно первых десятков процентов от основных величин.

Другой параметр сейсмогенных разрывов – высота уступов и полученная по ней амплитуда смещения, по мнению В.П.Солоненко [1989], отличается резкой изменчивостью на коротких расстояниях, сильно подвержена денудационной нивелировке и поэтому неприемлема в палеосейсмогеологических определениях. Однако А.В.Чипизубов [1998] на основании анализа более 200 современных разрушительных землетрясений Мира делает вывод о большей точности формул, основанных на величине амплитуды смещения и на комбинации амплитуды с длиной разрывов.

Попытки определения магнитуды и даже интенсивности древних землетрясений по величине (объему) гравитационных дислокаций также считаются большинством исследователей недостаточно надежными. При этом признается наблюдаемый факт возникновения гравитационных дислокаций (особенно скальных обвалов) преимущественно только при интенсивности не менее 8-9 баллов. Большую точность вычислений силы древних землетрясений по гравитационным дислокациям может обеспечивать способ, основанный на использовании величины площади (S), пораженной гравитационными дислокациями M=0,5 lgS+5,9 [Adams, 1981]. По сути это способ определения магнитуды по площади плейстосейстовой области, и было бы логично не ограничиваться учетом в данном случае только гравитационных дислокаций, а использовать весь комплекс сейсмодислокаций, включая тектонические и гравитационно-тектонические. А этот комплекс представляет собой ни что иное, как рой сейсмодислокаций (палеосейсмодислокаций).

По величине роя сейсмодислокаций при учете размера отдельных дислокаций и особенностей геолого-геоморфологического строения территории можно судить, в некоторой мере, о глубине очага древнего землетрясения. Так, например, малые размеры дислокаций, как гравитационных, так и тектонических, при большой площади роя и достаточно контрастном горном рельефе могут свидетельствовать в пользу сравнительно большой глубины очага древнего землетрясения. И наоборот, крупные дислокации при малой площади роя следует расценивать в качестве признака малой глубины очага. По характеру размещения дислокаций на площади роя и по соотношению их с рельефом и тектоническими структурами в пределах роя можно восстанавливать географическое положение древнего эпицентра.

Еще одна возможность для оценки силы древних землетрясений появляется при выявлении и изучении палеосейсмоблоков в составе роев палеосейсмодислокаций [Важенин, Мишин, 1993; Важенин, 1995  $\delta$ , 1996  $\delta$ ] (разд. 2.9.). Магнитуда (М) сейсмического излучения, которое мог бы генерировать палеосейсмоблок с известным объемом и унифицированной амплитудой смещения, величиной в 1 м определяется из известного соотношения: М=K<sub>1</sub>-4/1,6, где K<sub>1</sub> – энергетический класс (в данном случае сейсмоблока, при условии его опускания на 1 м), равный десятичному логарифму энергии (Е) землетрясения; Е = mgh, где m – масса палеосейсмоблока, в кг, g – ускорение силы тяжести, h – амплитуда смещения блока, равная 1 м.

Вычисления магнитуды по длине сейсмогенных разрывов отличаются от инструментальных (по данным выборки числом более чем в 100 современных сильных землетрясений [Хромовских, Обухова, 1989]) обычно лишь на десятые доли единицы. Это близко к точности инструментальных измерений. Однако проверка работоспособности некоторых из многих формул для таких расчетов, каждая из которых может, по мнению авторов, использоваться в любом сейсмоактивном регионе, позволяет сделать вывод о имеющихся ограничениях в применении таких формул и об обязательности критического анализа получаемых данных. В табл. 2 приведены результаты определений магнитуд некоторых из довольно хорошо изученных современных землетрясений, не вошедших в указанную выборку.

Таблица 2

Назв. землетрясения, год	Ми	L, км	Мдл	S, км <sup>2</sup>	Мпл
Дагестанское, 1 970	6,6	0	5,73+?	687	7,3
Артыкское, 1 971	7,1	0	5,73+?	9	6,4
Рачинское, 1 991	6,9-7,2	0	5,73+?	2 616	7,6
Спитакское, 1 988	6,8	35	7,2	140	6,9
Муйское 1957	79	30	7 1	150,000	84

### Соотношение магнитуд, определенных инструментально (Ми), По длине сейсмогенных разрывов (Мдл) и по площади плейстосейстовых областей (Мпл) для некоторых современных землетрясений

*Примечания*: L – длина зоны сейсмогенных разломов; S – площадь плейстосейстовой области; М<sub>дл</sub> вычислена по формуле M<sub>дл</sub>=5,73+0,96 lgL [Хромовских, Обухова, 1989]; М<sub>пл</sub> – по формуле M<sub>пл</sub>=0,5 lgS+5,9 [Adams, 1981].

В табл. 2 привлекают внимание три землетрясения с инструментальной магнитудой от 6,6 до 7,2: Дагестанское 1 970 г., Артыкское 1 971 г. и Рачинское 1 991 г., при обследовании которых сейсмогенные разрывы не обнаружены (то есть их длина равна нулю), хотя магнитуды этих событий заметно превышают упоминавшееся «пороговое» значение 6,5, при котором очаг землетрясения выходит на поверхность в виде разрывов. Магнитуды всех трех землетрясений, определенные, например, по формуле M=5,73+0,96 lgL (по В.С.Хромовских), будут равны только постоянной величине – 5,73, так как логарифм нуля не существует, и к данной величине прибавлять нечего. Но если все же при каком-либо землетрясении небольшие разрывы возникнут, что по логике должно соответствовать большей силе землетрясения, чем при отсутствии разрывов, но их длина не превысит 1 км, то значение lgL с коэффициентом надо будет вычитать, так как логарифм единицы равен нулю, а для чисел, меньших единицы – десятичные логарифмы представляют собой отрицательные величины. Значения магнитуд (М<sub>дл</sub>), определяемых по длине сейсмогенных разломов при величинах (L) от нуля до 1 км, вычисленные по формуле M=5,73+0,96 lgL [Хромовских, Обухова, 1989], выглядят следующим образом:

L, км	1	0,1	0,01	0,001	0
Мдл	5,73	4,77	3,81	2,85	5,73+?

Эти данные показывают полную неработоспособность формул типа M=C+K lgL при значениях длин сейсмогенных разрывов вблизи 1 км и менее. Палеосейсмодислокации с такими длинами разрывов нередки. Так, только в зоне БАМ среди 46 палеосейсмогенных структур, выделенных иркутскими сейсмогеологами, четыре имеют длину 1 км [Геология..., 1985]. Также неработоспособны они, разумеется, и при отсутствии разрывов (табл. 2).

## 2.11.2. Плейстосейстовая площадь и магнитуда

Обладающие точно такой же структурой формулы для определения магнитуды по площади плейстосейстовой области Мпл=C+K lgS не имеют такого жесткого ограничения при малых значениях площадей, так как величины плейстосейстовых областей сильных землетрясений с магнитудой 6,5 и более почти всегда составляют десятки, сотни и даже тысячи квадратных километров. Артыкское землетрясение 1 971 г. с величиной плейстосейстовой области около 9 км<sup>2</sup>, определенной аэровизуальными наблюдениями [Белый и др., 1971; Курушин и др., 1976] представляет, по-видимому, исключение из данного правила. Причина незначительности величины плейстосейстовой области и

самих дислокаций этого землетрясения заключается, вероятно, в большой глубине его гипоцентра – где-то около 30 км. Инструментально глубина по причине редкой в то время сети сейсмостанций определена не была. Но очень большие площади изосейст и «всплывание» глубин афтершоков с 15-10 км в июне до 10-5 км в июле [Козьмин, 1984] подтверждают высказанное предположение. К тому же сравнительное дешифрирование аэрофотоснимков, выполненных до и после землетрясения, позволило несколько расширить плейстосейстовую область Артыкского землетрясения – до 42 км<sup>2</sup> за счет присоединения участков с сейсмогенными обвально-осыпными конусами выноса в массиве г. Хуламрин. При такой площади величина магнитуды увеличивается до 6,7, которая ближе к инструментальному значению, чем указанная в табл. 2.

Способ определения магнитуды по величине плейстосейстовой области работоспособен и при полном отсутствии тектонических сейсмодислокаций. Дефицит данных о тектонических сейсмодислокациях для современных землетрясений может быть обусловлен только либо тем, что они не возникли, как это было при Рачинском землетрясении, либо тем, что не были выявлены при недостаточно тщательном обследовании. В случае древних землетрясений к таким причинам добавляется еще действие фактора времени, наиболее эффективно стирающего именно тектонические дислокации, особенно совпадающие с активными участками осей литосбора, например, с днищами долин, где они интенсивно либо размываются, либо погребаются. Кроме того они изначально менее заметны в фотоландшафте и на местности, чем гравитационные. Таким образом, для реального применения в региональных палеосейсмогеологических исследованиях наиболее приемлем именно способ «площадей» плейстосейстовых областей или роев палеосейсмодислокаций. Этот способ показывает весьма неплохие результаты по точности. Например, для Спитакского землетрясения результат по «площади» существенно ближе к инструментальной магнитуде, чем вычисление по длине разрывов (табл. 2). То же самое можно сказать и о Муйском землетрясении, хотя здесь разница довольно велика -0.5 единицы M, но это меньше, чем при подсчете по длине разрыва 0.8 единицы M. Сравнительно большая погрешность в 0,5 единицы М определяется здесь, по-видимому, сильным завышением плейстосейстовой площади – 150 тыс. км<sup>2</sup>, в которую, вероятно, были включены весьма обширные участки без дислокаций. При этом следует учитывать то, что формула Дж.Адамса, скорее всего, «настроена» на величину плейстосейстовой области, ограниченной только лучше сохраняющимися крупными дислокациями, то есть она более точно работает на палеосейсмодислокациях. Такое предположение в какой-то мере подтверждают предварительные данные табл. 3, полученные для некоторых крупных и лучше изученных роев палеосейсмодислокаций сейсмического пояса Черско-Γ0.

Таблица 3

Название	L, км	Мдл	S, км <sup>2</sup>	Мпл	V <sub>сб</sub> , км <sup>3</sup>	Мсб
роя						
Дукча	26	7,1	156	7,0	0,5	6,7
Бахапча	40	7,3	800	7,4	360	7,5
Колыма	100	7,6	2 375	7,6	0,2	5,4
Туманы	15	6,9	144	7,0	9	6,5
Тирехтях	16	6,9	276	7,1	3,3	6,2
Елау	15	6,9	105	6,9	1	5,9

Магнитуды (Мдл, Мпл, Мсб) некоторых крупных роев палеосейсмодислокаций
сейсмического пояса Черского, вычисленные по длинам сейсмогенных зон разломов (L),
по площадям роев (S) и по объемам палеосейсмоблоков (Vcб)

Различия в результатах определений магнитуд по длинам разломов и по площадям роев, как следует из данных таблицы, не превышают 0,2 единицы М, что выглядит хорошо до неправдоподобия и автору остается только клясться в том, что эти данные получены без какой-либо подгонки. Результаты вычислений магнитуд по величине палеосейсмоблоков хорошо совпадают с результатами других способов только для роя Бахапча с входящим в его состав огромным сейсмоблоком XETAKAГЧAH-360 (рис. 38). Для других роев эти различия достигают величин до 1,4 единицы М.



Рис. 38. Суброй Хетакагчан роя Бахапча с палеосейсмоблоками ХЕТАКАГЧАН-360 и СФИНКС-5: буквы *У*, *Ст., Д*, *С* в индексации дислокаций означают их названия, соответственно Увязка, Стерегущий, Дялтунгда, Сфинкс: 1 – контур сейсмоблока ХЕТАКАГЧАН-360

Причину несовпадений по магнитуде роев и сейсмоблоков можно усматривать либо в том, что эти сейсмоблоки не были источниками излучения сейсмической энергии, вызвавшей формирование соответствующих роев, либо в недооценке их объемов, вызванной недооценкой вертикальных размеров, либо в том, что при расчете энергии сейсмоблоков использовалась унифицированная и заниженная амплитуда смещения, равная 1 м, тогда как, например, суммарная высота телескопированных сбросовых уступов сейсмоблока ЮРЮН-ТАС-3,3 в рое Тирехтях составляет 150 м, а ступенчатых сбросовых уступов сейсмоблока ЧУЛ-9 в рое Туманы – 500 м. Это на два порядка больше величин, использованных в расчетах. А увеличение амплитуды или объема сейсмоблока на один порядок вызывает рост магнитуды его сейсмического излучения приблизительно на 0,65 единицы М. Десяти - пятнадцатиметровые амплитуды смещений упомянутых сейсмоблоков были бы достаточны для уравнивания по магнитуде с их роями и длинами разломов. Подобные рассуждения могли бы служить основанием для оценок амплитуд одноактных смещений палеосейсмоблоков. Уместно также предположить, что энергии некоторых сейсмоблоков достаточно для формирования соответствующих роев сейсмодислокаций и при амплитуде смещения в 1 м с учетом квалифицирования сейсмоблока в качестве близповерхностного источника сейсмического излучения.

Так, если воспользоваться известной номограммой Н.В.Шебалина, характеризующей соотношение между магнитудой и интенсивностью землетрясения в зависимости от глубины очага, то магнитуда 6,2 для сейсмоблока ЮРЮН-ТАС-3,3 (с глубиной его основания 1,2 км, куда, исходя из представления о сейсмоблоках, следует поместить очаг сейсмического излучения) обеспечивает сотрясение на поверхности с интенсивностью 12 (!) баллов. Этого, вероятно, достаточно для формирования сравнительно небольшого по площади (276 км<sup>2</sup>) роя Тирехтях (рис. 26) с находящимся в его центре огромным сбросообвалом Улахан-Чистай-300, связанным непосредственно с сейсмоблоком ЮРЮН-ТАС-3,3 и характеризующегося убыванием величин обвалов к периферии роя, расположенных к тому же закономерно при учете локализации предполагаемого источника излучения и особенностей орографии в пределах роя. Такие предположения базируются на довольно шатких основаниях и заслуживают право на существование лишь в случаях непротиворечивого объяснения особенностей строения, размещения и других характеристик палеосейсмодислокаций. Но главная их ценность, по-видимому, заключается в том, что они ставят новые проблемы, решение которых способствует познанию природы сейсмичности.

## 2.12. Полнота выявления палеосейсмодислокаций и древних эпицентральных зон

Прежде всего следует отметить, что использование информации о палеосейсмодислокациях, даже и весьма неполной, позволяет резко расширить региональный каталог данных о сильнейших и самых опасных землетрясениях. Необходимость достижения максимальной полноты выявления древних эпицентров определяется появляющейся возможностью существенного повышения точности сейсмического районирования крупных сейсмоактивных регионов на основе статистически весьма более представительных палеосейсмогеологических выборок данных о разрушительных землетрясениях, нежели выборка только краткосрочных инструментальных наблюдений. Например, каталог сильных землетрясений для зоны БАМ за период с 1 725 г. [Геология..., 1985] содержит 14 событий с магнитудой не менее 6 и с интенсивностью 8 баллов и более. Из них только три имеют магнитуду не менее 7. При этом каталог палеосейсмодислокаций для той же территории содержит информацию о 45 древних землетрясениях с магнитудой не менее 6 и о 26 сильнейших событиях с магнитудой 7 и более. Для юго-восточной половины сейсмического пояса Черского различия в количестве современных и древних землетрясений с магнитудами не менее 6 с интенсивностью 8 баллов и еще внушительнее – 4 [Козьмин, 1984] и 63 (по состоянию на 1 996 г.). Очевидно, что полнота регионального каталога данных о сильнейших сейсмических событиях, как современных, так и древних, может служить критерием достоверности сейсмического прогноза, включая и сейсмическое районирование.

Следует различать полноту выявления древних сейсмических событий и палеосейсмодислокаций. Количество голоценовых палеосейсмодислокаций всегда будет меньше синхронных им землетрясений, способных продуцировать дислокации. Отставание количества палеосейсмодислокаций от количества сильных палеоземлетрясений, то есть полнота (или неполнота) выявления древних сильных землетрясений определяется действием целого ряда факторов:

1) ограничением гравитационных дислокаций по морфолого-генетическому типу (в новой методике используются почти исключительно скальные обвалы как наиболее уверенно интерпретируемые в качестве сейсмогенных);

 лимитированием гравитационных дислокаций по крупности – объемами не менее 1 млн м<sup>3</sup> (так, на стадии поиска по космоснимкам с использованием новой методики, скорее всего, были бы не обнаружены весьма скромные и малозаметные в фотоландшафте дислокации Артыкского землетрясения 1 971 г. с магнитудой 7,1);

3) фактором времени – в большей мере «стирающим» более древние дислокации; 4) не вполне равномерным распределением в пределах сейсмического пояса обвального потенциала, достаточного для формирования гравитационных дислокаций; 5) предполагаемой неодноактностью формирования некоторых роев палеосейсмодислокаций; 6) неполнотой выявления даже сохранившихся роев палеосейсмодислокаций (с учетом ограничений по крупности и типу), что может быть обусловлено: а) недостаточной обеспеченностью территории качественными космо- и аэроснимками; б) недостаточной тщательностью дешифрирования и квалификацией исследователя; в) сомнениями в генетической интерпретации дислокаций, не заверенных полевыми работами.

Ограничение гравитационных дислокаций в новой методике по крупности и морфологогенетическому типу оставляет для сейсмологической интерпретации только рои палеосейсмодислокаций, уверенно превысившие рубеж силы землетрясений с М=6,5 и с интенсивностью 8-9 баллов. Деструктивное действие фактора времени по отношению к сохранности палеосейсмодислокаций компенсируется использованием в новой методике на стадии поиска лучше выраженной в фотоландшафте и лучше сохраняющейся гравитационной составляющей роев, а также привлечением дополнительных многочисленных и хорошо заметных индикаторов (обвально-осыпных и пролювиально-селевых конусов выноса, сейсмогенных тромбов и подпрудных бассейнов седиментации, наледных полян). Неравномерность территориального распределения обвального потенциала требует учета ее на стадии сейсмологической интерпретации, в частности при сейсмическом районировании, а также дополнительного, более крупномасштабного изучения (по аэроснимкам) участков, на которых обвальный потенциал оценивается как недостаточный. В случаях выявления признаков неодноактности формирования роев (например, при наличии стратификации обвальных отложений) необходимо снижение категоричности оценок силы палеоземлетрясений и дополнительное изучение таких роев. Существенное повышение полноты выявления роев, содержащих крупные палеосейсмодислокации, достигается резким повышением (в десятки раз) производительности их поиска по новой методике, обеспечивающей также возможность оперативных повторных ревизий каталога палеосейсмодислокаций и, к тому же, многократно более быструю наработку опыта исследователем, по отношению к традиционным методами.

Возможность самых грубых оценок полноты выявления крупных палеосейсмодислокаций дает сравнение повторяемости сильных современных и древних землетрясений для всей территории юговосточной половины сейсмического пояса Черского площадью около 700 тыс. км<sup>2</sup>. Затруднительность таких оценок обусловлена весьма малой сейсмостатистикой современного высокоэнергетического сейсмического диапазона. Так, на указанной территории за 144 года, прошедших с момента Ямского землетрясения 1 851 г., отмечено всего три толчка с магнитудой не менее 6,5 (включая Сетте-Дабанское землетрясение), что для всей территории в 700 тыс. км<sup>2</sup> соответствует повторяемости – 1 событие за 48 лет. Повторяемость древних землетрясений, определенная по 63 роям палеосейсмодислокаций, отнесенных к периоду в 10 тыс. лет, составляет 1/159 лет. Полученные числа различаются лишь в 3,3 раза. При этом уместно вспомнить об ограничениях в новой методике на количество выявляемых палеосейсмодислокаций по их крупности и типу, вследствие чего львиная доля роев палеосейсмодислокаций по энергетике соответствует скорее магнитуде 7, чем 6,5. Но из таких землетрясений на данной территории известно лишь одно – Артыкское 1 971 г. с М=7,1. Следующая из этого факта крайне статистически непредставительная оценка – 1/144 года – тем не менее, удивительно близка к полученной по палеосейсмодислокациям – 1/159 лет. Такое совпадение, при лучшей

сейсмостатистике современных землетрясений, можно было бы считать свидетельством весьма высокой полноты выявления сильнейших древних землетрясений на изученной территории. О ее высокой величине в сейсмическом поясе Черского можно судить также по результатам полевых заверок и неоднократных ревизий каталога палеосейсмодислокаций.

### 2.13. Достоверность генетической интерпретации палеосейсмодислокаций

#### 2.13.1. Анализ источников информации для генетической интерпретации

Древность предполагаемых палеосейсмодислокаций, обусловливающая отсутствие прямых свидетельств их сейсмогенности и изменение облика в течение сто- и тысячелетних периодов времени существования после возникновения, определяют вероятностный характер их генетической интерпретации. Изучение статистически представительного количества дислокаций в сейсмическом поясе Черского позволило выявить закономерности их формирования и постгенетической эволюции, которые облегчают задачу поиска палеосейсмодислокаций и повышают достоверность генетической интерпретации (разд. 2.1.4, 2.5.-2.8.).

Вместе с тем, при внедрении результатов палеосейсмогеологических исследований в сейсмическое прогнозирование приходится сталкиваться с некоторым недоверием к правильности генетической интерпретации дислокаций – главным образом, гравитационных. Это может быть обусловлено недостаточной полнотой обоснования достоверности их генетической интерпретации, вызванной ограниченным объемом публикаций, а также другими причинами, порой далекими от стремления к поиску научной истины. Обычно сомнения выражаются в устной форме, но имеются уже, к счастью, и две опубликованные работы, отрицающие не только сейсмическое, но и даже гравитационное происхождение большинства крупных обвалов.

В одной из них [Смирнов, Глушкова, 1996, стр. 123] на основе «дешифрирования космического снимка с ИСЗ серии «Космос» утверждается, что многочисленные гравитационные дислокации в Бахапчинских горах (а с ними и почти все другие в сейсмическом поясе Черского), найденные и изученные автором дистанционно и «в поле», являются на самом деле «специфическими обвальноглыбовыми моренами», но при этом признается «в определенной мере» стимуляция обвальноосыпных процессов землетрясениями.

В другой [Смирнов и др., 1998, стр. 49, 50] сообщается, что на основе выполненного «комплексного» геолого-геоморфологического анализа (с использованием «дешифрирования аэрофотоснимков», морфометрии рельефа по топографическим картам, результатов собственных полевых исследований, с привлечением опубликованных и фондовых материалов») трех «роев палеосейсмодислокаций» в горном массиве Елау, в Бахапчинских и Дукчинских горах «полностью исключается их сейсмическая природа», а «рассмотренные» объекты «образованы нивально-гляциальными процессами». «Тела «сейсмообвалов» представляют собой типичные каровые морены». «В карах не установлено постморенных единовременных обвалов, сравнимых по объему хотя бы с небольшой частью объема морен». «Палеосейсмообвалы» в долине р. Хетакагчан – это боковые морены, «рассеченные на отдельные отрезки боковыми притоками». При этом допускается «с большей или меньшей вероятностью» сейсмогенность Тирехтяхских, Мельдекских и Чульских дислокаций.

Такие достаточно категоричные суждения равнозначны опровержению результатов более чем десятилетних специализированных палеосейсмогеологических исследований, изложенных в многочисленных публикациях [Важенин, 1988 *a*, *б*, 1989 *b*, 1992 *a*, *б*, 1993 *a*, *b*, 1996 *б*, 1997, 1998 *б*; Важенин и др., 1997; Vazhenin, 2000]. Но важно даже не это, а то, что отвергаются сейсмогенность и само наличие следов разрушительных голоценовых землетрясений в большей части сейсмического пояса Черского, в том числе в его наиболее густонаселенных и освоенных районах – Примагаданье и вблизи Колымской ГЭС. Последствия неоправданного приуменьшения сейсмической опасности из-за игнорирования палеосейсмогеологических данных, полученных задолго до печально известных сейсмических катастроф на Кавказе и Сахалине [Хромовских, 1975; Хромовских и др., 1977; Палеосейсмогеология..., 1979; Кучай, Полунин, 1986], обернулись полной неготовностью к ним властей и населения Спитака в 1 988 г., Южной Осетии в 1 991 г., Нефтегорска в 1 995 г. Это вынуждает привести дополнительные аргументы в пользу обвального происхождения крупнообъемных грубообломочных отложений роев Елау, Бахапча и Дукча.



Рис. 39. Бахапчинский рой палеосейсмодислокаций. Буквы У, Ст, Д, С, Оз, Сн, Х, О в индексации дислокаций означают их названия, соответственно: Увязка, Стерегущий, Дялтунгда, Сфинкс, Озерный, Снежный, Хетакагчан, Орангутан

Все из указанных «сомнительных» роев выявлены автором по спектрозональным космоснимкам, подробно изучены и закартированы по аэроснимкам, заверены полевыми работами. При полевой заверке обследованы и подвергнуты тщательной разномасштабной и разноракурсной стереоскопической фоторегистрации многие гравитационные дислокации этих роев: Угловой-38, Сквозняк-23, Сыгынах-14, Сыгынах-9 в рое Елау [Важенин, 1996 б]; Орангутан-12, Сфинкс-150, малые обвалы в долине р. Хетакагчан в рое Бахапча [Важенин, 1996 б, 1998 б; Важенин и др., 1997]; Уптар-16-37, Уптар-1, Уптар-2, Медвежка-2, Омчак-13, Омчак-2, Снежка-1 в рое Дукча [Важенин, 1992 *a*, 1997; Важенин и др., 1997]. Принципы и технология получения информации для генетической и сейсмологической интерпретации дислокаций изложены в разделах 1.-4. По результатам этих исследований составлены и неоднократно опубликованы схемы каждого из данных роев с оценкой объемов гравитационных дислокаций, с характеристикой их соотношения с другими типами дислокаций и положения в рельефе (в том числе и ледникового происхождения).

Исходный фактический материал, использованный оппонентами для весьма ответственного заявления, «несколько менее» представителен. Ни один из них даже не был в Бахапчинских горах. Никаких убедительных свидетельств полевого обследования ими дислокаций роев Елау и Дукча (фотографий и др.) не представлено ни в публикациях, ни при устных сообщениях. Таким образом заявленной [Смирнов и др., 1998] комплексности геолого-геоморфологического анализа этих роев нет: практически полностью отсутствует весьма важный его элемент – полевые исследования. О недостаточной (для генетической интерпретации грубообломочных отложений) тщательности дешифрирования космоснимков В.Н.Смирновым и О.Ю.Глупковой можно судить по рис. 1 в их статье [1996] в сравнении, например, с рис. 25, 38, 39 данной книги, а также с иллюстрациями в других публикациях [Важенин, 1996 б, 1998 б; Важенин и др., 1997] и даже с топокартами.

## 2.13.2. Принцип динамического соответствия при генетической интерпретации палеосейсмодислокаций

Для выяснения вопроса о генезисе грубообломочных отложений потребуется сформулировать принцип динамического соответствия отложений и форм рельефа с условиями их формирования. Этот принцип издавна применялся квалифицированными геологами и геоморфологами при генетической интерпретации отложений и рельефа, однако, вероятно, только на интуитивном уровне. В сформулированном виде он выглядит довольно тривиально: все отложения и формы рельефа, ими образованные, соответствуют в природе или должны соответствовать (при генетических определениях) динамическим условиям их формирования, определяемым действием ведущих и фоновых агентов морфолитогенеза. Но, тем не менее, этот принцип бесспорен, и его следует отнести к разряду аксиом морфолитогенеза. Так, динамике водных потоков соответствуют: окатанность обломочного материала, закономерный облик песчано-галечных кос, пойменной и надпойменных террас, динамике обвального морфолитогенеза – остроугольность, острореберность и трещиноватость обломочного материала, а также закономерная геометрическая форма обвальных тел (достаточно полно охарактеризованная в разд. 2.7.), зависящая, главным образом, от высоты стенки срыва, от растянутости во времени процесса обрушения, от рельефа субстрата и от типа обвального литосбора (конвергентного, эквидистантного, дивергентного). Анализ этих и некоторых других параметров предполагаемых обвальных или иных литосборов на основе дистанционого и полевого изучения позволяет выполнять генетическую интерпретацию гравитационных дислокаций максимально обоснован-HO.

Обвалы Дялтунгда-30 и Сфинкс-150 (рис. 25, 32, 33) – типичные весьма крупные гравитационные дислокации Бахапчинского роя палеосейсмодислокаций (обвальный генезис которых и даже само наличие в Бахапчинских горах, оспариваются оппонентами) по динамике формирования в наибольшей мере соответствуют варианту с продольным профилем типа  $h_{1-2}V$  (рис. 10). Причем Дялтунгда-30 (рис. 25) имеет вид караваеобразного удлиненного по падению обвала-потока К-УП- $h_2V$ . Растянутость во времени процесса его формирования обусловлена пластообразностью исходной массы, удлиненность обвального тела – наклоном с крутизной 16° субстрата, караваеобразность – дугообразностью в плане длинной стенки древнеледникового кара, с которой обрушившиеся массы двигались конвергентно.

Для образования обвала Сфинкс-150 (рис. 25, 32, 33), с почти тем же кодом формы – К-УП-h<sub>1</sub>. <sub>2</sub>V, также характерны конвергентность литосбора, обусловленная дугообразностью стенки древнеледникового кара, уклон субстрата, пластообразность исходной массы. Однако из-за несколько меньшей крутизны субстрата (11°) и большего размера днища кара эти предпосылки не реализовались в завершении формирования караваеобразности. Ярко выраженная конвергентность литосбора при недостаточности других условий (высоты стенки срыва и крутизны субстрата) оказалась пригодной лишь для возникновения обвала с подковообразной формой в плане, повторяющей дугообразную конфигурацию стенки срыва, у подножья которой он залегает.

Малый обвал (рис. 25), лежащий под правым (восточным) бортом трога Хетакагчан, имеет вид, близкий к идеальному, - вариант Э-ГС- $h_3$ II с сегментной формой в плане, но все же не идеальный изза растянутости процесса обрушения при движении малой обвальной массы по очень высокой стенке срыва – свыше 800 м. Точно такую же сегментную форму имеют все сопряженные в единую цепочку малые обвалы общим числом свыше 10, залегающие у подножья западного обрывистого типично тектогенного склона г. 1 441 м (рис. 25, 38).

Высотой и крутизной он выделяется на фоне более сглаженных ледником бортов почти 30километрового древнеледникового трога Хетакагчан. Никаких многочисленных водотоков, способных разрезать единое аккумулятивное грубообломочное тело длиной 3 км на кусочки по 0,2-0,5 км, да к тому же сегментовидные и порой налегающие на флангах друг на друга, в данном месте нет и быть не может. То есть это не «боковая морена, рассеченная на отрезки боковыми притоками», а серия малых обвалов, интерпретируемых с высокой вероятностью в качестве сейсмогенных на основании анализа характера распределения гравитационных, гравитационно-тектонических и тектонических дислокаций Бахапчинского роя [Важенин, 1996 *б*; Важенин и др., 1997].

Сегментный обвал под левым бортом долины р. Хетакагчан близок к вариантам Э-ГС- $h_{1-2}$ II и Э-УП- $h_1$ V. Форма его на две три ступеньки отличается от идеальной (рис. 10). Это обусловлено не столько недостаточной высотой обрушения, сколько меньшей и переменной крутизной сместителя. Полевое обследование показало, что обвальное тело практически полностью сложено совершенно неокатанными угловатыми и трещиноватыми глыбами. В боковой морене ледника на расстоянии более 15 км от истока окатанные валуны должны были бы если уж не преобладать, то быть заметными, а их нет вовсе. Ниша отрыва этой обвальной массы находится выше плеча трога предпоследнего позднеплейстоценового оледенения на современной высоте около 600 м над днищем долины Хетакагчана. Этот обвал имеет типичные условия залегания и форму для множества других малых обвалов, находящихся у подножий бортов троговой долины Хетакагчан и под склонами долины р. Бахапча на участке «Бахапчинской трубы». Концентрация их убывает за пределами контура сейсмоблока Хетакагчан-360 [Важенин, 1996 *б*], несмотря на наличие и там склонов с повышенным обвальным потенциалом.

Попытки объяснения возникновения больших и малых аккумулятивных крупноглыбовых тел с выпуклой в вертикальном сечении геометрической формой (рис. 25) действием находящихся в трогах и карах ледников не дают, хоть в какой-то мере приближающихся к вразумительным, результатов. Обвалы не могли залечь непосредственно на днищах цирков или трогов, так как те были заняты ледниками. Крупные выпуклые в поперечном сечении морены образуются только в области абляции долинных, карово-долинных и каровых ледников (рис. 40 а-в). Морены в области ледникового питания и транзита маломощны, линейны и распластаны [Долгушин, Осипова, 1989]. При обрушении же на поверхность ледника крупные обвалы, как правило, распластываются по его наклонной, весьма гладкой и скользкой поверхности в виде обширного и маломощного плаща. Так это было, например, при Аляскинском землетрясении 1964 г. (рис. 19; разд. 2.7.2.). Крупные обрушения образуют тела типа Шерман-Глейшер; малые, в том числе и несейсмогенные, например, такие, как обвалысателлиты, возникшие одновременно с ним и заметные на снимке в боковой зоне ледника Шерман, выше главного обвала, поставляют обломочный материал для формирования перемещаемой боковой морены. При быстрой деградации ледника этот обвальный «плащ» проецируется на днище трога в виде маломощной донной морены, совершенно не похожей на выпуклые обвальные тела в Бахапчинских горах, мощностью от первых десятков до сотни и более метров.

Мощные аккумулятивные тела в виде конечно-моренных валов формируются ледниками только в их областях абляции. Конечно-моренные дуги полностью соответствуют динамике ледникового мофролитогенеза, и их очень трудно спутать с динамически и морфологически отличными обвальными телами. Боковая, срединная, донная и поверхностная морены, как правило, маломощны и распластаны по направлению течения ледника и также мало похожи на обвалы. Кроме того, исходный остроугольный обломочный материал, попадающий на поверхность или в толщу глетчерного льда, перемещается вместе с ним крайне медленно (по сравнению с динамикой обвалообразования) в течение десятков и сотен лет, подвергаясь дезинтеграции по имеющимся трещинам, окатыванию и превращается в валунник с мелкоземистым и суглинистым заполнителем. А все, что попало, например, в результате обрушения, на ледник, в реку, море, болото, но не переработано и не переотложено ледником или другим агентом морфолитогенеза, еще не является ни мореной, ни аллювием, ни морскими, ни болотными отложениями хотя бы уже по определению [Щукин, 1979].

## 2.13.3. Принципы геометрической соразмерности и петрографического соответствия

Дополнительно облегчает процедуру генетической интерпретации грубообломочных отложений принцип геометрической (объемной) соразмерности коррелятных аккумулятивных и денудационных форм рельефа. По смыслу этот принцип восходит к открытому М.В.Ломоносовым и др. закону сохранения массы (вещества). В наибольшей мере принцип соразмерности соблюдается или, скорее, очевиден, при оползневом и обвальном морфолитогенезе. Например, все обвалы представленные на рис. 25, практически полностью совпадают по объему с их обвальными нишами, что видно не только в стереомодели на аэро- и космоснимках, но даже в плоском изображении на профиле. То есть соотношение объемов денудационных и аккумулятивных форм рельефа, образующихся в результате крупных обвалов, близко к единице. Значительно меньшая величина соразмерности наблюдается для ледникового и флювиального морфолитогенеза, что определяется существенно меньшей скоростью и большей длительностью действия данных процессов. Это вызывает переработку обломочного материала до размерности самых мелких фракций и вынос в весьма удаленные осадочные бассейны, в том числе и во взвешенном и растворенном виде. Для них денудационные формы рельефа и коррелятные (пространственно сопряженные и наиболее легко коррелируемые) аккумулятивные различаются по объему в десятки и сотни раз. Вообще, для каждого ведущего морфолитогенетического процесса характерен некоторый диапазон величины геометрической соразмерности.

Принципу геометрической соразмерности совершенно не соответствует, например, утверждение В.Н.Смирнова и др. [1998] о том, что крупные выпуклые аккумулятивные грубообломочные тела типа Сфинкс-150, Дялтунгда-30 (рис. 25, 32), Уптар-16-37 (рис. 17, 18), залегающие в древнеледниковых карах, представляют собой «типичные каровые морены». Дело в том, что такие тела занимают части днищ каров, непосредственно примыкающие к их стенкам, а это оставляет для гипотетических каровых ледников слишком мало места даже для того, чтобы называться каровыми. При таком положении крупных глыбовых дислокаций в карах ледники могли претендовать только на роль присклоновых ледничков, отличающихся очень незначительной длиной и мощностью. Например, в случае акумулятивного тела Сфинкс-150 гипотетический присклоновый ледничок длиной не более 0,5 км должен был бы образовать «каровую морену» протяженностью 2,5 км и мощностью около 100 м; тело Дялтунгда-30 длиной 1,5 км и мощностью до 100 м возникло, якобы, в результате деятельности присклонового ледничка размером до 0,6 км; двухъярусное тело Уптар-16-37, простирающееся на 1,5 км и мощностью до 80 м образовано, предположительно, присклоновым ледничком длиной до 0,5 км. При указанных максимальных размерах гипотетических присклоновых ледничков над ними не оставалось бы даже обнаженных скал, с которых посредством «нивально-гляциальных» процессов сносился бы обломочный материал в таких огромных количествах, то есть размеры подобных мифических ледников надо уменьшить вдвое. Примером реальных присклоновых ледников может быть ледник Олений на Полярном Урале (рис. 40 г). Но тогда получится вовсе фантастическая картина – неподвижные ледовые «нашлепки» на склонах размером в 200-300 м и объемами в 1-2 млн м<sup>3</sup> создают «каровые морены» длиной в километры и объемами в десятки и даже многие десятки миллионов кубометров.

Реально соответствует динамически и геометрически ледниковому морфолитогенезу, например, конечно-моренный комплекс в устье долины р. Хетакагчан объемом около 260 млн м<sup>3</sup>, образованный позднеплейстоценовым ледником Хетакагчан длиной около 30 км (рис. 38, 39) с объемом денудационных ледниковых форм рельефа во многие кубические километры. То есть объемы денудационных ледниковых форм в десятки раз превосходят объемы коррелятных им аккумулятивных. Это же можно отметить и для карового ледника Обручева на Полярном Урале (рис. 40  $\delta$ ,  $\epsilon$ ). В устье кара в области абляции данного ледника длиной 800 м, мощностью до 150 м и объемом около 30 млн м<sup>3</sup> сформировалась боковая морена, переходящая в конечную, длиной до 750 м, шириной до 130 м и объемом около 2 млн м<sup>3</sup>. Следовательно, объем только занятой современным ледником части кара в 15 раз больше морены в его устье. Еще меньшая величина геометрической соразмерности отмечена для карово-долинного ледника ИГАН длиной 1 700 м его конечной морены объемом менее 2 млн м<sup>3</sup> (рис. 40  $\epsilon$ ). Необходимо также учесть, что данные морены созданы несколько более крупными в прошлом ледниками, чем современные, так как, по меньшей мере, в течение последних 150 лет ледники Урала отступают [Долгушин, Осипова, 1989].



Рис. 40. Типичные малые ледники Полярного Урала (по Атласу Арктики [1985]); *а*, *б* – каровый ледник Обручева; *в* – карово-долинный ледник ИГАН, *г* – присклоновый ледник Олений: 1 – лед; 2 – боковые и конечные морены; 3 – поверхностные морены; 4 – подстилающая поверхность; 5 – изогипсы; 6 – озера; 7 – водотоки

Геометрическая форма конечных и связанных с ними боковых морен каровых и карово-долинных ледников напоминает в плане полумесяц с вытянутыми в различной степени концами и выпуклостью, обращенной Вместе В сторону уклона. С древнеледниковым каром в целом они напоминают отпечаток выпуклого тела, например, стопы в вязкопластичном грунте. То есть на месте бывшего ледника возникает полая, вогнутая, отрицательная, негативная форма рельефа, практически лишенная ледниковых отложений в ее центральной части. Боковые и связанная с ними конечная морены лишь оконтуривают в виде вала этот негативный отпечаток, оставшийся после таяния положительной, выпуклой, позитивной формы древнего ледника, но не по всему его периметру, а только в устье кара или в долине - в древней области абляции, максимально удаленной от верховий кара. В отличие от этого сегментные обвалы, имеющие форму, близкую к идеальной, залегают непосредственно под стенками срыва. Так же располагаются караваеобразные обвальные тела. Обвалы-потоки отличаются хотя И максимальной распластанностью и максимальной удаленностью фронтальной части от стенки срыва, занимают, в отличие от морен, все днище древнеледникового кара. И все они, в том числе и обвалы-потоки представляют собой выпуклые в поперечном сечении аккумулятивные тела, вложенные в отрицательные постледниковые кары, и этим больше похожи на ледники – такие же положительные по форме

образования, значительно более соразмерные денудационным формам ледникового рельефа, чем на их морены, не соразмерные карам и долинам.

В устьях абсолютного большинства древнеледниковых каров Северо-Востока России нет достаточно крупных морфологически выраженных морен, подобных уральским. Это можно объяснить тем, что позднеплейстоценовые каровые ледники, вырабатывавшие их, существовали только вместе и в единой системе с горно-долинным оледенением. При этом обломочный материал не мог скапливаться в устьях каров, а уносился долинными ледниками. Деградация последнего горно-долинного оледенения, по-видимому, происходила так быстро, что реликтовые, исчезнувшие в последнюю очередь каровые ледники существовали автономно недостаточно долго для образования конечных каровых морен заметного в рельефе объема.

В некоторых случаях выяснению и убедительному доказательству гравитационного происхождения крупных грубообломочных аккумулятивных тел может способствовать применение принципа петрографического соответствия тромба его литосбору. Процедура выполнения теста на петрографическое соответствие изложена в разделе 2.8.1. Ограничением для его применения является необходимость некоторого разнообразия в геологическом строении предполагаемого обвального и вероятного ледникового литосборов. Например, возможность ледникового формирования серии дислокаций в пределах роя Дарпир с крупнейшей из них – Дарпир-Сиен-4,5 (рис. 13) полностью исключается тем, что они сложены глыбами и щебнем только терригенно-карбонатных горных пород, таких же, как и в левом борту долины р. Дарпир-Сиен, под которым они залегают, а позднеплейстоценовые ледниковые отложения, выстилающие долину, представлены главным образом гранитными валунами, принесенными в Омулевское Среднегорье из юго-восточной части хр. Улахан-Чистай. Для гранитных массивов Елау, Бахапчинского и Магаданского этот принцип менее применим из-за их меньшего петрографического разнообразия.

В завершение анализа качества аргументации альтернативного ледникового происхождения крупных гравитационных дислокаций надо отметить, что все рассмотренные варианты такого толкования конкретных объектов оказались неверными. Вместе с тем и сама логика альтернативного противопоставления ледникового морфолитогенеза сейсмическому представляется весьма наивной. Многие горные регионы с современным оледенением являются одновременно и сейсмоактивными. На большей части Северо-Востока России горно-долинное оледенение исчезло около 10 тыс. лет назад, а сейсмичность продолжает свою достаточно регулярную и эффективную работу по преобразованию рельефа, в том числе и древнеледникового.

## 2.13.4. О сейсмическом происхождении крупных гравитационных дислокаций

Допущение о возможности несейсмогенного формирования предполагаемых палеосейсмодислокаций, особенно гравитационных, вызывает сомнения в достоверности их генетической интерпретации. Малые гравитационные и близкие к ним дислокации (объемами в десятки, сотни, тысячи и даже десятки тысяч кубометров) могут возникать как при землетрясениях, так и под действием некоторых чисто экзогенных факторов морфолитогенеза (боковая эрозия, абразия, экзарация). Однако ограничения в новой палеосейсмогеологической методике, накладываемые на объекты-индикаторы, по морфолого-генетическому типу (почти исключительно скальные обвалы) и крупности (не менее 1 млн м<sup>3</sup>) исключают из анализа такие дислокации, которые могут интерпретироваться неоднозначно. Некоторая неоднозначность генетической интерпретации приписывается и крупным скальным обвалам на основании того, что на памяти человечества были случаи несейсмогенного формирования крупных обвалов. Однако подобные случаи буквально единичны. Известен достоверный крупный асейсмичный обвал – Эльм-10, образовавшийся в 1 881 г. в Швейцарии, но и то возникший в результате техногенного воздействия на склон [Федоренко, 1988]. Почти во всех других случаях дислокации, приводимые в качестве примеров асейсмичных обвалов, оказываются либо оползнями, предопределенными структурно-литологическими и климатическими причинами, либо малыми обвалами (с объемами менее 1 млн м<sup>3</sup>), либо вообще непонятными неизученными образованиями с неизвестными объемами и сомнительной асейсмогенностью, например, гравитационные дислокации, сместившиеся с северного берега на дно Сарезского озера в 1 987 г. [Агаханянц, 1989].

В то же время сильнейшие современные землетрясения одноактно продуцируют десятки крупных и множество мелких обвалов, то есть целые рои, например, Спитакское 1 988 г. [Рогожин и др.,

1990; Никонов, 1990], Дагестанское 1 970 г. [Чигарев, Шивков, 1977, 1981; Попова, Левкович, 1981], Рачинское 1991 г. [Рогожин, Богачкин, 1993; Богачкин и др., 1993], Аляскинское 1 964 г. [Войт, 1976; Болт и др., 1978; Walker, 1982], Сан-Фернандо, Калифорния 1 971 г. (Болт и др., 1978], Сусамырское 1 992 г. [Чедия, Корженков, 1995], землетрясения Монголо-Байкальского сейсмического пояса [Николаев, Семенов, 1995] и др. При этом не известен ни один случай современного несейсмогенного формирования роев крупных обвалов (а не отдельных обвалов) даже в условиях весьма активных современных тектонических движений, например, в зоне давно и пристально изучаемого и весьма динамичного разлома Сан-Андреас в Калифорнии. К тому же, в пространственном размещении роев, как древних крупных обвалов, так и современных, например, возникших при Рачинском землетрясении 1 991 г. [Богачкин и др., 1993] не наблюдается достаточно жесткой обусловленности рельефом, древними оледенениями и т.п., что существенно снижает обоснованность предположений об экзогенном происхождении крупных гравитационных дислокаций. Аргументы в пользу сейсмической природы роев гравитационных дислокаций (к тому же комплексирующихся с тектоническими) несравненно убедительней [Полунин, 1989; Важенин, 1990, 1992 *б*; Никонов, 1990; Чедия, Корженков, 1995; Николаев, Семенов, 1995].

Возможность ошибок в генетической интерпретации дислокаций снижается тем, что в рамках новой методики благодаря ее высокой производительности и возможности оперативного изучения многих десятков палеосейсмодислокаций быстро нарабатывается опыт дешифрирования, позволивший определить и сформулировать морфологические, пространственные, вещественные, спектральные и другие признаки гравитационных дислокаций, гарантирующие высокую точность отбраковки их от порой морфологически сходных, иных грубообломочных образований (разд. 2.5., 2.7.). Квалификация и честность исследователя влияют на качество палеосейсмогеологической информации. В рамках новой методики качество контролируется не только полевыми, но и дистанционными методами, а также анализом источников информации и методики, использованной для генетической интерпретации.

## 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛЕВОЙ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ

## 3.1. Полевая фоторегистрация как компонент комплексного изучения палеосейсмодислокаций

В решении задач полевой фоторегистрации и комплексного дешифрирования наземных, аэрои космоснимков от исследователя требуются твердые знания и практические навыки в нескольких научно-технических областях: 1) общая фотография; 2) ландшафтная (пейзажная) фотосъемка; 3) панорамная, 4) стереоскопическая (фототеодолитная) съемка, макросъемка; 5) применение сменной оптики; 6) технология аэрофотосъемки и технические данные аэроснимков; 7) технология космической съемки и изобразительные возможности космоснимков; 8) приемы дешифрирования аэрофотосснимков; 9) способы дешифрирования космоснимков; 10) демаскирующие и дешифровочные свойства палеосейсмодислокаций.

По большей части указанных разделов съемки и применения снимков имеется достаточное количество теоретической литературы и практических руководств. Некоторые из них освещены в литературе слабее, а по отдельным опубликовано совсем мало сведений. В целом же задача фоторегистрации и комплексного дешифрирования полевых и аэрокосмических снимков палеосейсмодислокаций, насколько известно автору, не отражена в литературе вовсе. Наличие хорошо описанных разделов, с одной стороны, облегчает задачу изложения технологии фоторегистрации и дешифрирования палеосейсмодислокаций (исключает необходимость повторов общеизвестного), с другой – обусловливает недостаточность такого объема информации для практического использования в случаях неполноты знаний и умений у исследователей палеосейсмодислокаций в области общей фотографии и дистанционного зондирования. Данная глава не претендует на всеобъемлющую полноту описания технологии фоторегистрации и дешифрирования палеосейсмодислокаций, а лишь отражает их специфический аспект. Необходимость освоения и умелого применения технологии фоторегистрации и комплексного дешифрирования полевых, аэро- и космоснимков определяют следующие факторы.

1). Весьма хорошая фотогеничность сейсмодислокаций, при которой визуальная информация является основной в их характеристике.

2). Возможность существенного расширения информационной базы исследований палеосейсмодислокаций за счет использования всего масштабного ряда источников: а) макрофотосъемка, например, зеркал скольжения на поверхностях сейсмогенных разрывов; б) полевая фотосъемка в крупных масштабах деталей строения сейсмодислокаций, к примеру, гранулометрического состава обвальных отложений; в) полевая среднемасштабная фотосъемка фрагментов сейсмодислокаций, характеризующая, например, высоту и морфологию сейсмогенных сбросов, фронтальных уступов обвальных тел, рельеф и дислоцированность стенок срыва и ниш отрыва обвалов; г) среднемасштабная полевая фотосъемка общего вида сейсмодислокаций, отображающая их геометрическую форму; д) мелкомасштабная полевая (в том числе панорамная) фотосъемка сейсмодислокаций, выявляющая их положение в рельефе и в геологических структурах; е) аэрофотосъемка, которой ввиду масштабного ограничения доступны главным образом параметры сейсмодислокаций с детальностью указанных пунктов (г) и (д); детальность пунктов (в) и тем более (б) достигается не всегда и лишь на пределе разрешающей способности; ж) среднемасштабная космосъемка, которой доступна почти исключительно детальность пунктов (г), (д) и плюс к тому обеспечивается высокая обзорность территории, облегчающая и ускоряющая поиск палеосейсмодислокаций; з) мелкомасштабная космосъемка (фотографическая И сканерная), позволяющая характеризовать особенности геологогеоморфологического строения обширных территорий и выявлять только крупнейшие предполагаемые тектонические сейсмодислокации ранга катастрофических сейсмических событий, например, Гоби-Алтайского 1 957 г., при котором возник разлом длиной 245 км.

3). Недостаточная точность, полнота и детальность полевого визуального восприятия и запоминания видеоинформации.

4). Недостаточная во многих случаях детальность аэро- и космоснимков для генетической и сейсмологической интерпретации палеосейсмодислокаций.

5). Доказательность фотодокументации, подтверждающей сам факт полевой заверки палеосейсмодислокаций, а также обеспечивающая аргументацию их генетической и сейсмологической интерпретации и «привязку» точек наблюдения и полевой фотосъемки к изображениям на картах, аэро- и космоснимках.

6). Возможность производить измерения по снимкам, в том числе и полевым.

7). Возможность точного картографирования палеосейсмодислокаций в различных масштабах, вплоть до самых крупных.

8). Возможность получения изображений палеосейсмодислокаций, в частности иллюстраций с дешифровочной нагрузкой и без нее, в различных ракурсах и проекциях отличных от плановой, которая только одна присуща серийным аэро- и космосъемкам.

9). Обеспечение рационального использования дорогого полевого времени посредством замены кропотливого и трудоемкого процесса детальных натурных наблюдений и картографирования камеральным послеполевым дешифрированием.

### 3.2. Аппаратура для полевой фоторегистрации

Как уже было отмечено, для полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций требуются знания и умения в общей фотографии и в частных ее разделах: ландшафтная (пейзажная) и панорамная съемка, стереосъемка, разноракурсная и разномасштабная съемка с применением сменных объективов с различными фокусными расстояниями, макросъемка и, пожалуй, цветная фотосъемка.

Общая фотография представляет собой настолько обширную область знаний, что не только изложить, но и упомянуть все ее разделы, даже необходимые в практике полевой фоторегистрации, в данной работе нет никакой возможности, и потому остается только отослать читателя к наиболее обстоятельным и доступным публикациям [Дыко, Иофис, 1960; Бунимович, 1969; Горбатов, Тамицкий, 1972; Фомин, 1975; Тамицкий, Горбатов, 1976, 1979; Дыко, 1977; Симонов, 1977; Фотокинотехника, 1981; Чибисов, 1984; Волгин, 1988; Шахрова, 1988; Справочник фотографа, 1989; Редько, 1995; Teicher, 1983 и мн.др.].

Для выполнения полевой фотосъемки могут быть полезны сведения, содержащиеся в работах К.В.Вендровского и Б.И.Жутовского [1961], Н.А.Валюса [1962], Б.У.Барщевского и Б.Т.Иванова [1970], М.Н.Петрусевича [1976], В.И.Власенко [1978], Я.С.Красильщикова [1979], К.В.Чибисова ]1984], Р.А.Такранова и А.С.Шустермана [1984], Р.Хеймена [1988], а также [Геологическая документация..., 1984]; и др. Разделы 3.2. и 3.3. написаны с использованием информации, содержащейся в указанных и других публикациях, а также на основе собственного многолетнего опыта автора в полевой фотосъемке.

#### 3.2.1. Фотоаппараты

Специально разработанных аппаратов для полевой фотосъемки, пожалуй, не существует. Однако ассортимент профессиональной и любительской аппаратуры общего назначения достаточно велик для того, чтобы выбрать наиболее подходящие модели. Выполнение простейших вариантов полевой фотосъемки возможно любыми фотокамерами, обеспечивающими достаточно высокую резкость и четкость снимков. В фотографии бытует мнение о том, что нет универсальной фотокамеры, пригодной для всех видов съемок, каждый из них для достижения наилучших результатов требует своей фотоаппаратуры. Тем не менее, специфика полевых фотосъемок (особенно это характерно для фоторегистрации палеосейсмодислокаций) – повышенные требования к надежности аппаратуры, жесткие ограничения по массе, обусловленные обычной удаленностью и труднопроходимостью горных и таежных ландшафтов – определяет необходимость максимальной универсализации фотоаппаратуры с целью минимизации ее веса и габаритов. Такие условия вынуждают отказаться в большинстве случаев от использования среднеформатных фотокамер ( $6 \times 6, 4, 5 \times 6, 6 \times 9$  см) в качестве основных для регистрации палеосейсмодислокаций, хотя они и гарантируют более высокую четкость снимков при равных форматах отпечатков по сравнению с малоформатными (24×36 мм) аппаратами. Возможность существенной компенсации этого недостатка малоформатных фотокамер видится в использовании сменных телеобъективов, позволяющих получать снимки интересующих участков ландшафта и изучаемых объектов в увеличенных масштабах. Из этого следует вывод о большей приемлемости малоформатной камеры в качестве базовой. При этом фотокамера должна быть зеркальной (однообъективной), как наиболее подходящей для применения сменных объективов, особенно телескопических, и для выполнения макросъемки.

Требования к надежности и высокая стоимость ограничивают возможности полевого использования высококлассных, но излишне сложных, начиненных элетроникой фотокамер с автоматической отработкой экспозиции, а также с автоматической фокусировкой объектива, с моторной перемоткой пленки, например, «Praktica-EE2», «Praktica-EE3», «Praktica-B 200», «Praktica-BC 1», «Praktica-B 100», «Praktica-BX 10», «Nikon-F3», «Nikon-F4», «Nikon-F 301», «Nikon-F 501 AF», «Nikon-F 601», «Canon-T90», «Canon-EOS 1», «Canon-EOS 620», «Canon-EOS 650», «Canon-EOS 1 000», «Olympus-OM 4Ti», «Contax-RTS III», «Asahi Pentax-LX», «Pentax-MX», «Pentax-SF7», «Leica-R4», «Leica-R5», «Leica-R-E», «Зенит-автомат», «Зенит-18», «Зенит-Ам» «Зенит-Ап», «Киев-18» и мн.др. [Wurst, 1986; Сов.фото, 1989, № 3, 1990, №10, 1991, №6, 1992, №1]. Такие аппараты в случаях отказа электроники, разряда батарей большей частью либо совсем выходят из строя, либо обеспечивают механическую отработку одной – двух выдержек. Преимущества автоматических фотокамер перед простыми механическими реализуются, главным образом, лишь в условиях дефицита времени и повышенных требований к оперативности работы, например, при репортажной и спортивной съемке. Затраты времени на замер экспозиции с помощью экспонометра и взвод затвора при полевой съемке несущественны. Определение экспозиции и фокусировка объектива, обеспечивающие качество и стабильность результатов, выполняются вручную грамотным фотографом даже с большей точностью, чем самой совершенной автоматикой, особенно в сложных вариантах освещенности объекта.

Из ассортимента сравнительно недорогих отечественных и зарубежных фотокамер в большей мере требованиям к базовой полевой фотокамере соответствуют малоформатные однообъективные

зеркальные полностью механические или полуавтоматические аппараты типа «Зенит» разных модификаций («3М», «Е», «В», «ЕТ», «ЕМ» «10», «11», «ТТL», «12СД», «19», «14», «122»), «Киев-20», «Киев-19», «Praktica-L», «Praktica-L2», «Praktica- LB2» и особенно выпускавшийся в 1 958-1 964 гг. «Старт» [Дыко, Иофис, 1960; Бунимович, 1969; Щепанский, 1987; Волгин, 1988; Wurst, 1986; Сов.фото, 1986, №9, 1992 №1]. Последняя фотокамера на протяжении многих лет используется автором в качестве основной полевой. Она имеет ряд преимуществ по сравнению с общеизвестными «Зенитами» и многими другими: 1) байонетное (штыковое) крепление объектива, ускоряющее и упрощающее применение сменных объективов; 2) полный набор выдержек (от 1 до 1/1 000 с, у большинства моделей «Зенитов» – 1/30-1/500 с); 3) съемная пентапризма, заменяемая на шахтный видоискатель, который бывает удобнее при макро- и репродукционной съемке; 4) намотка фотопленки на приемную катушку эмульсией внутрь, что резко снижает вероятность «заеданий» и разрывов перфорации и самой пленки при взводе затвора и при обратной перемотке в кассету на морозе, который затрудняет и делает невозможными эти операции начиная с нуля – минус 5°C; 5) возможность работы на две кассеты (подающую и приемную), что исключает необходимость обратной перемотки и может применяться при съемке на морозе и в других экстремальных условиях; 6) возможность предварительного спуска зеркала, что устраняет дополнительную вибрацию камеры (недостаток, характерный для всех «зеркалок») при последующем спуске затвора; 7) блочная конструкция фотокамеры, позволяющая производить ее ремонт даже в полевых условиях.

Основными из этих параметров среди сравнительно недорогих и выпускавшихся большими сериями фотокамер, обладают, пожалуй, только аппараты типа «Exakta-RTL 1 000», «Exakta-VX 1 000», «Exakta-VX 500», производства ГДР [Wurst, 1974] а из отечественных – «Алмаз-103» и «Алмаз-102» [Щепанский, 1987, Волгин, 1988]. К сожалению «Алмазы», обладая многими качествами высококлассного аппарата, не отличаются надежностью, судя по отзывам фотографов [Сов.фото, 1991, №8-10]. Рядом важных для полевой фоторегистрации характеристик обладают фотоаппараты «Киев-20» и «Киев-19»: байонетное (типа «Н») крепление объектива, намотка фотопленки на приемную катушку эмульсией внутрь, металлический ламельный затвор с полным набором выдержек. «Зенит-14» имеет байонет типа «К», выдержки 1-1/1 000 с, полуавтоматическую установку экспозиции и среди «Зенитов», очевидно, является наиболее подходящим для полевой фоторегистрации [Сов.фото, 1984, №2, 1986, №9; Волгин, 1988].

К 70-80-м гг. ХХ века фотографическая механика и оптика, пожалуй, достигли предела совершенства, после чего прирост качества результатов съемки практически прекратился. Дальнейшее развитие фотоаппаратуры происходит, главным образом, в направлении автоматизации съемки. Поэтому большая часть моделей фотоаппаратов, максимально подходящих по характеристикам в качестве базовых для полевой фоторегистрации, производилась в прежние годы, что затрудняет их приобретение. Тем не менее, массовый переход на современные автоматические фотоаппараты типа «мыльниц» и возрастное снижение активности фотографов, действовавших в 60-80-ых гг. увеличивают объем неиспользуемой аппаратуры прежних лет, выпускавшейся большими сериями, и облегчает возможность покупки ее «с рук» и в комиссионных магазинах.

Кроме базовой фотокамеры (с набором сменных объективов) при полевой фоторегистрации могут применяться и другие фотоаппараты. Это прежде всего среднеформатные (4,5×6, 6×6, 6×9 см) аппараты (со сменой оптикой или без нее), которые могут быть взяты «в поле» и использоваться по мере возможности, ограничиваемой большим весом и габаритами аппаратуры. Так, например, однообъективный зеркальный фотоаппарат «Киев-60 TTL» имеет массу 2,1 кг, а в комплекте с двумя сменными объективами «Мир-3,5/65Б» (широкоугольный) и МС «Телеар-4Б» (телеобъектив) – свыше 3,5 кг. Подобный по набору комплект малоформатной аппаратуры весит, как минимум, вдвое меньше.

В качестве дополнительного среднеформатного аппарата для полевой фоторегистрации были бы хороши складные камеры, обладающие существенно меньшей массой и габаритами, например «Москва-5» (0,9 кг), «Искра-2» (0,85 кг) или простые двухобъективные зеркальные камеры (с пластмассовым корпусом) типа «Любитель-2», «Любитель-166У» (0,7 кг), если бы они имели более высокоразрешающие объективы. К примеру, разрешающая способность объектива «Т-22» в аппаратах «Любитель-2» и «Любитель-166У» составляет всего 22 л/мм (линий на мм) по центру и лишь 9 л/мм – по краю, что сводит на нет преимущества большего формата кадра. Так, съемка одного и того же пейзажа с одной и той же точки, с теми же границами кадра (по горизонтали) среднеформатным (6×6 м) аппаратом «Любитель-166У» и малоформатным аппаратом «Старт» с объективом «МС Индустар-61 л/з», и с последующим увеличением отпечатков до одного и того же формата, показала заметное, гораздо более высокое качество по разрешению снимков, выполненных малоформатным «Стартом». Лучшее разрешение (33/10 л/мм) из указанных портативных среднеформатных аппаратов имеет «Искра-2» с объективом «Индустар-58». Оно вполне приемлемо для центра кадра и неудовлетворительно для края. К тому же, эти камеры не пригодны для использования сменных объективов.

В качестве дополнительного, если не основного, аппарата при полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций может быть использован панорамный фотоаппарат типа «Горизонт», выпускавшийся в 1 967-73 гг. Ныне производится его несколько улучшенная модификация. Вращающийся вокруг вертикальной оси объектив «Горизонта» с фокусным расстоянием 28 мм обеспечивает угол зрения аппарата 120° по горизонтали и 45° по вертикали. На стандартной 35-миллиметровой перфорированной фотопленке размещается 21 кадр форматом 24×58 мм. Вращение объектива и несколько увеличенный (по горизонтали) формат кадра обеспечивают съемку однокадровых панорам с большим углом поля зрения при сохранении сравнительно крупного масштаба, определяющего в итоге высокое разрешение изображения мелких деталей объекта. Совмещение этих взаимно противоречивых качеств изображения недоступно широкоугольным и сверхширокоугольным объективам, которые, казалось бы, могли служить альтернативой съемочной системе «Горизонта». Так, с увеличением угла поля зрения съемки пропорционально уменьшаются ее масштаб и, соответственно, детальность отображения и наоборот. Угол зрения «Горизонта» в 120° позволяет изображать (при условии обеспечения вполне приемлемой детальности) в одном кадре целиком: 1) крупнейшие палеосейсмодислокации (например, грандиозные обвалы объемами в сотни миллионов кубометров с горизонтальными размерами в первые километры) в стесненных условиях узких горных долин; 2) крупные дислокации вместе с фоном (характеризующим их геолого-геоморфологическое положение); 3) фрагменты дислокаций, снятые с близкого расстояния, вместе с фоном, позволяющим производить их точную «привязку» к местности и к другим (мелкомасштабным) снимкам; 4) экономичное, быстрое и качественное панорамирование (на круговую панораму в 360° требуется четыре кадра с достаточным для точного совмещения при монтировании взаимным перекрытием).

Из других разновидностей камер могут быть полезны компактные и легкие малоформатные автоматические фотоаппараты типа так называемых «мыльниц». Они хороши при, так сказать, «попутной» съемке в условиях недостатка времени и отсутствия возможности выполнять ее более обстоятельно: при фотографировании с транспортных средств, в трудных пеших маршрутах, при сплаве на лодках по бурным горным рекам и т.п. В качестве примера таких аппаратов с автоматической отработкой экспозиции из более простых моделей можно указать «Ломо-Компакт-М», «Киев-35А». «Эликон-автофокус» имеет еще и автоматическую фокусировку объектива и встроенную фотовспышку. Эти и многочисленые компактные аппараты ведущих зарубежных фирм обладают массой в пределах 0,2-0,4 кг и потому не обременительны даже в самых тяжелых условиях съемки. Производятся компактные малоформатные аппараты с переменным фокусным расстоянием объектива, с фиксированным ступенчатым изменением фокуса, например, «Nikon-L35TW» (f=38 и 65 мм), «Canon Top Twin» (f=40 и 70 мм) и плавным – типа «зум» – «Pentax Zoom-70» (f=35-70 мм), «Pentax Zoom-90» (f=38-90 мм). Весьма интересна для съемки в экстремальных полевых условиях, например, на сплаве, компактная всепогодная камера «Nikon-L35AW», пригодная даже для съемки под водой до глубины 3 м [Сов.фото 1987, №3, 1988 №1, №6, 1990, № 10].

Пожалуй, вовсе не приемлемы для полевой фоторегистрации так называемые миниатюрные аппараты, предназначенные для работы с роликовой фотопленкой шириной до 16 мм с форматами кадра 14×20 мм (например, «Нарцисс»), 11×14 мм («Киев-вега»), 13×17 мм («Киев-30»), а также «полуформатные» аппараты для съемки на 35-миллиметровую пленку, но с форматом 18×24 мм (например, «ФЭД-Микрон», «Агат-18»). Они не на много и не все легче компактных малоформатных камер, но проигрывают им в информативности снимков пропорционально уменьшению формата.

### 3.2.2. Фотообъективы

Еще одним важным требованием к полевой базовой фотокамере является наличие сменных объективов с высокой разрешающей способностью. Для всех указанных типов аппаратов, предпочтительных при полевой фотосъемке, выбор объективов достаточен [Щепанский, 1987; Волгин, 1988; Сов.фото, 1987, №9, 10, 1989, №11, 1991, №4, №6, 1992, № 9, 10].

К «Старту» подходят (с переходным кольцом) многочисленные сменные объективы, выпускавшиеся для ранних моделей «Зенитов» с резьбой М39×1 и рабочим отрезком (расстоянием) 45,2 м (современные «Зениты», начиная с 1 975 г., выпускаются с резьбой М42×1 и рабочим отрезком 45,5 м, а некоторые модели – «Зенит-автомат», «Зенит-14», «Ам», «Ап», а также «Алмазы» – с байонетом типа «К»). Но даже новые объективы можно приспособить к «Старту», сменив кольцо адаптера на 39-миллиметровое. Переходные кольца для зенитовских объективов входили, наряду с шахтным видоискателем, в комплект фотоаппаратов «Старт». Хотя эти фотокамеры уже давно не выпускаются, их еще довольно много на руках у старых фотографов, и они периодически поступают в комиссионную продажу.

Штатный объектив «Старта» – «Гелиос-44» с прыгающей (нажимной) диафрагмой близок к классу мягкорисующих, хорошо передающих на снимках пластику объемных изображений, что прежде высоко ценилось в портретной съемке, и плюс к тому он имеет несколько увеличенное фокусное расстояние (58 мм), не вполне характерное для штатных объективов (50 мм) и соответственно уменьшенный угол поля зрения. Поэтому он не подходит для технической ландшафтной фотосъемки, при которой большое значение имеет высокая разрешающая способность объективов, обеспечивающая возможность максимальных увеличений рабочих (дешифрируемых) и демонстрационных отпечатков и, соответственно, получение максимальной информации с единицы площади негатива. В качестве штатных объективов при изготовлении фотоаппаратов на них обычно устанавливают так называемые «нормальные» объективы или объективы с «нормальным» фокусным расстоянием. Нормальным называют фокусное расстояние, близкое по величине к длине диагонали съемочного формата камеры. Диагональ кадра 24×36 мм малоформатных камер равна приблизительно 43 мм, а нормальными принято считать объективы с фокусом, округленным до 50 мм. Объективы с меньшим фокусом называют короткофокусными или, чаще, широкоугольными. Объективы с фокусным расстоянием, большим нормального до 2 раз, относят к классу длиннофокусных, а с фокусом свыше 2 раз превосходящим нормальный – телескопических объективов или, проще, телеобъекти-BOB.

В качестве штатного объектива к «Старту» для полевых съемок больше подходит 50миллиметровый «МС Индустар-61 л/з», обладающий благодаря «лантановой» оптике высокой разрешающей способностью – 45 линий на 1 мм в центре кадра и 30 – по краю (против 35 и 14 л/мм у «Гелиоса-44»). «Индустар-61 л/з», как обычный нормальный объектив, имеет угол поля зрения, 46° (указываемый в паспортных данных по диагонали кадра). Угол поля зрения по горизонтали (по длинной стороне кадра) составляет для формата 24×36 мм около 83% от величины угла зрения по диагонали и равняется приблизительно 38°; угол зрения по вертикальной стороне кадра – около 55% и, в данном случае, приблизительно равен 26°. Индекс «МС» в маркировке объективов означает их многослойное просветление нанесение на поверхности линз тонких оптических пленок, повышающих светопропускание многолинзовых оптических систем. Штатный объектив пригоден и используется главным образом для среднемасштабной фотосъемки общего вида мелких и средних (размером в сотни метров) сейсмодислокаций и фрагментов крупных сейсмодислокаций (первые километры) обычно с расстояний в сотни метров – километр с противоположных бортов узких горных долин. Весьма хорош он для макросъемки, так как фокусируется без удлинительных колец, начиная с 0,3 м. С этого расстояния в кадре помещается объект размером около 7×10 см. Им можно выполнять качественное панорамирование (съемку на несколько взаимно перекрывающихся кадров) в средних (а не мелких, как посредством широкоугольных объективов) масштабах, пригодное, например, для дешифрирования малых деталей строения крупных дислокаций, таких как обвальные тела размерами в первые километры. Для съемки круговой панорамы (360°) этим объективом, при условии взаимного перекрытия соседних кадров около 30%, требуется отснять 13-14 кадров. Из новых штатных объективов не менее хорош, чем «Индустар-61» – «МС Волна-9».

Не реже при полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций применяются широкоугольные объективы. Одним из лучших отечественных объективов такого класса и поныне справедливо считается «Мир-1» (Гран-при Всемирной выставки в Брюсселе, 1 958 г.). Фокусное расстояние его 37 мм, угол поля зрения по диагонали 60°, по горизонтали – около 50°, разрешающая способность – 45 л/мм в центре кадра и 23 – по краю. Частое использование «широкоугольников» определяется обычно крупными размерами палеосейсмодислокаций, например, обвалов, залегающих нередко в стесненных условиях горных долин. В кадр при съемке широкоугольным объективом с расстояния около 1 км способен «поместиться» целиком средний обвал (размером не более километра), а также его стенка срыва. Панорамирование таким объективом более экономично, чем нормальным, так как на круговую панораму, с взаимным перекрытием соседних кадров в 30%, требуется около 10 кадров. Среди новых широкоугольников данного класса вполне приемлемы по качеству «МС Волна-10К» и «МС Мир-24Н».

Для широкоугольных объективов с еще большим углом поля зрения (75, 96, 180°) свойственно существенное увеличение массы – до 0,4-0,75 кг (против 0,2 кг у объектива «Мир-1») и габаритов – более чем в 1,5 раза сравнительно с 35-миллиметровыми объективами. Это несколько ограничивает их постоянное полевое использование, но не исключает вовсе. Так, объектив «МС Мир-20М» (f=20 мм, угол зрения 96°, масса 0,39 кг) может применяться взамен фотоаппарата «Горизонт», правда, менее эффективно. Сверхширокоугольные объективы типа «рыбий глаз», например, «МС Зодиак-2М-2» (f=15 мм, угол поля зрения 180°, масса 0,75 кг, габариты 103×90 мм) излишне тяжелы, громоздки и, к тому же, отличаются не вполне уместным в технической фотографии специфическим изображением геометрической перспективы и потому, пожалуй, неприемлемы в большинстве случаев серийной фоторегистрации палеосейсмодислокаций. Следует отметить, что у новых разработок таких объективов (например, «МС Зенитар-К» масса и габариты существенно снижены – 0,31 кг и 63×49 мм [Сов.фото, 1991, №4].

Для телеобъективов в еще большей мере, чем для широкоугольников, характерно увеличение массы и габаритов конструкции по мере удаления от нормального фокусного расстояния – 50 мм (в данном случае с увеличением фокуса). Так, если телеобъектив «Юпитер-37А» (f=135 мм, относительное отверстие 1:2,8) имеет массу 0,41 кг (нормальный «Индустар-61» – 0,225 кг), то «Юпитер-21М» (f=200 мм, относительное отверстие 1:4) – 0,98 кг, а зеркально-линзовый «МС МТО-11СА» (f=1 000 мм, относительное отверстие 1:10) – 1,95 кг. Увеличение светосилы объективов, в том числе и телескопических, также вызывает резкий рост их массы и габаритов до величин выше приемлемых, особенно для полевой фотосъемки. Этим объясняется снижение светосилы моделей телеобъективов с максимальными фокусными расстояниями по сравнению с более короткофокусными.

При полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций постоянно ощущается потребность в достижении максимально возможных увеличений съемки посредством применения телеобъективов. Весьма часто сейсмодислокации располагаются на удаленных, высоких и труднодоступных горных вершинах, хребтах и склонах. При этом обычно фотосъемка их возможна, например, только с противоположных бортов долин. В таких случаях целесообразно фотографирование с увеличениями до 5-10 крат по отношению к нормальному объективу. Возрастание масштаба съемки с использованием телеобъективов сравнительно с нормальным просто высчитывается по соотношению их фокусных расстояний. Так, объективы «Юпитер-37», «Юпитер-11», «Таир-11», «МС АПО Телезенитар M2,8/135» с фокусным расстоянием 135 мм обеспечивают увеличение в 2,7 раза (135:50=2,7).

Из числа самых распространенных в нашей стране зенитовских телеобъективов для полевой фотосъемки наиболее пригодны: уже охарактеризованный «МС Юпитер-37А» (разрешающая способность 45/30 л/мм); «Телемар-22» (f=200 мм, относительное отверстие 1:5,6, разрешающая способность 40/25 л/мм, масса 0,375 кг). Более новая модификация – «Телемар-22А» наряду с несколько увеличенным разрешением (44/25 л/мм) стала существенно тяжелее – 0,5 кг.

Длиннофокусные объективы (f=85-100 мм) имеют, как правило, высокую светосилу (относительное отверстие 1:2, 1:1,5), отчего излишне тяжелы (0,4-0,95 кг), обладают к тому же сравнительно невысоким разрешением (обычно порядка 35/17 л/мм) и предназначены, главным образом, для портретной съемки, а для полевой фоторегистрации малопригодны.

Из ассортимента самых длиннофокусных отечественных телеобъективов, которые могут быть полезны при полевой фоторегистрации и использоваться не постоянно, а по возможности, только в отдельных маршрутах, выделяется очень высоким соотношением кратности увеличения (10 крат по отношению к нормальному) к массе (0,62 кг) 500-миллиметровый зеркально-линзовый «МС ЗМ-5CA». Вместе с тем он обладает приемлемой светосилой (фиксированное относительное отверстие 1:8) и достаточно высоким разрешением (40/20 л/мм).

Весьма хороши для полевой и любой другой фотосъемки объективы с переменным фокусным расстоянием так называемые «зум». Один такой объектив, например, «МС Вариозенитар-К» с плавно изменяемым фокусным расстоянием от 35 до 100 мм и массой 0,41 кг способен заменить сразу несколько обычных объективов со стандартными фокусными расстояниями: 35, 50, 85 или/и 100 мм общей массой до 1 кг и более. При этом современные «зумы» обладают вполне приемлемыми разрешением – порядка 55/25 л/мм и достаточной светосилой – 1:2,8-1:4,5.

Удобство работы с «зумами» – исключение необходимости неоднократной смены объективов при фоторегистрации каждой сейсмодислокации и плавное изменение съемочного масштаба – гарантируют им широкое применение в полевых условиях. К сожалению, диапазоны изменения фокуса, большинства отдельных моделей таких объективов: 35-100 мм («МС Вариозенитар-К»), 28-85 мм («МС Янтарь-14Н»), 80-200 мм («МС Гранит-11М») пока не обеспечивают всех потребностей вариации масштабов полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций. Для этого необходимо два «зума» с фокусами 28-85 мм (0,65 кг) и 80-200 мм (0,95 кг), но их суммарная масса составляет 1,6 кг, которая даже больше, чем у комплекта из четырех простых объективов («Мир-1» – 0,3 кг, «Индустар-61» – 0,225 кг, «Юпитер-37» – 0,41 кг, «Телемар-22» – 0,375 кг) с общей массой 1,31 кг. Таким образом выигрыша по массе в данном случае не получается, есть только преимущество «зумов» по удобству съемки. Комбинация «зума» 35-100 мм (0,41 кг) с 200-миллиметровым «Телемаром-22» (0,375 кг) обеспечивает существенное снижение общей массы необходимого комплекта оптики до 0,785 кг. Надо отметить, что появляются и более совершенные разработки «зумов» с диапазоном от 35 до 200 мм, например, «МС Янтарь-20Н» (относительное отверстие 1:3,5-1:4,5, разрешение 55/30 л/мм) с вполне приемлемыми для полевого использования габаритами – 70×123 мм и массой всего 0,72 кг [Сов.фото, 1989, № 11].

Дополнительно позволяет минимизировать вес и габариты комплекта сменной оптики использование конвертеров (телеконвертеров). Конвертер, размещаемый между камерой и объективом, увеличивает его фокусное расстояние, например, вдвое, как модели «К-1» и «ТК-2» [Сов.фото, 1984, №8]. Конвертеры имеют весьма незначительные габариты (порядка 40×55 мм) и массу (около 0,12 кг) и совсем необременительны в полевых условиях. При этом конвертер обеспечивает уменьшение необходимого набора сменных объективов до трех с общим исходным диапазоном фокусного расстояния от 35 до 135 мм и суммарной массой около 1 кг в сочетании с возможностью расширения выбора значений фокуса оптических систем до 6 (35, 50, 70, 100, 135, 270 мм) и с увеличением диапазона до 270 мм. Именно такой, близкий к оптимальному, комплект сменной оптики используется автором в течение многих лет. Возможно также применение конвертера и с объективами типа «зум». Это позволяет еще более оптимизировать сменную оптику по весу, габаритам и съемочным масштабам.

К недостаткам конвертеров относятся: снижение разрешения на величину около 30%, а также двукратное уменьшение светосилы оптической системы объектив-конвертер (для конвертера с двукратным увеличением). Последнее определяет необходимость введения поправки в измеренную величину экспозиции путем ее увеличения на две ступеньки шкалы диафрагм или/и выдержек.

## 3.2.3. Фотопринадлежности

Помимо фотокамер и объективов, для полевой фотосъемки требуются еще некоторые принадлежности: экспонометр, светофильтры, бленды, наглазники, штативы, тросики, удлинительные кольца, кофры, зарядный мешок. Даже когда в качестве основной полевой фотокамеры используется полуавтомат или аппарат с системой «TTL», а дополнительные аппараты автоматические, автономный фотоэкспонометр в комплекте аппаратуры не будет лишним. Он может понадобиться при отказе встроенных экспонометрических устройств и для более точного замера экспозиции в сложных условиях освещенности. Наиболее удобны в работе и точны экспонометры на основе фоторезистора, например, «Свердловск-2» и «Свердловск-4». Они имеют уменьшенный угол поля замера (около 20°) и пригодны для измерений, например, в случаях попадания в кадр солнца, бликов на воде, для съемки через микроскоп и т.п.

Из всего арсенала съемочных светофильтров в большей мере для полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций могут быть полезны: оранжевый средней плотности «O-2,8<sup>x</sup>», ультрафиолетовый «УФ-1<sup>x</sup>» и, пожалуй, поляризационный «ПФ». Реже могут использоваться желто-зеленый «ЖЗ- $2^x$ » и голубой «Г-1,4<sup>x</sup>».

Светозащитные бленды необходимы для съемки при контровом освещении. Одни объективы комплектуются блендой, другие имеют встроенную бленду, а некоторые, например, «Индустар-61 л/з» в ней не нуждаются вовсе, поскольку их передняя линза достаточно «утоплена» в оправу. В отдельных случаях даже при контровом освещении можно обойтись без бленды, просто заслоняя объектив рукой. Особенно легко это делать с зеркальными камерами. Для съемки «Горизонтом» в таких условиях нужен навык.

Мягкие конические резиновые наглазники, закрепляемые на окуляре видоискателя, совершенно необходимы при съемке утром и вечером при низком боковом положении солнца, когда его лучи, попадая в окуляр и глаз, просто ослепляют фотографа и сильно затрудняют фокусировку и даже кадрирование, особенно с телеобъективами. Дополнительный положительный эффект от использования наглазника заключается в том, что фотокамеру с ним можно плотнее прижимать ко лбу, тогда достигаются большая стабильность камеры и, соответственно, меньшая вероятность ее вибрации и «смазки» при спуске затвора, что существенно сказывается на четкости изображения, особенно с применением телеобъективов – уже на выдержках 1/60 с и длиннее.

Фотоштативы могут применяться при полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций в случаях недостаточного уровня освещенности. Такие условия, казалось бы, не характерны для натурного фотографирования, но, тем не менее, они не исключаются вовсе. Штатив необходим, с целью повышения качества фотографий, для съемки с выдержками более 1/60, 1/30 с. При дневном освещении к таким выдержках прибегают в случаях использования: 1) сравнительно низкочувствительной, но с более высоким разрешением фотопленки (например, 32 ед.ГОСТ); 2) телеобъектива для увеличения съемочного масштаба; 3) так называемой «золотой» диафрагмы (1:6,3), при которой достигается максимальное разрешение объектива и существенно компенсируются глубиной резкости ошибки фокусирования; 4) оранжевого светофильтра кратностью 2,8, для снижения влияния воздушной дымки на уменьшение контраста удаленных объектов; и все это в сочетании с недостаточной освещенностью утром, вечером, в пасмурную погоду, осенью. При съемке с телеобъективом даже на выдержках 1/60, 1/125 с велика вероятность брака из-за «смазывания» изображения. Однако тяжелые фотоштативы слишком обременительны в трудных горных и таежных маршрутах.

Можно обходиться без них, довольствуясь легкими и компактными штативами типа струбцин, «настольными» штативами. Настольный штатив, с убирающимися в его цилиндрический корпус ножками, можно использовать как полноценный, даже при секундных выдержках, устанавливая на камне, пне, а также надев на палку (предварительно вывинтив ножки) и просто воткнув ее в грунт или привалив камнями. Чаще его удобно применять в качестве опоры для фотоаппарата, упираясь двумя из его ножек в грудь, а наглазником на окуляре – в лоб. Таким образом успешно отрабатываются выдержки длительностью 1/15, 1/8 с и даже больше. В комплекте штатива-струбцины особенно пригоден для полевой съемки винт в виде штопора, который можно ввернуть в любую подручную палку и использовать закрепляя, как почти полноценную треногу либо как опору для средних по длительности выдержек.

Спусковой тросик для съемки с замедленными выдержками применяется в полевых съемках довольно редко. При этом он занимает так мало места, что нет проблемы в том, чтобы взять его в «поле». Отсутствие тросика способен компенсировать, в некоторой мере, механизм автоспуска.

Удлинительные кольца могут понадобиться, например, для фотографирования тонких штрихов на зеркалах скольжения, указывающих направление смещения блоков по разлому. В таких случаях съемка в формате около 7×10 см, обеспечиваемом, к примеру, объективом «Индустар-61 л/з» с минимальной дистанции фокусировки (0,3 м) не гарантирует достаточный масштаб изображения. Тогда пригодятся одно – два первых кольца из полного их набора. Более широкие кольца желательно иметь на всякий случай в полевом лагере, но брать в каждый маршрут нецелесообразно. Сразу несколько удлинительных колец из набора позволяет заменить тонкое оборачивающее кольцо, предназначенное для повышения разрешения объектива при макросъемке и ввинчиваемое для этого между камерой и объективом. Причем объектив прикручивается к кольцу резьбой для крепления свето-фильтров, то есть переворачивается.

Для размещения и перевозки комплекта фотоаппаратуры необходим кофр, а лучше два. Один – побольше, в котором помещалась бы вся аппаратура, взятая в «поле», другой – поменьше и полегче – для использования в рабочих маршрутах. Маршрутный кофр можно заменить более удобным при массовой полевой фоторегистрации, специально сшитым фотожилетом, в карманах которого помещались бы несколько фотокамер, сменная оптика, мелкие фотопринадлежности, запас фотопленки.

При выполнении полевой фоторегистрации может пригодиться зарядный мешок (рукав), даже в том случае, если весь запас фотопленки будет предварительно заряжен в кассеты. Без него трудно обойтись при заклинивании и разрывах фотопленки в аппарате. Суррогатные средства (штормовка и т.п.) не гарантируют от засветки порой бесценные экспонированные фотоматериалы.

Не будут лишними в «поле» кисточки и фланель для чистки оптики. Может пригодиться и хотя бы минимальный набор инструментов для разборки и ремонта аппаратуры.

### 3.2.4. Комплектование полевой фотоаппаратуры

Из выполненного описания фотоаппаратуры (разд. 3.2.1.-3.2.3.), по-видимому, ясно, что обойтись одним простеньким или даже высококлассным аппаратом для массовой планомерной фоторегистрации палеосейсмодислокаций, с расчетом использования ее результатов для повышения эффективности исследований, невозможно. Проведение полевых работ достаточно дорого, и поэтому качественные результаты полевой фоторегистрации должны быть получены с высокой степенью гарантии. Факторов, способных свести на нет все усилия по полевой фоторегистрации, достаточно. Это могут быть конструктивные дефекты аппаратуры; механические поломки при транспортировке и небрежном использовании; попадание аппаратуры и фотопленки в воду, например, на сплаве, при переправах через реки; засорение; запыление; потери и т.п. Из этого следует вывод о необходимости дублирования, по возможности, аппараратуры и материалов съемки. То есть ответственная фоторегистрация должна выполняться параллельно на две - три фотокамеры.

Автором для массовой полевой фоторегистрации обычно применяется следующий набор аппаратуры: 2 одинаковые основные фотокамеры «Старт», комплект сменной оптики к ним из трех - четырех объективов, панорамный фотоаппарат «Горизонт», «дежурный» компактный автоматический аппарат «Ломо-Компакт», один набор светофильтров, подходящих ко всем сменным объективам. Этот набор аппаратуры скомплектован из исходно не вполне унифицированных составляющих. Сменные объективы использованы от фотоаппаратов типа «Зенит» с разной посадочной резьбой: M39×1 и M42×1. Путем замены адаптеров новые объективы приспособлены к «Стартам» и все оборудованы переходными кольцами для байонетного крепления. У всех объективов подогнана под общий стандарт посадочная резьба для светофильтров. Ко всем объективам подходят одноразмерные защитные крышки объективов. Все аппараты оснащены одинаковыми штативным гнездами. Такая максимально возможная унификация аппаратуры позволила повысить удобство смены объективов, насадок и минимизировать габариты и массу комплекта в пределах 5 кг. Из дополнительной фототехники в разные годы использовались среднеформатные камеры («Киев-6С TTL», «Спутник»), объективы («Мир-10А», f=28 мм, «МС 3М-5СА», f=500 мм).

Оптимальный комплект для фоторегистрации можно сформировать и на основе других съемочных систем. При этом надо учитывать необходимость унификации: по параметрам крепления объективов (диаметр резьбы, тип байонета, рабочий отрезок), по диаметру резьбы для светофильтров, по размеру защитных крышек объективов и бленд, по диаметру резьбы штативных гдезд. Все модели «Зенитов» «среднего поколения» имеют резьбу для объективов М42×1 и рабочий отрезок 45,5 мм, одинаковые с большинством моделей аппаратов типа «Praktica» (за исключением более поздних – с байонетом), и, таким образом, эти два семейства аппаратов взаимозаменяемы. К камерам «Зенит-14», «Зенит-автомат», «Алмаз-103» с байонетом типа «К» подходят объективы «Asahi Pentax», а также «резьбовые» объективы «Зенитов» и «Практик» с переходными кольцами [Сов.фото, 1983, №4, 1989, №11]. Эти же объективы, также с переходными кольцами [Сов.фото, 1988, №6], можно использовать с камерами «Киев-20», «Киев-19», «Киев-18», «Nikon», оснащенными байонетом типа «Н». Для них, разумеется, выпускается и много собственных объективов с байонетным креплением.

Унификация объективов по резьбе для светофильтров и по размеру защитных крышек просто производится (при не слишком большой разнице диаметров объективов) закреплением на них оправы от светофильтров нужных параметров, с помощью клея и колец, вырезанных из черных полиэтиленовых бленд и крышек. Эту операцию можно выполнять и без клея – посредством паяльника, используя термопластичность полиэтилена. При такой модернизации не следует допускать каширования углов кадра новыми элементами оправы объектива.

## 3.3. Полевая фоторегистрация

Полевая фоторегистрация палеосейсмодислокаций, являющихся частью географического ландшафта, выполняется с применением основных приемов пейзажной и ландшафтной фотографии и некоторых специальных видов съемки: панорамной и стереоскопической.

### 3.3.1. Подготовка к съемке

Отправляясь на полевые работы, следует осознавать, что аппаратура и фотоматериалы в течение всего сезона будут находиться в неблагоприятных, а часто и в просто экстремальных условиях. Надо готовиться к тому, что все способное поломаться, потеряться, намокнуть, засориться, будет само собой стремиться к этому. Гарантированность получения качественных результатов фоторегистрации можно повысить за счет предварительной подготовки.

За 20 лет полевой фотосъемки автора в горно-таежных условиях Северо-Востока России, даже несмотря на предусмотрительность и осторожность, произошла серия неприятных случаев, угрожавших срывом выполнения фоторегистрации: 1) опрокинулась на бурной реке резиновая лодка вместе со всем фотооборудованием; 2) маршрутная аппаратура, уложенная в фотожилет, упала в ручей; 3) утонул в реке на глубоком и бурном месте выпавший из руки фотоаппарат «Горизонт»; 4) потерян в густых кустах светофильтр к «Горизонту»; 5) в результате вибрации при длительных перевозках на вертолете самопроизвольно развинтился и был потерян в маршруте замок задней крышки аппарата «Старт»; 6) от тряски в вездеходе в маршруте вывинтились и потерялись ножки пристегнутого к фотожилету портативного штатива.

Из этой реальной статистики ясно, что больше всего следует оберегать фотооборудование от воды, падений и вибрации. От того что кофр с фотооборудованием был упакован в полиэтиленовый мешок, привязанный к лодке, ущерб от упомянутого опрокидывания лодки и долгого пребывания ее килем вверх не был существенным – подмокло несколько не самых важных экспонированных фотопленок, а аппаратура была спешно разобрана, продута и высушена. То же было сделано и после падения в ручей. Из чужого опыта известно, что если немедленно не высушить подмоченную фотоаппаратуру, то уже через сутки ее можно просто выбрасывать. Немалая вероятность таких случаев при полевой фотосъемке вынуждает тщательно упаковывать фотооборудование при перевозке по воде и переправах через реки.

Для предохранения аппаратуры от вибрации, ударов и случайных падений необходимо перевозить ее только держа на руках. Очень эффективно действуют в качестве предупредительных мер против самопроизвольного развинчивания фотоаппаратуры профилактическая разборка камер, объективов (насколько это возможно), затягивание натуго всех доступных винтов и гаек и подмазывание их (головок винтов, резьбы с навинченными гайками) капельками водостойкого клея или лака для ногтей, легко растворимыми спиртом или ацетоном (с целью обеспечения возможности отвинчивания крепежа при необходимости). Кстати, из подручных материалов с помощью имевшихся необходимых инструментов был изготовлен в полевых условиях новый замок крышки, работающий и поныне.

Важным представляется предварительное пристегивание, привязывание всего, что способно выскользнуть из рук в процессе фотографирования (например, над обрывистыми склонами, на каменистых россыпях, в густых зарослях, на воде) и может быть безвозвратно утрачено. Первыми кандидатами на потерю являются крышки объективов. Автором, к примеру, за многие годы не утеряно ни одной, так как крышка на каждой камере постоянно привязана коротким шнурком (в расчете на использование самого длинного телеобъектива) к карабину ремня для переноски фотоаппарата. Унификация сменных объективов по диаметру защитной крышки позволяет оставлять одну и ту же крышку привязанной к камере при смене объективов. Нелишне привязывать к кофру или к фотожилету экспонометр, что позволит быстро вытягивать его за шнурок при необходимости и выпускать из рук после очередного замера (когда освещенность быстро меняется), не ронять его в воду и не потерять вовсе. Полезно сделать один общий футляр для всего комплекта светофильтров, ввинчиваемых друг в друга, и также «держать его на привязи». Это не только сбережет светофильтры от потери, но и ускорит их замену при съемке в случае унификации сменных объективов по резьбе для насадок.

Несколько повысить оперативность и удобство манипулирования аппаратурой при съемке позволяет отказ от применения футляров фотоаппаратов, по крайней мере, основных. Габариты футляра соответствуют размеру штатного (нормального) объектива и затрудняют переноску и эксплуатацию в нем камеры с телеобъективом или крупным широкоугольником. В качестве замены футляру для защиты от влаги и пыли можно использовать обыкновенный полиэтиленовый пакет (с отрезанными уголками для продевания ремня), надеваемый на аппарат сверху. При съемке он легко приподнимается по ремню и совершенно не мешает. Обернутый вокруг камеры свободный конец пакета обеспечивает защиту от кратковременного воздействия воды, пыли и смягчает соударения с другими аппаратами в кофре. Еще большая амортизация при этом достигается комплектованием окуляров резиновыми наглазниками. При отказе от футляров также снижаются габариты и масса аппаратуры. Зашита аппаратуры от ударов при транспортировке обеспечивается общим кофром.

Зарядку фотопленки в кассеты лучше производить заранее. При большом количестве фотопленки для массовой фоторегистрации эта операция в камеральных условиях выполняется быстрее и качественнее. Для ускорения зарядки двух - трех десятков кассет целесообразно использовать простейшее намоточное приспособление, например, на основе ручной дрели или ручного наждачного точила. Кассеты перед зарядкой необходимо проверять на светонепроницаемость хотя бы элементарным способом: вынуть катушку, поставить на место ее крышку и, прикрыв пальцем отверстие в ней, посмотреть внутрь корпуса через противоположное, прижав его к глазу и повернув при этом кассету фильмовым каналом к яркому источнику света. Обычно частичная засветка первых кадров фотопленки происходит через неплотности на стыке фильмового канала и крышки кассеты. Снизить вероятность брака по этой причине можно, предварительно (до зарядки) заклеивая место стыка кусочком лейкопластыря, зачерненного фломастером. Такая операция дополнительно позволит исключить и более серьезные засветки фотопленки при случайных самопроизвольных открываниях крышки, обусловленных вибрацией и невысоким качеством кассет.

Защитить пленку от пыли и песка и связанных с ними дефектов пятен и царапин на негативах – помогает продувка и чистка кассет с помощью щеточки типа зубной. Особое внимание при этом надо уделять бархоткам фильмового канала. Упаковывать заряженные кассеты лучше не в «родные» коробочки от фотопленки с фольгой и черной бумагой, а без них – только в капсулы, например, такие, которые использовались с пленкой типа «ORWO». Для того, чтобы кассета не болталась в капсуле, не надо применять какие-либо дополнительные материалы (бумагу, фольгу). Это не повысит водонепроницаемость, но увеличит вероятность попадания пылинок на пленку с бумаги. Достаточно вынуть из кассеты весь заправочный конец фотопленки и обернуть вокруг нее. Рациональнее обеспечивать водонепроницаемость всего запаса фотопленки и расходной ее части. При отсутствии на заправочном конце маркировки фотопленки это надо обязательно сделать самостоятельно сразу после зарядки. Достаточно на эмульсионной стороне, даже шариковой ручкой, указать три важнейшие характеристики: светочувствительность, длительность проявления и срок годности до проявки. Для отличия экспонированной и «чистой» пленки можно обходиться простейшим способом, не требующим никаких дополнительных средств: при изъятии отснятой кассеты из камеры надрывать заправочный конец пленки вдоль ее длинной оси приблизительно на 1 см. Случайно такие продольные разрывы не возникают, но надежно предотвращают повторное экспонирование и проявку неотснятых фотопленок. Это особенно важно при больших объемах фоторегистрации.

## 3.3.2. Планирование фоторегистрации

По сути планирование полевой фоторегистрации аналогично написанию сценария перед съемкой фильма. При этом необходим учет морфологических особенностей объектов, проходимости местности, условий освещенности, технических данных аппаратуры, в зависимости от сочетания которых выбираются точки съемки и планируется график движения по маршруту. Нужную информацию о параметрах объектов, о проходимости местности можно получать с использованием топографических и геологических карт и, особенно, аэроснимков. Возможности аппаратуры для фоторегистрации охарактеризованы в разделе 3.2. Выбор необходимой в данном маршруте основной и дополнительной аппаратуры производится после анализа размеров палеосейсмодислокаций; их геоморфологического положения (в долинах, на склонах, на водоразделах); наличия возможности съемки в наиболее информативных ракурсах, определяемого существованием удобных точек съемки (обусловленных, в свою очередь, рельефом, залесенностью или обнаженностью территории) и их транспортной доступностью.

При фоторегистрации палеосейсмодислокаций наиболее информативными являются фотоснимки общего вида сейсмогенных структур, включающих, например:

- крупный сейсмообвал (или серию более мелких), изображенный в ракурсе, дающем за счет светотеневого рисунка представление о его трехмерной геометрической форме, о гранулометрии и петрографии отложений;

- стенку срыва обвала с возможностью визуальной оценки по снимку ее высоты и крутизны; сопряженные с гравитационными тектонические дислокации, заметные в масштабе снимка, благодаря или крупным натурным размерам или удачному ракурсу с использованием линейной фотографической перспективы и подходящей освещенности, повышающей их контраст с фоном;

- фон, лишенный сейсмодислокаций.

Один такой снимок может служить хорошей иллюстрацией строения сейсмоструктуры и аргументом при генетической интерпретации, а снабженный стереопарой, пригоден для высокоэффективного стереоскопического дешифрирования и картирования в масштабах, недоступных серийным аэрофотоснимкам.

Получение подобных снимков для малых сейсмоструктур существенно проще, чем для крупных и крупнейших. Часто фоторегистрация общего вида сейсмоструктур выполняется с возвышенных точек, порой труднодоступных горных вершин и склонов, так как долины нередко бывают заняты густым лесом, а низкие точки съемки, вдобавок, не обеспечивают необходимой выразительности изображения. Случается так, что для съемки нужной палеосейсмодислокации приходится отправляться в маршрут на несколько километров в противоположную от направления на нее сторону, например, на другой склон широкой долины или малой межгорной впадины. Крупнейшие сейсмоструктуры, такие как Улахан-Чистай-300, Чул-300, наиболее трудны для фоторегистрации. Они имеют размеры в первые километры при меньшей ширине долин и водоразделов, в пределах которых располагаются. Для подобных структур затруднительно подобрать один максимально информативный ракурс и кадр. В этих случаях наземная фотосъемка не может конкурировать с воздушной и космической.

Иллюстрация строения крупнейших структур требует обычно серии снимков с изображением их важнейших фрагментов, снятых в ракурсах, обусловленных ландшафтом и морфологией дислокаций. А для их крупномасштабного стереоскопического изучения и детального картографирования нужны десятки стереоскопических, панорамных, а также разноракурсных и разномасштабных снимков. Кроме того, потребность гарантированного получения качественных результатов фоторегистрации вызывает необходимость неоднократного дублирования съемочной аппаратуры и материалов съемки, конечно, в разумных пределах, определяемых временем, физическими и экономическими факторами. При полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций в какой-то мере справедлив принцип – «пленки не жалеть». Так, автором за полевой сезон расходовалось не менее двух - трех десятков катушек черно-белой и около десятка цветной фотопленки. Имеет смысл даже съемка впрок каких-либо, порой не вполне понятных, но кажущихся интересными, объектов и ландшафтов. В период послеполевого комплексного дешифрирования аэрокосмических и наземных снимков возникает много новых вопросов, ответы на которые можно получить, используя принцип фоторегистрации с большим запасом. Так, например, автору еще до начала палеосейсмогеологических работ неоднократно доводилось «натыкаться» в «поле» на объекты, похожие на палеосейсмодислокации. Выполненная при этом фотосъемка «с запасом» теперь как бы играет роль заверочной фоторегистрации, опередившей дистанционное обнаружение некоторых роев.

К числу важных фрагментов сейсмоструктур и отдельных палеосейсмодислокаций, требующих фоторегистрации, относятся:

- фронтальные, тыльные и фланговые части сейсмообвалов и других гравитационных сейсмодислокаций;

- места контактирования с другими генетическими типами отложений;

- обнаженные участки обвалов, на которых виден гранулометрический и петрографический состав отложений;

- повторно деформированные части гравитационных дислокаций;

молодые постсейсмогенные, субсейсмогенные обвально-осыпные конусы выноса и шлейфы;

- суффозионно-эрозионные каньоны и суффозионные ложбины;

- стенки срыва и ниши отрыва обвалов;

- тектонические дислокации на них и вне;

- их фрагменты с масштабом для оценки амплитуды смещения;

- зеркала скольжения на поверхностях сместителей;

- участки, характеризующие развитость накипных лишайников на сейсмотектонических уступах и глыбах обвалов;

- гравитационно-тектонические дислокации, их сбросовые сместители и ограничивающие расщелины;

- подпрудные бассейны седиментации и их фрагменты с характеристикой гранулометрии отложений;

- места «провала» водотоков под завальные плотины и места выхода из под них;

- аккумулятивные шлейфы, формирующиеся при размыве сейсмогенных тромбов и их фрагменты;

- наледи и наледные поляны, генетически связанные с размывом тромбов;

- пролювиально-селевые конусы выноса и их контакты с сейсмодислокациями;

- фоновые склоны, водоразделы и долины, не деформированные сейсмодислокациями;

- места пробоотбора на радиоуглеродный, дендрохронологический, лихенометрический и спорово-пыльцевой анализы и др.

Этот, пожалуй, еще неполный перечень объектов полевой палеосейсмогеологической фоторегистрации иллюстрирует необходимость использования многоракурсной и разномасштабной фотосъемки. Она обеспечивается применением фотоаппаратов и объективов с разными углами поля зрения в сочетании с детальным планированием каждого полевого рабочего маршрута и выбором точек съемки. Информативность точек фотосъемки просто оценивается заранее по топокартам и стереоизображениям на космо- и аэроснимках. Знание угла зрения, например, 37-миллиметрового широкоугольного объектива (50° по горизонтали, что равно 83% угла зрения по диагонали кадра, указываемого в паспортных данных фотообъективов) позволяет судить о возможности его применения для полного размещения в одном кадре, например, крупного сейсмообвала, контуры, размеры и положение которого известны по изображению на аэроснимках, а вычерчивание этого угла на карте (даже мысленное) с вершиной в предполагаемой точке съемки дает возможность оценить пригодность ее для указанной цели с данным объективом. Невыполнимость поставленной задачи при отмеченных условиях вызывает необходимость использования либо более широкоугольной аппаратуры, либо иной точки съемки, либо, при невозможности этого, выполнения панорамирования на несколько взаимно перекрывающихся кадров.

В горах необходима также оценка способности объектива (с определенной величиной угла зрения по короткой стороне кадра) разместить целиком на одном снимке, например, высокий противоположный склон узкой горной долины, что определяет необходимость знания и этой величины. Для формата 24×36 мм угол зрения по короткой стороне кадра составляет около 55% от угла поля зрения по диагонали. У 37-миллиметрового объектива он равен приблизительно 33°. Высота склона определяется по карте, а оценка пригодности для его фоторегистрации объектива с данным углом зрения и с данного расстояния выполняется также построением на карте треугольника или посредством простейшмх тригонометрических расчетов. Правда, в последнем случае потребуется калькулятор для вычисления тригонометрических функций. При этом не будут лишними данные об углах зрения наиболее употребительных объективов (табл. 4).

Таблица 4

Фокусное рас-	Угол поля зрения				
стояние, мм	по диагонали, град.	по горизонтали, град.	по вертикали, град.		
20	96	80	53		
28	75	62	42		
35	62	52	34		
37	60	50	33		
50	46	38	26		
85	28	23	16		
135	18	15	10		
200	12	10	7		
500	5	4	2,8		

## Углы поля зрения объективов для малоформатных фотоаппаратов с наиболее употребительными фокусными расстояниями

Подобные предварительные расчеты помогут точнее определять пригодность возможных точек съемки и, зачастую, исключать из их числа малоинформативные. При обычной труднодоступности некоторых из них, особенно в горах, это способствует существенной экономии времени и сил. Допустимы также и приблизительные оценки информативности точек съемки «на глазок», но качество их, разумеется, будет ниже.

Кроме топографических, ландшафтных и аппаратурных факторов при планировании рабочих маршрутов необходим учет освещенности объектов и ее изменения в течение дня. Это особенно важно в горах, где высокие и крутые склоны, с объектами на них и под ними, могут оказаться к моменту плохо спланированной съемки в глубокой тени или будут освещены недостаточно выразительно для обеспечения качественного отображения важных деталей. Лимит полевого времени, труднодоступность объекта, ухудшение погоды способны исключить возможность повторной фоторегистрации. Планирование рабочих маршрутов с учетом указанных факторов позволяет рационально использовать дорогое полевое время и получать максимум информации при фоторегистрации палеосейсмодислокаций.

## 3.3.3. Особенности полевой фоторегистрации

Полевая маршрутная фоторегистрация палеосейсмодислокаций выполняется большей частью с помощью стандартных приемов, описываемых в многочисленных руководствах по фотографии общего характера [Дыко, Иофис, 1960; Бунимович, 1969; Тамицкий, Горбатов, 1976; Дыко, 1977; Симонов, 1977] и в более специализированных [Михайлов, 1952; Вендровский, Жутовский, 1961; Красильщиков, 1979; Геологическая документация..., 1984; Хеймен, 1988; и др.]. В них, однако, большей частью приводятся способы получения художественных пейзажных ландшафтных фотографий.
При фоторегистрации палеосейсмодислокаций важнее высокое техническое качество: максимальная четкость, резкость, разрешение, оптимальный контраст. Художественные достоинства снимков при этом тоже не будут лишними. Отмеченное не только дает возможность исключить в данной работе изложение стандартных приемов пейзажной (натурной) фотосъемки, но и обусловливает необходимость сделать акценты на отдельных элементах фотографической технологии, обеспечивающих высокое техническое качество результатов. Описание еще более специфических разновидностей полевой фоторегистрации с применением светофильтров, панорамной и стереоскопической съемок представлено в самостоятельных разделах 3.3.4., 3.3.5. и 3.3.6.

Требование к высокой четкости снимков при полевой фоторегистрации определяет использование фотопленок с мелкозернистой эмульсией, обеспечивающей повышенную разрешающую способность (не менее 90-100 л/мм), но все же с достаточной светочувствительностью. Больше всего этому соответствуют панхроматические фотопленки чувствительностью 32 ед. ГОСТ, в несколько меньшей степени – 64 ед. ГОСТ. Разрешающая способность мелкозернистых фотопленок гарантирует возможность 10- и даже 20-кратных увеличений при фотопечати. Светочувствительность 32 ед. ГОСТ достаточна для подавляющего большинства случаев фоторегистрации статичных объектов в условиях натурного освещения летом. На пределе возможностей она пригодна при съемках утром, вечером, в пасмурную погоду, на сильном ветру, а также при дрожжании рук из-за сильного физического напряжения в сочетании с необходимостью значительного диафрагмирования объектива. Это вынуждает использовать для фиксирования камеры штатив, штатив-опору при выдержках 1/30 сек. и более, а с телеобъективами и короче – 1/60-1/125 сек. Для таких ситуаций можно предусмотреть небольшой запас фотопленки светочувствительностью 64 ед. ГОСТ.

Максимальной разрешающей спосособности объективы достигают при значении относительного отверстия 1:6,3 (так называемая «золотая диафрагма»). Кроме того, при диафрагмировании возрастает глубина резко изображаемого пространства, что также важно для достижения максимального технического качества съемки. Эти факторы обусловливают предпочтительность использования при фоторегистрации стандартных величин диафрагмы 1:5,6 и 1:8. Отклонения в сторону увеличения относительного отверстия до 1:4-1:2,8 допускаются только вынужденно – при недостаточной освещенности и невозможности применения штатива. Уменьшение диафрагмы до 1:11 и даже до 1:16, с целью компенсации ошибок фокусировки, необходимо при съемке с мощными телеобъективами, отличающимися малой глубиной резкости.

Большую часть полевой фотосъемки палеосейсмодислокаций (их общего вида, крупных фрагментов) с использованием нормальных и короткофокусных объективов можно и нужно производить без их фокусировки на каждом кадре. Индекс шкалы резкости должен указывать на предельное ее положение – бесконечность. При этом, например, с диафрагмой 1:8 для 50-миллиметрового объектива обеспечивается глубина резко изображаемого пространства от бесконечности до 7 м, а крупные фотографируемые объекты располагаются обычно на расстояниях, близких к бесконечности для таких объективов. Кроме того, механический упор резьбы объектива в положении «бесконечность» позволяет автоматически (рукой – без визуального контроля) фиксировать его на этой нужной отметке и избегать самопроизвольной случайной расфокусировки. Такой способ фокусировки в большинстве случаев технической фоторегистрации палеосейсмодислокаций точнее, надежнее, удобнее и оперативнее известного в фотографии приема с так называемым «гиперфокальным расстоянием» [Бунимович, 1969]. Съемка с телеобъективами, особенно мелких и близких фрагментов, требует точной наводки на резкость и, как уже было отмечено, компенсации ошибок фокусировки диафрагмированием. То же необходимо и при фотографировании нормальными и широкоугольными объективами мелких деталей с малых расстояний (метры-сантиметры).

В пейзажной фотографии известно такое понятие, как эффектное освещение. Оно обеспечивается при низком положении солнца утром и вечером. Его можно использовать и в технической фоторегистрации, например, для повышения дешифрируемости мелких деталей плоских субгоризонтальных слабо деформированных поверхностей с малоконтрастным микрорельефом. Но больше и чаще при фоторегистрации палеосейсмодислокаций пригодно освещение с высоким положением солнца. Обычное расположение их в горах обусловливает освещенность крутых склонов (до 40° и более) косыми лучами, подчеркивающими контраст мелких деталей, важных для крупномасштабного дешифрирования и картирования, и количественно уменьшает площади склонов, находящихся в глубокой тени. Только при высоком положении солнца (в том числе и зенитном, так не любимом в художественной фотографии) гарантируется высокое техническое качество съемки панорам, особенно круговых, когда солнце при малом возвышении над горизонтом просто попадает в кадр, а то и в два (на стыке), что вызывает технический брак.

Заметно ограничивает возможности качественной съемки весьма удаленных труднодоступных дислокаций посредством даже мощных телеобъективов с расстояний приблизительно в десять километров и более существование такого явления, как марево подъем от нагретой поверхности земли теплого струящегося воздуха. Меньше сказывается его действие в прохладные утренние и вечерние часы и при слоистой облачности.

# 3.3.4. Применение светофильтров

Использование съемочных светофильтров (спектральных и поляризационных) позволяет управлять контрастом, а через его оптимизацию и, в некоторой мере, информативностью результатов съемки. В художественной фотографии светофильтры рекомендуются главным образом для подчеркивания каких-либо эффектов, повышающих выразительность снимков [Дыко, Иофис, 1960; Вендровский, Жутовский, 1961; Бунимович, 1969; Хеймен, 1988]. Например, посредством голубого фильтра делают более заметной дымку, усиливающую эффект воздушной перспективы, но вуалирующую детали дальнего плана (важные в технической фоторегистрации) или снижают чрезмерный контраст «светов» (освещенных прямым, существенно желтым солнечным светом) и «теней» (подсвеченных голубым и менее интенсивным рассеянным светом неба) для лучшего отображения пластики снежной поверхности. Желтые и желто-зеленые светофильтры малой и средней плотности (1,4<sup>x</sup> - 2<sup>x</sup>) используются в пейзажной фотографии для некоторого увеличения контраста, например, с целью более выразительной передачи объема белых облаков на фоне бледно-голубого неба.

При полевой фоторегистрации палеосейсмодислокации потребность в спектральной коррекции контраста возникает преимущественно при съемке общих планов дислокаций и их крупных фрагментов. Такая съемка ведется с расстояний в сотни и тысячи метров. На подобных дистанциях становится заметным, а порой и чрезмерным снижение контрастов мелких деталей, важных для крупномасштабного дешифрирования. Это обусловливает почти постоянное применение при фоторегистрации удаленных объектов и их фрагментов (как широкоугольными, так и телескопическими объективами) оранжевого светофильтра средней плотности (2,8<sup>x</sup>). Этот светофильтр не рекомендуют применять в художественной фотографии из-за резкого снижения им эффекта воздушной перспективы, но именно он постоянно используется при черно-белой аэрофотосъемке для повышения контраста до уровня, обеспечивающего максимальную дешифрируемость мелких деталей изображения.

При съемке с близкого расстояния (без информационно важного дальнего плана в кадре) потребность в повышении контраста обычно не возникает. Бывают случаи, когда его надо даже снизить, например, при фоторегистрации фрагмента сбросового уступа, находящегося в глубокой тени (с необходимостью отображения его микрорельефа) и чрезмерно контрастирующего с интенсивно освещенным светлым фоном (к примеру, обнаженными известняками или окатанными гранитными валунами). Удовлетворительное снижение контраста в такой ситуации можно получить с применением одного или даже двух свинченных вместе голубых светофильтров. Если же эта мера оказалась недостаточной или не использовалась вовсе и негатив получился слишком разноплотностным, то необходимо печатать с него посредством различной в несколько раз выдержки для его частей с разной оптической плотностью – так называемым методом маскирования. Роль маски при фотопечати могут играть не только специальные фигурные экраны, но и, даже чаще, просто рука фотографа [Дыко, Иофис, 1960; Бунимович, 1969].

Максимальные интервалы яркостей, попадающих в кадр объектов, обусловливающие чрезмерное повышение контраста фотоизображения, фиксируются при съемке широкоугольными объективами. При этом фотографической широты фотоматериалов для равной передачи деталей в «светах» и в «тенях» обычно бывает недостаточно. В таких случаях необходимо жертвовать либо чересчур светлым дальним планом, либо слишком темным передним. В фоторегистрации палеосейсмодислокаций приоритет гораздо чаще отдается информативно важному дальнему плану. В соответствии с этим замер экспозиции выполняется именно по нему экспонометром с малым углом замера (например, типа «Свердловск-4» – около 20°) и применяется оранжевый светофильтр для повышения дешифрируемости удаленных деталей. Попадающие на передний план, часто случайные кусты, деревья, камни изображаются с подобными параметрами съемки в виде темных контуров. При наличии на переднем плане информационно важных дислокаций и их фрагментов съемку таких кадров можно продублировать с условием приоритета переднего плана или со снижением контраста указанным способом применения голубых фильтров.

Цветную фотосъемку в горах и на морских побережьях рекомендуется производить только с бесцветным светофильтром (УФ-1<sup>x</sup>), задерживающим ультрафиолетовые лучи, снижающие контраст изображения. Эту же роль может выполнять поляризационный светофильтр (ПФ). Плотность его с солнечным светом около 3<sup>x</sup>. Кроме того, он отфильтровывает поляризованный свет, отраженный от бликующих неметаллических поверхностей, например, воды, а также рассеянный атмосферой свет голубого неба. Поляризационный фильтр применяется как для цветной, так и для черно-белой съем-ки. Незаменим он при фотографировании с летательных аппаратов и высоких горных вершин при контровом освещении поверхностей с большим количеством водоемов и неустранимыми другими способами бликами на них. Поляризационный фильтр может быть полезен при фоторегистрации фрагментов дислокаций, залегающих на небольшой глубине в водоемах, особенно с текущей и охваченной волнением водой. Он может приглушать яркость некоторых бликующих или излишне светлых горных пород – известняков, глинистых сланцев, гнейсов, – а также притемнять бледно-голубое небо.

При полевой фоторегистрации встречаются и другие случаи применения светофильтров. Возникает, например, необходимость различной фототоновой передачи (или ее усиления) на чернобелой фотопленке контактирующих разноцветных, но имеющих равную яркость горных пород. Грамотное применение светофильтров в этой и во многих других ситуациях возможно с использованием анализа цвета объекта и графиков спектрального поглощения (пропускания) съемочных (спектральных) светофильтров [Хеймен, 1988; Шахрова, 1988]. Тот же эффект гарантируется применением представления о цветовом треугольнике [Горбатов, Тамицкий, 1972; Шахрова, 1988].

Цветовой треугольник является простейшей цветовой диаграммой, базирующейся на теории трехкомпонентности цвета, в соответствии с которой все цветовые оттенки можно получить смешением в определенных пропорциях трех основных цветов. Если принять за основные цвета, например, красный, зеленый и синий, любой из которых невозможно синтезировать смешиванием двух других, то дополнительными к каждому из них будут, соответственно, голубой, пурпурный и желтый. Пометив индексами «К», «З», «С», обозначающими основные цвета, вершины равностороннего треугольника (не меняя их указанную последовательность), получим положение дополнительных им цветов в средних частях, противолежащих сторон.

Основным свойством светофильтра является пропускание лучей «своего» цвета и максимальное поглощение дополнительного к нему. Так, красный фильтр максимально ослабляет голубой свет и в меньшей степени зеленый и синий (по отдельности). Таким образом, проводя, даже мысленно, прямую линию от указанного на треугольнике индекса цвета, который надо ослабить, через центр треугольника, определяем на противоположном конце дополнительный к нему цвет необходимого светофильтра. Остается только нанести на цветовой треугольник индексы цвета фильтров из стандартного набора. Оранжевый размещаем между желтым и красным, положение желто-зеленого понятно и без пояснений. В сложных случаях возможно суммирование некоторых фильтров – одно- и разноцветных, а также какого-либо из спектральных с поляризационным.

## 3.3.5. Панорамная съемка

Панорамная фотосъемка наряду со стереоскопической является одним из основных видов разноракурсной и разномасштабной полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций. Панорамной называют съемку, при которой размер изображаемого объекта по горизонтали в два-три и более раз превосходит вертикальный и обычно для его отображения в одном кадре недостаточно угла зрения даже широкоугольного (не слишком короткофокусного) объектива. Расплывчатость этой формулировки объясняется техническим прогрессом в фотографии, позволяющим ныне делать то, что не было возможно ранее, а именно – производить съемку таких протяженных объектов и на один кадр, например, посредством специального аппарата «Горизонт» с углом зрения по горизонтали 120°, а по вертикали 45° (соотношение сторон кадра около 2,5) или сверхширокоугольными объективами типа «рыбий глаз» с углом зрения 180°. Последние, кстати, как уже отмечалось, мало пригодны для технического панорамирования из-за значительного снижения масштаба съемки – более чем трехкратного по отношению к нормальному объективу и соответствующего снижения информативности.

Меньшее снижение масштаба (около 1,8 раз) при панорамировании обеспечивается фотоаппаратом «Горизонт» в сочетании с вполне приемлемой для технической съемки передачей геометрической перспективы обычно достаточно удаленных крупных палеосейсмогеологических объектов. Некоторые важные технические характеристики и возможности полевого применения этого аппарата отмечены в разделе 3.2.1. Другие технические характеристики: наличие встроенного в видоискатель уровня для предотвращения перекосов камеры при съемке; достаточный с дневным освещением диапазон выдержек (1/30-1/250 с) также позволяют использовать «Горизонт» в качестве основного средства серийного панорамирования при фоторегистрации палеосейсмодислокаций. Получаемые им однокадровые панорамы наиболее удобны для иллюстрации крупных объектов при публикации, а также в рабочем дешифрировании и картировании. Двух - четырехкадровые пригодны преимущественно для рабочего использования, в качестве демонстрационных стендовых иллюстраций и для размещения в отчетах.

Наряду с бесспорными достоинствами «Горизонт» обладает и весьма существенным недостатком – неудовлетворительно работает лентопротяжный механизм. Оттого, что кадровое окно и фильмовый канал имеют цилиндрическую форму, сопротивление при движении фотопленки по нему существенно больше, чем у других фотокамер. Вдобавок еще и на приемный барабан пленка наматывается эмульсией наружу, что дополнительно увеличивает сопротивление. В «Горизонте» начинает рваться перфорация фотопленки и заклинивается фильмовый канал при охлаждении и некотором затвердении пленки даже при плюсовой температуре на холодном ветру и тем более на морозе, а также в случаях использования толстослойной и старой, потерявшей эластичность пленки. Во избежание этого при таких условиях необходимо постоянно держать камеру под верхней одеждой (за пазухой, хорошо в фотожилете) и вынимать ее только в момент съемки. А перемотку пленки производить осторожно, плавно, без рывков, помогая разматыванием ее из кассеты посредством синхронного подкручивания головки обратной перемотки против часовой стрелки и, к тому же, после отогревания под одеждой, а не сразу после съемки очередного кадра. Для перезарядки камеры при разрыве перфорации (диагностируемого по отсутствию вращения головки обратной перемотки при взводе затвора) и заклинивания лентопротяжки требуется постоянное ношение с «Горизонтом» зарядного рукава.

Имеет также смысл панорамирование не только широкоугольными объективами с меньшим углом зрения, чем у «Горизонта», но и нормальными и даже телеобъективами. Такое, более крупномасштабное, панорамирование целесообразно в случаях необходимости дешифрирования мелких деталей весьма крупных объектов. Кроме того, панорамы, выполняемые широкоугольными и нормальными объективами, могут играть роль дублирующих по отношению к «горизонтовским» для повышения гарантии получения результатов фоторегистрации важных объектов.

Панорамирование – последовательная съемка стыкующихся кадров выполняется обычно с одной точки и называется секторным или круговым. Линейное панорамирование – с последовательной (от кадра к кадру) сменой точек съемки – реализуется реже, например, при необходимости фотодокументации протяженного обнажения в борту узкой долины и невозможности увеличения дистанции съемки, а также для достижения максимального масштаба фоторегистрации. Линейное панорамирование целесообразно производить по возможности максимально длиннофокусными объективами и с максимально удаленных от объекта точек. Иначе стыковка соседних кадров сильно затруднится из-за чрезмерно различных направлений визирования на одноименные точки объекта на стыках соседних кадров. Это особенно заметно при неровной (рельефной) или наклонной поверхности обнажения. Пространственно стесненные условия съемки и необходимость достижения максимального масштаба обусловливают, порой, двух- и более ярусное панорамирование, которое как бы перерождается в монтирование фотоплана. Оно может выполняться как с одной точки, так и с перемещением.

Производя стандартное серийное панорамирование, следует соблюдать несколько основных условий: 1) выдерживать горизонтальность плоскости поворота камеры (при съемке с одной точки) или параллельность камеры прямой линии, соединяющей точки съемки (при линейном панорамировании); 2) обеспечивать достаточную и постоянную величину взаимного перекрытия соседних кадров (около 30%); 3) выполнять съемку с постоянными в пределах одной панорамы фотографическими параметрами (масштабом, фокусировкой, экспозицией, освещением).

Необходимо соблюдать еще одно важное условие, редко упоминаемое в фотографических руководствах. Это – неукоснительное выдерживание последовательности съемки панорам или серии любых других кадров слева направо. Только при такой последовательности стыки соседних кадров панорамы будут занимать естественное положение (один возле другого) на негативах и контрольных отпечатках (о которых будет сказано в разд. 4.4.1.). Такой прием значительно облегчает оценку качества панорам, необходимость и технологию их фотопечати, кадрирования и монтирования, а также ориентирование в многочисленных результатах полевой фоторегистрации. Он чрезвычайно важен и при выполнении стереосъемки.

В необходимых случаях не возбраняется и отклонение луча визирования объектива от горизонтали. При наклоне вниз линия горизонта на одном достаточно широкоугольном кадре и на всей панораме изогнется выпуклостью вверх, при обратном – вниз. Целесообразнее применять такой прием при съемке на одиночный кадр. Искривленная многокадровая панорама воспринимается как брак. Попытки выпрямления ее при лабораторном монтировании вызывают или разрывы сплошности изображения на переднем плане, или вырезание секторов дальнего. Возможно дополнение строго горизонтальной панорамы одним - двумя добавочными кадрами, например, когда не помещаются отдельные самые высокие вершины гор или подножья склонов с важной информацией. Для рабочего применения, если этого требуют условия, не исключена даже съемка с перекосом камеры по горизонтали.

Выдерживание горизонтальности плоскости поворота камеры и постоянной величины перекрытия соседних кадров при панорамировании проще всего обеспечивается применением штатива, оснащенного штативной головкой с лимбом, позволяющим точно отмерять углы поворота. Штатив дополнительно к этому гарантирует наивысшую четкость изображения, исключая дрожание аппарата, вызываемое срабатыванием затвора и физическим напряжением фотографа. В большинстве случаев полевой фоторегистрации приходится обходиться без штатива. Это вынуждает использовать при панорамировании выдержки не длиннее 1/125, а при невозможности этого – применение упора в виде компактного (настольного) штатива, палки, геологического молотка. Непосредственно перед съемкой многокадровой панорамы полезно выполнить через видоискатель пробную визуальную «разметку» фотографируемого объекта на кадры, что позволит повысить кондиционность фоторегистрации. Не помешает также взглянуть на счетчик кадров, чтобы панорама целиком вошла на одну фотопленку. Планирование панорамной съемки перед маршрутами и ее выполнение облегчается знанием углов зрения объективов по горизонтали и вертикали (табл. 4, разд. 3.2.2.). Производя панорамирование с движущихся транспортных средств, желательно при возможности располагаться с фотоаппаратом на левом борту для обеспечения естественной последовательности кадров на негативе слева направо.

При съемке круговой панорамы «Горизонтом» для обеспечения достаточного и постоянного взаимного перекрытия соседних кадров удобно поворачиваться вместе с камерой на угол 90°, подобно солдату по команде: «Напра-во!» – не особенно заботясь о визуальном контроле за величиной угла поворота через видоискатель. Соблюдение горизонтальности плоскости поворота осуществляется при этом по размещенному в поле зрения видоискателя пузырьковому уровню. В процессе лабораторного монтирования такой (круговой) панорамы положение разомкнутого стыка можно выбирать из нескольких вариантов, что гарантируется равным перекрытием всех без исключения стыков. Достаточное – 30-процентное – перекрытие соседних кадров панорамы определяет высокое качество совпадения изображения на стыках при лабораторном монтировании, а кроме того и достаточную свободу выбора положения стыков между кадрами. Это обеспечивает исключение излишних стыков и разрезов смонтированной панорамы при изготовлении ее в складном варианте, например, для размещения в отчете стандартного формата, меньшего ее длины. Разметку панорамы, включая локализацию мест стыков-сгибов, удобнее производить после совмещения изображения на стыках (например, способом «мигания» снимков, известного из курса аэрометодов) и соединения каждого стыка двумя парами скрепок. При этом вычерчивается общая внешняя рамка всей панорамы и отмечаются места разрезов, которые после склеивания их, например, лейкопластырем, станут местами сгибов. Причем, предусматривая сворачивание панорамы по типу «гармошки» или «рулета», требуется учитывать толщину фотобумаги и картона (если он использовался для наклеивания снимков), а также необходимость обеспечения разной длины отрезков панорамы при складывании «рулетом». После обрезания рамки «полуфабриката» панорамы вдоль ее длинной стороны расчленение на размеченные куски можно выполнять наиболее качественно и быстро с помощью гильотинного фоторезака.

## 3.3.6. Стереоскопическая съемка

Стереоскопический способ фоторегистрации позволяет многократно повысить дешифрируемость снимков и информативность ее результатов. Достижение максимального уровня дешифрируемости и информативности полевой фотосъемки реализуется не так просто, как может показаться на первый взгляд. Это объясняется многофакторностью и многовариантностью формирования фототонового отображения элементов фотоландшафта. То есть одна и та же величина оптической плотности элемента фотографического изображения может быть обусловлена: либо вариацией светотеневого рисунка разноориентированных склонов различной крутизны и освещенности; либо изменением спектральных отражательных характеристик различных горных пород, разных почвеннорастительных ассоциаций; либо множеством вариантов их сочетания во всевозможных пропорциях. Неопределенность генетической интерпретации фототоновых различий фотоландшафта возрастает с уменьшением масштаба фотосъемки, то есть по мере удаления характера фотоизображения от привычного, визуально воспринимаемого. Стереоскопический анализ фототоновых различий элементов фотоландшафта позволяет исключить один из факторов их формирования – вариацию светотеневого рисунка, обусловленную рельефом, благодаря физиологическому (более простому и оперативному), а не аналитическому восприятию рельефа в стереомодели – то есть упростить задачу дешифрирования и повысить информативность и качество его результатов. Кроме того, для палеосейсмодислокаций, особенно гравитационных, с точки зрения генетической интерпретации, весьма информативна их геометрическая форма в трех измерениях и в такой же степени положение в трехмерном рельефе.

Высшее качество стереоскопического отображения объектов ландшафта достигается при выполнении стандартной фототеодолитной или наземной стереофотограмметрической съемки [Бруевич и др., 1979; Наземная..., 1979; Лобанов, 1983]. Результаты ее позволяют выполнять по снимкам высокоточные измерения и составлять крупномасштабные топографические планы. Эти возможности могли бы пригодиться и в палеосейсмогеологических исследованиях. Однако большие габариты и масса полевой съемочной фотограмметрической аппаратуры, связанные с этим значительная трудоемкость, недостаточно высокая производительность, ограниченная транспортабельность, а также необходимость в специалисте для обслуживания существенно снижают возможности ее массового применения в палеосейсмогеологии. Но не исключают вовсе. Полевая стереоскопическая фоторегистрация, базирующаяся на малоформатной фотоаппаратуре, использует основные принципы фотограмметрии, конкурирует с ней по качеству результатов (на уровне точности, достаточном для палеосейсмогеологического дешифрирования) благодаря многократно большей мобильности, оперативности, производительности, но только при условии обеспечения оптимальных фотографических параметров съемки.

При натурном визуальном восприятии большую роль играет бинокулярность зрения, позволяющая оценивать размеры и положение исследуемых объектов в трехмерном пространстве. С удалением наблюдаемых объектов на сотни и тысячи метров бинокулярное зрение «как физиологический инструмент ближнего действия» исключается из работы. В анализе изображения плоских фотоснимков он не используется вовсе. О удаленности и трехмерной форме объектов, отображаемых на плоскости, судят с привлечением косвенных геометрических и фототоновых признаков: по заслонению одних контуров другими, по наличию геометрической и воздушной перспективы, по светотеневой пластике рисовки объемов.

Ограниченность действия бинокулярного зрения в пределах небольших дистанций объясняется фиксированной и сравнительно небольшой величиной глазного базиса человека – около 6,5 см. Бинокулярное зрение оптимально действует (с наибольшим разрешением в глубину пространства) на дистанции наилучшего зрения (в максимальном масштабе) – 25-30 см. Определяемый из этих условий угловой параллакс (несовпадение лучей визирования – в данном случае левого и правого глаз) оптимального бинокулярного зрения составляет около 12-15° ( $\alpha_{оптим} = 2 \text{ arc tg } 0,5 \times 6,5/30$ ), а соотношение базиса и отстояния (расстояния до объекта) приблизительно равно 1/3,8-1/4,6. Предельное отстояние, на котором еще как-то действует бинокулярное восприятие, достигает 1,5-2 км [Чибисов, 1984]. При этом угловой параллакс не превышает  $8 \times 10^{-7\circ}$ , а соотношение базиса и отстояния – 1/23 000. Следовательно, при попадании базиса стереосъемки в диапазон соотношений его с отстоянием от 1/3,8 до 1/23 000 обеспечивается бинокулярное восприятие стереомодели.

В фотографических руководствах величина соотношения базиса (В) и отстояния (L) для выполнения наземной стереосъемки рекомендуется в довольно широких пределах от 1/4 до 1/20 и 1/50 [Красильщиков, 1979; Тамицкий, Горбатов, 1976]. С целью повышения дешифрируемости и информативности материалов полевой фоторегистрации надо стремиться к обеспечению оптимального значения углового параллакса, которое достигается при отношении базиса съемки к отстоянию около 1/5. Так, при расстоянии до объекта съемки 1 км, оптимальным будет базис в 200 м.

Если съемка выполняется широкоугольным или нормальным объективом, то в поле зрения могут попасть объекты переднего плана (камни, кусты). Несовпадение их при таком большом базисе окажется настолько большим, что наряду с хорошей стереоскопической выраженностью дальнего плана они просто «выпадут» из стереомодели. В технической съемке жертвование передним планом, с условием отсутствия на нем информативно важных деталей, вполне оправдано. Когда же и на переднем плане имеются объекты, требующие стереоскопического отображения, расчет базиса съемки надо выполнять, исходя из расстояния до него, ориентируясь на максимальную величину соотношения B/L. Однако стереоскопическое разрешение дальнего плана снизится. В случае неприемлемости только компромиссного решения такой проблемы требуется съемка в трех возможных вариантах соотношения B/L: для переднего плана, для дальнего и для некоего среднего.

Из оценки величины базиса полевой стереосъемки совершенно ясно, что выпускающиеся и выпускавшиеся специальные стереоскопические аппараты (с двумя синхронно работающими съемочными объективами или камерами), например, «Спутник», призматические стереонасадки на обычные объективы и «перекидные» шарнирные рамки (для быстрой и точной смены камерой точек съемки на фиксированном базисе) совершенно непригодны для фоторегистрации палеосейсмодислокаций, так как все они имеют стандартный и неизменный базис, равный глазному, – 6,5 см [Бунимович, 1969; Тамицкий, Горбатов, 1976]. Техническую стереосъемку можно и нужно выполнять всеми имеющимися в «поле» фотокамерами. Помимо повышения информативности фоторегистрации стереоскопическое дублирование каждого важного кадра несколько повышает гарантию в получении конечных качественных результатов.

Статичность палеосейсмогеологических объектов позволяет использовать для стереоскопической фоторегистрации все обычные однообъективные фотокамеры. Стереосъемка выполняется сначала с левой точки базиса, затем с правой и обязательно только в такой последовательности. Это важно потому, что на негативах и контрольных отпечатках лишь при соблюдении указанного правила обеспечивается расположение левого кадра стереопары слева, а правого – справа. А это, в свою очередь, дает возможность получения стереоэффекта на «контрольках» и даже на негативах с использованием простейших линзовых стереоскопов с базисом стереовоспроизведения 6,5 см (разд. 4.2., 4.3.1.). Стереомодель получается с такими стереоскопами на «контрольках» и негативах всех основных форматов съемки: 6×6 см (с расстоянием 6 см между центрами кадров); 24×58 мм фотоаппарата «Горизонт» (6 см между центрами кадров) и даже 24×36 мм (около 38 мм между центрами кадров). По конторольным отпечаткам (с увеличением их под стереоскопом) можно производить оценку качества фоторегистрации, выбирать нужные кадры для фотопечати и даже выполнять предварительное дешифрирование, а в итоге – экономить фотобумагу и время в сочетании с достижением максимальной эффективности полевой фоторегистрации. Производя стереоскопическое (а также и панорамное) фотографирование с транспортных средств, желательно, если есть возможность выбора, размещаться с фотоаппаратом по левому борту, так как в этом случае будет соблюдаться последовательность съемки слева направо.

Стереосъемка может выполняться в двух вариантах. При одном из них – конвергентном – лучи визирования камеры (камер), направленные на объект с двух концов базиса, пересекаются, а границы кадров совпадают. В наземной фоторегистрации этот вариант наиболее распространен. Съемка может производиться также параллельными лучами визирования с концов базиса. Частным случаем ее является нормальная стереосъемка, когда лучи визирования перпендикулярны линии базиса [Лобанов, 1983]. Данный вариант реализуется при стандартной серийной аэрофотосъемке. Базис съемки, отстояние и угол зрения объектива должны обеспечивать взаимное перекрытие соседних кадров на нужную величину. При аэросъемке это чаще всего 60%. В полевой фоторегистрации такая стереосъемка может комплексироваться с линейным панорамированием. Нередко характер рельефа и распределения растительности не позволяют выполнять съемку с величиной базиса, соответствующей оптимальному углу стереоскопического параллакса, или с соблюдением равенства отстояний двух точек съемки и их одинаковой высоты – то есть с перекосом базиса. В таких случаях приходится довольствоваться тем, что есть. Бинокулярное восприятие допускает несовпадение масштабов снимков стереопары до 16% [Куштин и др., 1988]. При еще больших величинах несовпадения можно производить выравнивание масштабов при фотопечати.

Стереоскопическую фоторегистрацию целесообразно производить в комбинации с другими видами полевой фотосъемки. Так, выполнив секторное панорамирование обширного объекта с левой точки, имеет смысл продублировать его с правой, при условии обеспечения оптимального базиса. В результате из кадров левой и правой панорам можно будет комплектовать стереопары. Осуществляя линейное панорамирование протяженных обнажений, желательно обеспечивать не 30-, а 70-процентное перекрытие соседних кадров, что даст возможность их стереоскопического анализа и одновременно гарантирует монтаж панорамы с достаточным перекрытием стыков через один кадр. Способствует комплексированию этих видов полевой фоторегистрации использование в них одного и того же правила съемки – «слева направо».

Дополнительно к этому также необходимо выполнить фотографирование фрагментов объекта в крупных и разных масштабах с левой точки базиса и повторить его, при необходимости получения стереопар, с правой. Проблематичным в таком случае (при большом базисе и значительном количестве регистрируемых фрагментов) будет достаточно точное совмещение при съемке «по памяти» границ кадров, образующих стереопары. Проще бывает уменьшить величину базиса до приемлемой по стереоразрешению и минимальной для челночных перемещений с одного конца базиса на другой при съемке каждой стереопары. Это позволит размещать кадры стереопар на пленке рядом друг с другом.

Комплексная съемка требует сравнительно с другими простыми видами фоторегистрации более значительных затрат времени. Это должно учитываться в ходе планирования рабочих маршрутов. Неблагоприятным фактором, лимитирующим возможность обстоятельной фоторегистрации, является погода с переменной облачностью, при которой быстро и резко меняется освещенность, а то и вовсе объекты закрываются облаками, что вынуждает либо излишне поспешно производить съемку в сокращенном варианте, либо переносить ее на другое время.

Выбор точек комплексной фоторегистрации и расчет базисов стереосъемки желательно выполнять при планировании маршрутов и корректировать их, при необходимости, на местности. При этом основную нужную информацию о локализации объектов, их размерах, величинах углов зрения на них с имеющихся возвышенных панорамных точек, отстояниях и транспортной доступности можно получать с карт, аэро- и космоснимков. Довольно большой диапазон величин соотношения базиса и отстояния позволяет комплектовать стереопары даже из материалов фоторегистрации прежних лет, при которой стереосъемка не предусматривалась. Два снимка одного объекта, выполненные с одной точки (например, простые дубли) окажутся, скорее всего, стереопарой. Правда, стереоскопическое разрешение ее может быть достаточным лишь для визуального отделения ближнего плана от дальнего. Стереомодель, порой удовлетворительно выраженная, получается на область взаимного перекрытия соседних кадров секторных панорам. Обрезки снимков, использованных для монтажа панорамы, можно с успехом применять при ее стереоскопическом дешифрировании. Для этого их надо стереоскопически совмещать с соответствующими участками панорамы.

Дубли слайдов, даже различно экспонированных, также могут оказаться стереопарой. Их полезно использовать для детализации дешифрирования черно-белых панорам. Взаимное ориентирование слайдов в стереопаре удобнее производить при окантовке их в картонные рамки, допускающие большие, чем пластмассовые, вертикальные, горизонтальные смещения и перекосы кадров при визуальном контроле в стереоскопе. Подбор стереопар из материалов черно-белой съемки легче выполнять по контрольным отпечаткам. Для стереоскопического совмещения кадров из разных частей пленок один из них следует вырезать и прикладывать к другому, а затем приклеивать на место или же специально печатать дубли. При некотором навыке оценку совместимости кадров в стереопару возможно делать и аналитически – по величине смещения близких по вертикали отличительных точек дальнего и ближнего планов. На левом снимке стереопары точки ближнего плана находятся правее некоторых точек дальнего, на правом – наоборот.

## 3.3.7. Макросъемка

Из других разновидностей фотосъемки при полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций может использоваться макросъемка, то есть съемка в крупных масштабах 1:10 - 5:1 и более. Она применяется для изображения зеркал скольжения со штрихами, указывающими направление смещения дислоцированных блоков; величины розеток накипных лишайников и покрытости ими новообразованных поверхностей блоков и глыб; степени выветрелости горных пород на поверхностях сместителей и обломочного материала; образцов древесных стволов с пришлифованными спилами для иллюстрации дендрохронологического датирования дислокаций.

Нормальный 50-миллиметровый объектив «Индустар-61 л/з» на ближнем пределе фокусировки позволяет размещать в кадре фотопленки (формата 24×36 мм) объект размером 73×110 мм, то есть обеспечивает возможность макросъемки в масштабах не свыше 1:3 (М=36:110). Более крупные увеличения, при необходимости, можно получать с использованием удлинительных и оборачивающих колец [Бунимович, 1969; Тамицкий, Горбатов, 1976; Красильщиков, 1979; Сов.фото, 1981, № 11] (разд. 3.2.3.).

Определение необходимой в каждом конкретном случае ширины удлинительных колец производят либо опытным путем – перебором имеющихся вариантов, либо посредством таблиц, позаимствованных из фотографических руководств или составленных самостоятельно. Например, 50миллиметровый объектив с полным набором из четырех удлинительных колец обеспечивает размещение в кадре объекта размером 16×24 мм, то есть позволяет вести съемку в масштабе 1,5:1. С 37миллиметровым объективом при тех же условиях достигается несколько больший масштаб – 1,7:1. 135-миллиметровый объектив с полным комплектом колец гарантирует фотографирование в меньшем масштабе – 1:1,7, а 200-миллиметровый – в еще меньшем – 1:2,5.

Для съемки в масштабах 1:1 и крупнее, с целью компенсации (характерного для таких увеличений) снижения резкости изображения, применяют оборачивающее кольцо, закрепляемое между камерой и объективом, ввернутым в него обратной стороной – посадочной резьбой для светофильтров. Такой прием дает дополнительный эффект – достижение без удлинительных колец, например, с объективом «Индустар-61 л/з», съемочного масштаба 1:1,1, который обеспечивается при обычных условиях с самым широким кольцом из стандартного набора (№ 4). Аналогичное использование широкоугольного 37-миллиметрового объектива позволяет вести съемку в более крупном масштабе – 2:1. Телеобъективы с оборачивающим кольцом не фокусируются. Оборачивающее кольцо, при его отсутствии, легко изготовить самостоятельно, смонтировав в единое целое самое узкое удлинительное кольцо из стандартного набора и часть оправы светофильтра с наружной резьбой нужного диаметра.

Дополнительно расширяет возможности макросъемки в полевых условиях, при отсутствии удлинительных колец, так называмый способ «тандема». Сущность его состоит в соединении двух объективов в одну оптическую систему [Сов.фото, 1981, № 11]. Один из объективов (базовый) крепится в камере обычным способом, другой (дополнительный) привинчивается к первому наружным концом оправы с резьбой для светофильтров. Соединительное кольцо нетрудно смонтировать из частей двух светофильтров с наружной резьбой. Съемочный масштаб такой системы равен соотношению фокусов базового и дополнительного объективов. Меняя комбинации из имеющихся объективов с разными фокусными расстояниями можно получать различные масштабы макросъемки. Заметно снижает количество полноценных работоспособных вариантов комбинаций явление каширования изображения по краям кадра при диаметре передней линзы дополнительного объектива меньшем, чем такой же линзы базового [Сов.фото, 1981, № 11]. В крайнем случае удовлетворительные результаты макросъемки способом «тандема» можно получать и без соединительного кольца – просто прислоняя дополнительный объектив к базовому. Фотографирование таким образом облегчается тем, что фокусировка при больших увеличениях производится перемещением всей фотосистемы относительно объекта съемки. Диафрагмирование системы выполняется базовым объективом. Допустимо (по-видимому, с некоторой потерей резкости) прислонение дополнительного объектива даже тыльной стороной (узлом крепления к камере), что в ряде случаев может быть удобнее в осуществлении.

Макросъемка имеет три основные особенности: 1). Резкое уменьшение расстояния от объектива до объекта, порой затрудняющее съемку в самых крупных масштабах. Возможна некоторая компенсация отмеченного недостатка применением длиннофокусных и телескопических объективов. Однако при этом требуется увеличение ширины удлинительных колец для получения того же масштаба сравнительно с вариантом использования, например, нормального объектива.

2). С увеличением масштаба резко снижается освещенность изображения. В связи с этим необходимо введение поправочного коэффициента (К) в экспозицию, замеренную экспонометром K=(M+1)2, где М – масштаб съемки (отношение размера изображения объекта на фотопленке к натурному). Так, при масштабе 1:1 экспозицию надо увеличить в 4 раза. В случаях замера экспозиции через объектив (например, в фотоаппаратах с системой TTL) поправка не нужна.

3). Сильное уменьшение глубины резко изображаемого пространства с увеличением масштаба. Оно контролируется по матовому стеклу в видоискателе зеркальной фотокамеры, а при недостаточной ее величине компенсируется диафрагмированием объектива, порой до предела и/или использованием более длиннофокусного объектива. В масштабах макросъемки, в отличие от обычной, глубина резкости объективов уменьшается со снижением фокусного расстояния.

Падение освещенности с увеличением масштаба и необходимость сильного диафрагмирования объектива из-за уменьшения глубины резкости требуют применения продолжительных выдержек при макросъемке. При крупных масштабах длительность их может составлять секунды, десятки секунд и даже минуты. Одним из следствий этого является необходимость использования штатива в большинстве случаев макросъемки, другим – введение поправочного коэффициента в экспозицию для компенсации эффекта Шварцшильда [Сов.фото, 1982, № 3, 7; Teicher, 1983] при расчетных выдержках длиннее 1 с. Поправка на эффект Шварцшильда необходима для любых систем измерения, в том числе и TTL. Эффект снижения светочувствительности на длинных выдержках должен учитываться при любых съемках в условиях недостаточной освещенности: в сумерках, ночью и особенно на цветные фотоматериалы. Приблизительные величины поправочного коэффициента на эффект Шварцшильда для увеличения экспозиции при расчетных выдержках не менее 1 с:

Расчетная выдержка, с 1 2 4 8 16 30 60 120 240 480 960 Коэффициент увеличения 1,3 1,5 1,7 2,1 3,0 4,0 5,5 7,0 10,0 14,0 17,0 экспозиции

В кадре при макросъемке желательно размещать масштабную линейку или иной предмет для оценки размеров объекта на готовом снимке. Для представления о ориентировке штрихов на зеркалах скольжения необходим какой-либо репер – лучше вертикальный, например, геологический мо-

лоток, установленный ручкой вверх или подвешенный за выступы скалы. Облегчит камеральную обработку результатов макросъемки «привязка» ее кадров к выполненному тут же ряду мелкомасштабных снимков объекта, вплоть до панорамного, с изображением характерных деталей фона, которые, в свою очередь, можно «привязать» к топокарте, аэро- и космоснимкам.

При макросъемке наводку на резкость обычно бывает удобнее выполнять не вращением фокусировочного кольца объектива, а перемещением всей камеры в направлении объекта и обратно. Чрезмерное различие яркостей частей объекта макросъемки, при условии малой величины кадра, вызывает порой затруднения в измерении экспозиции. Опытные фотографы в таких случаях производят замер экспонометром с узким углом зрения датчика и не по самому объекту съемки, а по какому-либо тестовому объекту средней яркости. Чаще всего для этого используется ладонь, ориентированная по отношению к источнику освещения так же, как объект. Контраст изображения при макросъемке поддается регулировке с помощью светофильтров (разд. 3.3.4.). Выразительность отображения отдельных частей объекта можно повысить, смачивая их водой. Стереобазисы при макросъемке рассчитываются так же, как и в других случаях, но их величины измеряются уже не в метрах, а в миллиметрах (разд. 3.3.6.).

### 3.3.8. Видеорегистрация

В последние годы в технике видеозаписи достигнут заметный прогресс: уменьшение габаритов и массы видеокамер; снижение их стоимости; предельно высокая степень автоматизации, обусловливающая простоту съемки и существенно снижающая требования к квалификации оператора; высочайшая оперативность съемки и воспроизведения результатов. Это повышает соблазн использования видеоаппаратуры для документирования палеосейсмодислокаций. Существуют, однако и, факторы, лимитирующие применение видеокамер в палеосейсмогеологии:

1). Невысокое разрешение современных телевизионных систем по сравнению с фотографическими, особенно более доступных – портативных любительских.

2). Ограниченная емкость батарей электропитания, существенно снижающая автономность при длительном полевом использовании.

3). Сложность устройства, не гарантирующая необходимую в экстремальных полевых условиях надежность.

В целом видеорегистрация палеосейсмодислокаций может выполняться на основании тех же принципов, что и фотографическая. Видеокамерой достаточно просто производится съемка панорам палеосейсмодислокаций вместе с их ландшафтным фоном. Это обеспечивается широким диапазоном изменения фокусного расстояния объектива. Так же легко выполняется видеорегистрация в крупных масштабах фрагментов дислокаций, вплоть до масштабов макросъемки, с применением метода «наезда» при увеличении фокуса объектива.

Возможности стереоскопической видеорегистрации существенно снижены из-за отсутствия специальной демонстрационной стереоскопической видеоаппаратуры. Для некоторой компенсации этого может служить съемка с использованием стереоэффекта движения. Однако при ее реализации в полевых условиях снижается четкость изображения за счет тряски камеры и, к тому же, стереоэффект движения больше пригоден для демонстрации степени удаленности объектов, чем для характеристики их формы в объеме, особенно с больших дистанций. Некоторое приближение к качеству фотографической стереосъемки способна обеспечить видеосъемка одних и тех же объектов с левого, а затем с правого концов расчетного базиса с последующим камеральным получением фотографических стереопар посредством цифровой фотопечати или фотосъемки с видеомонитора и анализом их на обычном стереоскопе. Стереоскопическое разрешение при этом может приближаться к варианту с использованием фотоаппаратуры, но растровость телевизионного изображения резко снижает информационные возможности видеодокументации. Подобные фотоснимки пригодны в большей мере в качестве иллюстраций, чем материалов для рабочего крупномасштабного дешифрирования и картографирования.

Принципиально невысокое разрешение видеорегистрации можно, в некоторой мере, компенсировать максимальным использованием метода «наезда» для фиксирования всех фрагментов, которые способны вызвать интерес не только в момент съемки, но и при камеральной обработке материалов. Но такая съемка «с запасом» лимитируется количеством видеопленки и емкостью батарей. Для полевой подзарядки источников электропитания было бы уместно использовать зарядные устройства на основе солнечных батарей. Дальнейшее развитие систем телевидения высокой четкости позволит повысить возможность применения видеосъемки для изучения палеосейсмодислокаций. При нынешнем техническом состоянии видеорегистрация в большей степени пригодна для оперативной характеристики макросейсмических эффектов современных землетрясений, чем древних сейсмодислокаций.

Лучшие современные цифровые фотоаппараты и процессы приближаются уже по разрешению к фотохимической технологии и превосходят ее по возможности преобразования и представления изображений. Однако они пока совершенно не удовлетворяют требованиям полевой фоторегистрации.

# 4. ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ, АЭРО- И КОСМОСНИМКОВ

## 4.1. Информационные свойства спектрозональных и многозональных космоснимков

В настоящее время имеется довольно много монографических описаний методики космической съемки и дешифрирования космоснимков в разных целях [Кац, Рябухин, Трофимов, 1976; Баррет, Куртис, 1979; Садов, Ревзон, 1979; Аковецкий, 1983; Дистанционное..., 1983; Лаврова, 1983; Кац, Рябухин, 1984; Кац, Тевелев, Полетаев, 1988; Гонин, 1989; Матиясевич, 1989; Визуальные..., 1990; и др.]. Не поддаются перечислению опубликованные обстоятельные работы с изложением результатов применения дистанционной информации в геологии, географии, геоморфологии. При этом информация о свойствах материалов спектрозональной космической съемки и методах их дешифрирования довольно скудна [Кучко, 1974, 1988; Лаврова, 1983; Важенин, 1986; Дмитриев, Мурахтанов, Сухих, 1989]. Еще меньше данных по методике палеосейсмогеологического дешифрирования спектрозональных космоснимков [Важенин, 1989 *в*, 1992 *б*, 1997]. В последних отсутствует описание деталей методики, может быть, не очень принципиальных, но важных для практического использования. Цель данного раздела – восполнить указанный недостаток.

В палеосейсмогеологических исследованиях в рамках тотальной методики, изложенной в разделе 2., возможно применение нескольких разновидностей материалов серийных космических съемок: 1) контактные цветные отпечатки на фотобумаге и фотопленке спектрозональной съемки в масштабе 1:200 000 на формат негатива 30×30 см; 2) контактные и разномасштабные проекционные отпечатки на цветной и черно-белой фотобумаге много- и спектрозональной съемки в м-бе 1:1 000 000 на формат негативов 18×18 см; 3) разномасштабные проекционные цветные и чернобелые отпечатки на фотобумаге многозональной съемки камерой МКФ-6 в м-бе 1:2 800 000 на формат негативов 55×80 мм.

К важным требованиям, предъявляемым к материалам космических съемок, относится условие их серийности, что вытекает из тотального характера новой методики, при осуществлении которой необходимо палеосейсмогеологическое обследование обширных сейсмоактивных регионов.

Еще одним из основных требований к информационным свойствам космоснимков является достаточное, а точнее, – оптимальное пространственное разрешение. На первой и решающей стадии исследований – поиска палеосейсмодислокаций – оно должно быть не меньше (не хуже) и что в некоторой степени парадоксально – не больше (не лучше) первых десятков метров на местности. Вполне понятно ограничение величины разрешения «не хуже», которое способно обеспечить визуальное выявление на снимках и предварительную генетическую интерпретацию гравитационных палеосейсмодислокаций объемами 1 млн м<sup>3</sup> и более с горизонтальными размерами в первые сотни метров и высотой в первые десятки метров. Ограничение «не лучше» обусловлено наличием обратной зависимости разрешения материалов дистанционного зондирования и их обзорности, при прочих равных условиях. Повышение разрешения космосников, например, за счет увеличения масштаба съемки, вызывает неизбежное уменьшение площади местности, изображаемой в кадре, и, соответст-

венно, увеличение суммарной площади подлежащих дешифрированию снимков (причем в квадратной зависимости от масштаба). Например, двукратное увеличение масштаба съемки, а вместе с ним и разрешения, вызывает четырехкратное снижение производительности поиска палеосейсмодислокаций.

Не менее важным, требованием к изобразительным качествам космоснимков является возможность выразительного стереоскопического отображения рельефа. Оно обусловлено высокой информативностью трехмерной геометрической формы, дислокаций (особенно гравитационных) и их соотношения с рельефом при поиске и предварительной генетической интерпретации, а также на последующих стадиях исследований.

Следующее требование – обеспечение достаточного спектрального разрешения снимков, что определяется существованием для значительной части гравитационных палеосейсмодислокаций заметного цветового различия с фоном, которое вызвано обычным отсутствием достаточно развитого почвенно-растительного покрова на поверхности крупноглыбовых обвальных отложений и частым наличием такового у подножий крутых склонов.

## 4.1.1. Спектрозональные снимки съемочного формата 30×30 см

В наибольшей мере перечисленным требованиям отвечают серийные спектрозональные (СПЗ) стереоскопические космоснимки съемочного формата 30×30 см с указываемым в сопроводительных документах номинальным масштабом 1:200 000. Реальный масштаб их не постоянен и изменяется в зависимости от высоты не вполне круговых орбит беспилотных искусственных спутников Земли серии «Космос» [Гонин, 1989]. Например, для территории Северо-Востока России он составляет около 1:280 000.

Практическое разрешение контактных спектрозональных отпечатков на цветной фотобумаге, определенное по тестовым объектам, обеспечивается на оптимальном уровне – первые десятки метров. На них видны отдельные точечные объекты (крупные обвальные глыбы) размером в 20-30 м. Разрешение оригинальных негативов, а также дубль-негативов и диапозитивов, изготовленных на фотопленке, более высокое.

Стереоскопическое разрешение спектрозональных снимков формата 30×30 см достигает уровня первых десятков метров и также близко к оптимальному для поиска крупных гравитационных палеосейсмодислокаций. Оно определяется таким же, как при аэрофотосъемке 60-процентным взаимным перекрытием соседних кадров и достаточной величиной базиса съемки.

Максимальная степень реализации пространственного разрешения (по горизонтали и вертикали) при дешифрировании достигается с увеличениями под стереоскопом до 4-5 крат. Рост разрешения при больших увеличениях не происходит из-за зернистости фотоэмульсии цветной (в данном случае) фотобумаги. Параметры орбиты и съемочной системы спектрозональной съемки формата 30×30 см обеспечивают ширину полосы захвата на местности около 84 км. Съемка эта выполняется с субполярных орбит ИСЗ серии «Космос», с наклонением около 82° к плоскости экватора [Гонин, 1989], благодаря чему гарантируется обзор всей территории России, включая побережье Северного Ледовитого океана.

Спектральное разрешение спектрозональных космоснимков позволяет, например, различать массивы лиственничников и кедрового стланика. Такие возможности недоступны обычной цветной фотопленке при съемке из космоса через не вполне прозрачную атмосферу. Даже при визуальном наблюдении с самолета, с существенно меньшей высоты – около 10 км, атмосферная дымка настолько снижает контраст земной поверхности, что на ней обычно бывают видны только самые крупные элементы ландшафта. Спектрозональная фотопленка имеет, как и обычная цветная, несколько светочувствительных слоев, восприимчивых к разным зонам оптического спектра. Она отличается от обычной тем, что помимо одного - двух эмульсионных слоев, чувствительных к различным зонам видимого света (например, к зеленой и/или красной), содержит также слой, чувствительных к обликиет и ный к излучению в красной и в ближней инфракрасной зоне (с пиком чувствительности около 0,75 мкм). Для характеристики разных типов спектрозональных фотопленок используется специальный код:

$$CH-6 - \begin{bmatrix} \mathsf{MK} & \mathsf{3} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{\Pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathsf{C} & \mathsf{3} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{\Pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathsf{C} & \mathsf{3} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} - \mathsf{H} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathsf{MK} & \mathsf{3} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} - \mathsf{H} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathsf{MK} & \mathsf{3} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathsf{MK} & \mathsf{K} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \\ | & \mathsf{K} & \mathsf{H} \end{bmatrix}$$

где, ИК – инфракрасный, З – зеленый, К – красный; П – пурпурный; С – синий, Г - олубой; Ж – желтый [Кучко, 1988]. Левый столбец кода в скобках указывает спектральную зону, в которой чувствителен данный слой пленки, а правый – цвет красителя слоя после проявки негатива. Например, самые распространенные при космосъемке СПЗ-пленки типа СН-6 и СН-6м двухслойны. Верхний слой их чувствителен в ближней инфракрасной зоне и имеет зеленый цвет на проявленном негативе; нижний слой чувствителен в красной зоне и имеет пурпурный цвет.

Для печати копий со спектрозональных негативов могут использоваться разные фотоматериалы: 1) цветная трехслойная фотобумага (ЦБ, Ф-1, Ф-2); 2) спектрозональная двухслойная фотобумага СБ-2; 3) спектрозональная двухслойная позитивная пленка СП-1. Их строение в кодах:

Цветная 
$$\begin{bmatrix} C & \mathcal{K} \end{bmatrix}$$
  $\begin{bmatrix} 3 & \Gamma \end{bmatrix}$   $\begin{bmatrix} 3 & K \end{bmatrix}$   
фотобумага –  $\begin{vmatrix} 3 & \Pi & |; & CE-2 - | & |; & C\Pi-1 - | & | \\ K & \Gamma \end{bmatrix}$   $\begin{bmatrix} (3 & K) & | & K \end{bmatrix}$ 

Разумеется, окончательные цвета элементов ландшафта на СПЗ-снимках формируются в результате сочетания разных вариантов окраски эмульсионных слоев негатива и позитива и не соответствуют натурным. Такие изображения называют условно цветными. Цель спектрозональных съемок – не получение цветов, близких к натуральным, а достижение наибольших цветовых контрастов. Подобное цветовое кодирование в системе спектрозональной съемки, с одной стороны делает окраску знакомых элементов ландшафта непривычной и несколько затрудняет дешифрирование (особенно при отсутствии опыта), с другой – позволяет различать близкие по спектральной характеристике объекты, облегчая в итоге их выявление и генетическую интерпретацию.

Так, на серийных контактных СПЗ-снимках, изготовленных на фотобумаге, летняя растительность изображается в голубоватых оттенках разной насыщенности. Вариация окраски растительности возрастает в осеннем аспекте. Серые гольцы, представленные элювием и выходами коренных пород с коркой выветривания и накипными лишайниками на них, окрашены в тона пурпурного цвета различной насыщенности в зависимости от экспозиции и освещенности. Тундровые ландшафты отображаются мозаикой серовато-пурпурных и голубоватых ячеек с вариацией насыщенности от средней (на участках с существенной долей каменистых поверхностей и мхов) до слабой (светлопурпурной на ягельниках). Снег, наледи, толстый лед на водоемах и облака выглядят белыми. Галечные косы, пляжи, обнажения светлых невыветрелых горных пород (известняков, гранитов, липаритов и т.п.), а также маломощные прозрачные облака имеют бледно-пурпурный цвет. Не бликующие водные поверхности, отражающие голубой свет неба, кодируются темно-пурпурным цветом. Свежие гари имеют среднюю по насыщенности окраской между гольцами и глубокими водоемами.

Заметное влияние на ухудшение качества цветопередачи СПЗ-отпечатков оказывает обычное наличие неравномерности яркости изображения по полю кадра. Центр его заметно светлее краев. Светлое пятно возникает на негативах из-за характерной более высокой величины светопропускания центральной частью съемочных объективов, особенно широкоугольных. При последующей проекционной фотопечати неравномерность экспонирования негатива компенсируется такой же (или почти такой же, но обратной по знаку) неравномерностью светопропускания объектива фотоувеличителя, и в результате величина экспозиции по площади кадра выравнивается. При обычной серийной контактной фотопечати, когда из фотосистемы исключается второй (проекционный) объектив, выравнивание экспонирования не происходит, если для этого не применять специальную корректирующую маску. Пользователям материалы данной СПЗ-съемки поставляются преимущественно в виде цветных контактных отпечатков на фотобумаге форматом 30×30 см, а также в виде контактных диапозитивов на цветной фотопленке.

#### 4.1.2. Спектрозональные и многозональные снимки формата 18×18 см

Одновременно с СПЗ-съемкой на формат негатива 30×30 см с ИСЗ серии «Космос» выполняются многозональная и спектрозональная серийные съемки в номинальном масштабе 1:1 000 000 четырьмя сблокированными и синхронно работающими камерами формата 18×18 см [Кац, Рябухин, 1984; Важенин, 1986]. Три камеры (канала) используют для многозональной съемки на черно-белые негативы: 1-й канал (индекс ЧБА) – зелено-оранжевая зона спектра (0,5-0,6 мкм); 2-й (ЧББ) – оранжево-красная зона (0,6-0,7 мкм); 3-й (ЧБВ) – красная – ближняя инфракрасная зона (0,7-0,84 мкм). Четвертой камерой производится съемка на спектрозональную фотопленку.

Материалы первых трех каналов этой комплексной съемки поставляются в виде контактных отпечатков формата 18×18 см на черно белой фотобумаге, а четвертого – спектрозонального канала – в виде контактных отпечатков на цветной фотобумаге. Помимо этого, по желанию заказчика, выполняется поставка проекционных черно-белых отпечатков, увеличенных до номинальных масштабов 1:500 000 и 1:200 000. В первом случае их формат 36×36 см, во втором – каждый кадр печатается на четырех листах фотобумаги форматом 45×45 см. Кроме того, материалы данной многозональной и СПЗ-съемки предоставляются в виде изготовленных контактным способом цветных и черно-белых диапозитивов и дубль-негативов.

Разрешение на местности по горизонтали СПЗ-съемки формата 18×18см и теоретически, и практически в пять раз ниже, чем при такой же съемке камерой формата 30×30 см. Это определяется в пять раз меньшим масштабом съемки из-за пятикратного различия фокусных расстояний объективов (200 и 1 000 мм, соответственно) при прочих равных условиях. Разрешение по вертикали при съемке на формат 18×18 см несколько приближается к более крупномасштабному за счет большей величины стереоскопического базиса, но, пожалуй, не достигает значений 50-60 м. Реальное пространственное разрешение снимков многозональной съемки в отдельных каналах также приближается к разрешению СПЗ-съемки на формат 30×30 см (несмотря на пятикратную разницу в масштабах), но не превышает 50 м для точечных объектов. Не пропорциональное масштабу (в данном случае) повышение разрешения зональных снимков достигается благодаря более высокому разрешению используемых при этом черно-белых негативов, чем многослойных цветных спектрозональных. Такое высокое разрешение максимально способно реализоваться при дешифрировании на фотоотпечатках, увеличенных до масштабов 1:500 000 и 1:200 000. Однако практическое тотальное стереоскопическое дешифрирование при этом затруднено большими форматами снимков – 36×36 см и 45×45 см.

Цветопередача ландшафта на СПЗ-снимках формата 18×18 см не отличается от таковой для формата 30×30 см, поскольку их различия ограничиваются только масштабом съемки. Зональные (разноканальные) черно-белые снимки характеризуются разным фототоновым отображением на снимках разноокрашенных элеметов ландшафта не только по сравнению друг с другом, но и относительно цветных спектрозональных и черно-белых интегральных снимков (полученных съемкой на фотопленку, чувствительную во всех зонах видимого спектра, например, типа панхром, изопанхром). Они могут дешифрироваться в двух основных вариантах: 1) последовательный и параллельный анализ отдельных разноканальных снимков на каждый участок местности; 2) анализ цветных многозональных синтезированных изображений, получаемых точным совмещением двух и более разноканальных снимков (в различных комбинациях), кодированных каждый своим цветом и фиксируемых либо на экране, либо на цветной фотобумаге.

Возможность получения многочисленных вариантов комбинаций многозонального синтеза при разных сочетаниях каналов и цветов кодирования теоретически повышает спектральное разрешение при дешифрировании сравнительно с фиксированным одновариантным цветовым кодированием серийной спектрозональной съемки. Но на практике это преимущество пренебрежимо мало. Такая технология, к тому же, весьма трудоемка и потому существенно снижает производительность тотального регионального дешифрирования, например, палеосейсмогеологического. Не достигается в результате многозонального синтеза и повышение пространственного разрешения сравнительно с одномасштабной СПЗ-съемкой, так как происходит его ухудшение по отношению к исходно высокому разрешению зональных снимков из-за принципиально недостаточной и, тем более, трудно обеспечиваемой практически точности их геометрического совмещения, а также из-за образования дополнительных ореолов в многослойной эмульсии цветной фотобумаги. Вдобавок к этому для специализированного многозонального синтезирования в распоряжении дешифровщика должна быть достаточно сложная, точная, дорогостоящая и громоздкая оптико-механическая или электронная аппаратура.

Дешифрирование в первом варианте более приемлемо, чем во втором, но также более трудоемко, чем по СПЗ-снимкам и, кроме того, требует знания достаточно ярко выраженной специфики их изобразительных свойств. Высшее пространственное разрешение достигается в канале ЧББ, наибольший контраст – в ЧБВ, наименьший – в ЧБА. Лишенные растительного покрова и более холодные высокогорья и среднегорья изображаются в инфракрасном (ЧБВ) канале (на позитиве) темносерым фототоном, при том, что в видимом диапазоне они заметно светлее серого и темно-серого изображения растительности. Высокий контраст рисовки рельефа в этом канале с одной стороны способствует выявлению малоконтрастных элементов сейсмотектоники в условиях плавного, пластичного рельефа; с другой – часто бывает чрезмерным, затрудняющим дешифрирование мезо- и микроформ рельефа на крутых склонах альпинотипных гор – ибо излишне светлых (освещенных солнцем и более теплых), либо слишком темных (затененных и холодных). В последнем случае рельеф более фотогеничен в видимом спектре. В канале ЧБВ наилучшим образом отображаются малые водотоки глубиной менее 1 м. Даже ручьи глубиной в первые десятки сантиметров хорошо выделяются на них благодаря черному фототону, тогда как на снимках в видимом диапазоне водотоки становятся заметными при глубине не менее 1 м.

## 4.1.3. Многозональные снимки формата 55×80 мм

Аппаратом МКФ-6, состоящим из шести сблокированных, синхронно работающих фотокамер с форматом кадра 55×80 мм, выполняется космосъемка с тяжелых пилотируемых космических кораблей серии «Союз» и орбитальных станций «Салют» и «Мир». Наклонение их орбит к плоскости экватора не превышает 65°, составляя большей частью около 50°. Это, соответственно, ограничивает обзор территории до широты не выше 50-60°, исключая общирные арктические регионы России, в том числе северо-западную часть сейсмического пояса Черского и сейсмоактивную Мечигмено-Колючинскую зону Чукотки.

От многозональной съемки на формат 18×18 см фотографирование аппаратурой МКФ-6 отличается более широким суммарным диапазоном регистрируемого излучения от 0,45 до 0,9 мкм и несколько более узкими спектральными зонами отдельных каналов [Лаврова, 1983; Важенин, 1986; Гонин, 1989]. Это по замыслу должно повысить спектральное разрешение съемки. Однако практически значимый прирост его сравнительно с многозональной съемкой формата 18×18 см, по-видимому, невелик, а реализация его связана с существенным повышением трудоемкости. Не способствует общему повышению разрешения и меньший съемочный масштаб: 1:2 000 000 при съемке с высоты 250 км ПКК «Союз-22» и 1:2 800 000 – с высоты 350 км орбитальных станций «Салют» с фокусным расстоянием объективов 125 мм [Гонин, 1989].

Вместе с этим разрешение на местности в отдельных каналах за счет применения высококачественных черно-белых фотопленок может достигать 18 м [Гонин, 1989]. Это само по себе вполне приемлемо, например, для поиска крупных палеосейсмодислокаций, но требует увеличений при печати до 10 крат, то есть до формата 55×80 см на одном листе или на нескольких меньшего размера, что обусловливает громоздкость и неудобство применения таких снимков для тотального палеосейсмогеологического дешифрирования, а также значительное повышение его трудоемкости. При этом, предназначенный специально для преобразования и дешифрирования снимков, получаемых аппаратом МКФ-6, многозональный синтезирующий (оптико-механический) проектор «МСП-4» позволяет увеличивать снимки только в пять раз [Живичин, Соколов, 1980]. К тому же, при многозональном синтезе на цветном носителе происходит уже отмеченное неизбежное падение разрешения изображения. Принципиально не достигается компенсация недостатков многозональной съемки аппаратом «МКФ-6» (для палеосейсмогеологических целей: малые масштаб и формат, высокая трудоемкость обработки и дешифрирования) и с использованием обладающих более широкими возможностями преобразования изображений, оптико-электронных синтезирующих приборов, например, типа «ФЕАГ-ДИСК».

Космосъемка аппаратом МКФ-6 производится стереоскопически, но базис ее и, соответственно, разрешение по вертикали меньше, чем при фотографировании на формат 18×18 см, так как перекрытие соседних кадров, с целью увеличения ширины захвата местности, осуществляется по короткой стороне не квадратного формата. К тому же указанные приборы для дешифрирования и многозонального синтезирования не обеспечивают получение стереоскопических изображений, и потому необходимо использование обычных стереоскопов. У печатаемых проекционным способом снимков этого вида фоторегистрации отсутствует недостаток, свойственный контактным отпечаткам форматов 30×30 и 18×18 см, – наличие неравномерности экспонирования по полю кадра. Снимки, выполненные аппаратом «МКФ-6», отличаются от прочих форматом, пропорциональным съемочному (55×80 мм), и срезанными углами кадра.

#### 4.1.4. Многозональные сканерные снимки

Помимо фотографических имеются оптико-электронные сканирующие системы многозональной космосъемки с достаточно высоким разрешением на местности. Изображение в них построчно сканируется качанием или вращением в плоскости, перпендикулярной направлению полета космического носителя, зеркала, зеркальной пирамиды либо призмы. Свет от сканирующего зеркала поступает в объектив, где посредством диафрагмы формируется узкий пучок лучей, создающих скрытое изображение (из электрических зарядов) на фотокатоде передающей телевизионной трубки. Кадровая развертка изображения осуществляется за счет перемещения летательного аппарата. Информация в числовом виде по радиоканалам передается на Землю [Лаврова, 1983; Гонин, 1989].

Большинство сканирующих систем имеет среднее и низкое разрешение – сотни и первые тысячи метров. Среди них выделяется сканер «МСУ-Э», обладающий высоким разрешением на местности, – до 28-40 м и выполняющий съемку в трех спектральных каналах – 0,5-0,7; 0,6-0,8; 0,75-1,1 мкм. Он способен также обеспечивать стереоскопичность отображения [Гонин, 1989]. Недостатком сканеров является ярко выраженное уменьшение полосы захвата местности с увеличением пространственного разрешения (что определяется фиксированным числом пикселов в строке сканирования). Для «МСУ-Э» ширина захвата не превышает 28 км. Это в сочетании с необходимостью многозонального синтезирования, существенно ограничивает возможность использования сканерной съемки в палеосейсмогеологии, по крайней мере, на современном уровне ее технического развития.

# 4.1.5. Сферы применения различных космоснимков в палеосейсмогеологических исследованиях

Выполненный анализ свойств материалов спектрозональной и многозональной космической съемки позволяет, при наличии знаний о морфологических и спектральных характеристиках палеосейсмодислокаций, ранжировать различные виды космоснимков по степени применимости их в палеосейсмогеологических исследованиях по новой методике.

Спектрозональные космоснимки съемочного формата 30×30 см в наибольшей мере соответствуют задаче высокопроизводительного тотального поиска и предварительной генетической интерпретации крупных гравитационных палеосейсмодислокаций по всем важнейшим параметрам: по пространственному (горизонтальному и вертикальному) и спектральному разрешению, по величине обзорности, по удобству практического использования. По ним также выявляются и предварительно изучаются крупнейшие тектонические и гравитационно-тектонические сейсмодислокации, ассоциирующиеся с гравитационными.

Спектрозональные и многозональные космоснимки съемочного формата 18×18 см могут применяться (при отсутствии более подходящих) для поиска только крупнейших гравитационных палеосейсмодислокаций и преимущественно в виде зональных (ЧББ) отпечатков, увеличенных до номинального масштаба 1:500 000 формата 36×36 см. Они полезны в качестве дополнительного источника информации более высокой обзорности при изучении положения роев палеосейсмодислокаций в рельефе, в геологических структурах и сейсмоактивных зонах.

Многозональные космоснимки формата 55×80 мм («МКФ-6»), уступая по всем важнейшим параметрам предыдущей группе, пригодны лишь для ограниченного использования с теми же целями, что и снимки формата 18×18 см, при отсутствии последних.

Точно такая же оценка применимости в палеосейсмогеологических исследованиях присуща и материалам многозональных съемок сканером «МСУ-Э».

## 4.2. Приборы для дешифрирования

Для дешифрирования спектрозональных и многозональных космоснимков пригодны те же приборы, которые используются с аэрофотоснимками. Довольно обстоятельное их описание содержится в работах А.Н.Живичина, В.С.Соколова [1980] и Т.В.Верещака, Н.С.Подобедова [1986]. Однако надо сделать акценты, важные для палеосейсмогеологических исследований.

Основную, и совершенно необходимую, группу приборов, применяемых для поиска и изучения по снимкам палеосейсмодислокаций, составляют стереоскопы. Главной функцией стереоскопов любой конструкции является сепарация двух изображений стереопары для раздельного предъявления их правому и левому глазам наблюдателя. Это разделение может осуществляться разными техническими средствами: простым размещением у переносицы какой-либо пластинки; ограничением зрительных каналов, например, непрозрачными трубками; введением в каждый оптический канал системы из двух зеркал или/и линз.

Опытный дешифровщик может и должен получать стереомодель и без каких-либо дополнительных средств. Для этого следует совместить два снимка стереопары вдоль линии базиса съемки так, чтобы расстояние между одноименными точками левого и правого снимков равнялось глазному базису дешифровщика (около 6,5 см) или было бы на несколько сантиметров меньшим. Затем надо расположить стереопару на расстоянии наилучшего зрения (25-30 см), сориентировав ее параллельно линии глазного базиса, и смотреть строго вдоль параллельных лучей, как бы сквозь снимки, на одноименные и предположительно достаточно контрастно выраженные в рельефе элементы изображений. Соблюдая данные условия, практически каждый человек способен при некоторой тренировке видеть стереомодель без стереоскопа. Это нужно не только для того, чтобы компенсировать его отсутствие, но и главным образом для расширения возможностей дешифрирования применением разных масштабов наблюдения стереомодели (в порядке их возрастания): 1) с системой зеркал; 2) без зеркал и линз (то есть фактически без стереоскопа); 3) с собирающими линзами разной кратности при наличии зеркал; 4) с теми же линзами, но при отсутствии зеркал.

Посредством стереоскопа без зеркал (с линзами или без них) обеспечивается наблюдение стереомодели с использованием естественной величины глазного базиса человека – около 6,5 см. С этим базисом достигается стереоскопический просмотр всей площади аэро- или космоснимков формата до 18×18 см, совмещаемых внахлест попеременно в различных комбинациях, при обеспечении их 60-процентного взаимного перекрытия при съемке. На снимках большего формата естественный глазной базис позволяет осуществлять воспроизведение стереомодели только по их краям шириной в 12 см. Например, в средних частях снимков формата 30×30 см в таком случае остается не просматриваемая «мертвая зона» шириной 6 см. С увеличением формата она возрастает.

Теоретически неограниченно увеличить стереобазис наблюдения и, соответственно, расширить зону стереоскопического воспроизведения можно введением в каждый оптический канал системы из двух зеркал. При раздвижении внешних (ближних к снимкам) зеркал возрастает базис стереонаблюдения и пропорционально уменьшается масштаб изображения. Базис в 12 см (измеряемый по центрам внешних зеркал) обеспечивает расширение зоны стереоскопического воспроизведения до 18 см, что позволяет просматривать одновременно всю площадь взаимно перекрывающихся на 60% снимков формата 18×18 см, но при достаточном размере внешних зеркал и отсутствии увеличивающих линз, сужающих угол зрения. На космоснимках формата 30×30 см стереоскоп с 12сантиметровым базисом наблюдения (воспроизведения) позволяет просматривать стереоскопически всю площадь взаимного 60-процентного перекрытия стереопар, но уже не одновременно, а последовательно при различных вариантах их совмещения внахлест. На пределе величины стереобазиса воспроизведения возможно применение такого стереоскопа со снимками формата 36×36 см.

Серийные заводские стереоскопы выпускаются с несколькими вариантами величины базиса стереовоспроизведения: 1) простейшие линзовые для полевого использования с базисом, равным глазному и потому пригодные только для снимков с форматом до 18 см, например, карманный стереоскоп «П-5» со складными ножками и с двукратным увеличением; линзовый стереоскоп с ножками и планшеткой фирмы «Карл Цейс» с трехкратным увеличением [Верещака, Подобедов, 1986]; 2) портативные складные зеркально-линзовые стреоскопы с базисом наблюдения около 12 см, например, полевой стереоскоп «СП-2» с подставкой и раздвижной стойкой и с увеличением до 2 крат; 3) камеральные дешифровочные и топографические зеркальные стереоскопы с увеличивающими линзами или окулярами и без них, с постоянным базисом воспроизведения около 21-26 см, достаточным практически для всех форматов серийных космо- и аэроснимков, с параллаксометрами и без них, например, «СП-180», «ЗЛС-1», «ЗЛ-3», «КС-1», «Д-2», «Д-4», «СПД-300»; 4) сложные стереоскопические приборы – топографические стереометры, стереобазисом наблюдения, предназначенные большей частью для высокоточных стереотопографических работ.

Из приборов последней группы заслуживает внимания «Интерпретоскоп» фирмы «Карл Цейс» [Верещака, Подобедов, 1986]. Он используется для стереоскопического дешифрирования снимков форматом до 23×23 (модификация «С») и 30×30 см (модификации («А» и «В») в отраженном и проходящем свете и позволяет производить измерения параллаксов с точностью 0,02 мм, которая достаточна для определения превышений рельефа, например, мощности обвальных тел, высоты сбросовых уступов. В большинстве сложных стереоприборов в качестве ограничителя формата снимков могут выступать не недостаточная величина базиса наблюдения, а их конструктивные особенности, например, габариты снимкодержателей, наличие ограничивающих перегородок и стенок. При использовании простых зеркально-линзовых стереоскопов из указанной третьей группы со снимками формата 30×30 см ножки таких достаточно тяжелых приборов будут неизбежно повреждать фотографии, если не предохранять их от этого, например, подкладывая под ножки картон, пластик или закрепляя весь стереоскоп на штативе.

Как бы ни показалось странным на первый взгляд, но наивысшее разрешение при стереовоспроизведении обеспечивают простейшие линзовые стереоскопы первой из охарактеризованных групп с базисом равным глазному и с увеличением до 4-5 крат. Более высокие увеличения не дают дальнейшего прироста информации из-за заметной зернистости эмульсии фотобумаги. Снимки на мелкозернистой фотопленке – диапозитивы и дубль-негативы – обеспечивают более высокое разрешение при больших увеличениях.

Причина меньшей разрешающей способности сложных зеркальных стереоскопов заключается в многокомпонентности их оптических систем. Так, простой стереоскоп, содержащий по одной линзе в каждом оптическом канале, имеет всего две преломляющие и отражающие поверхности на границе стекло-воздух в каждом из них. В обычном зеркально-линзовом стереоскопе (например, из охарактеризованных второй и третьей групп) таких поверхностей шесть, то есть в три раза больше. Соответственно, более чем втрое возрастают потери резкости от геометрических и хроматических аберраций. Причем величина их практически значима и весьма заметна при максимальных увеличениях стереомодели. Идеальные оптические зеркала в отличие от линз лишены оптических аберраций. Но в конструкции серийных, широко распространенных дешифровочных стереоскопов, используются зеркала не с наружным серебрением, а с отражающей поверхностью, защищенной снаружи стеклом. Наличие защитных стекол, ориентированных к тому же под достаточно острым углом к направлению лучей (45°), в наибольшей степени вызывает двоение изображения, образование ореолов и заметно снижает разрешение. Несравненно более качественные зеркала с наружным серебрением не применяются в серийных стереоскопах из-за их уязвимости к загрязнениям и чисткам в расчете на эксплуатацию в полевых условиях.

Из изложенного понятно, что при дешифрировании не только полевом, но и камеральном, предпочтительнее использование простейших линзовых стереоскопов, обеспечивающих наивысшее разрешение. При отсутствии подходящих их легко можно изготовить самостоятельно. За основу

конструкции берутся обычные часовые лупы в цилиндрической пластмассовой оправе. Они просто соединяются в стереоскоп тонкой алюминиевой или пластиковой пластинкой толщиной до 1 мм с двумя отверстиями диаметром под резьбу в оправе для крепления линзы. Крепятся лупы к соединительной пластинке гайками оправы для привинчивания линз. Естественно, расстояние между центрами линз должно равняться глазному базису. Полезно иметь для палеосейсмогеологического дешифрирования стереоскопы почти из всего ряда увеличений имеющегося ассортимента часовых луп:  $1,7^x$ ;  $2,3^x$ ;  $2,3^x$ ;  $3,5^x$ ;  $4^x$ ;  $5^x$ .

К этим стереоскопам можно изготовить шарнирные ножки или штативы – лучше в виде подставки – переменной, быстро регулируемой высоты, на которой легко устанавливаются и заменяются стереоскопы нужного увеличения. Подобные стереоскопы, благодаря максимальной компактности и легкости, весьма удобны не только для полевого использования, но и для быстрого оперативного просмотра больших массивов космо- и аэроснимков, например, с целью тотального поиска палеосейсмодислокаций. Массовый просмотр стереоснимков удобнее и быстрее всего выполнять, удерживая оправы линз стереоскопа окологлазными мышцами, как это делают часовщики, а стереопары, соединяемые внахлест, держа перед глазами.

Этот способ, правда, можно использовать лишь с краевыми 12-сантиметровыми зонами спектрозональных космоснимков формата 30×30 см. «Мертвые» 6-сантиметровые средние зоны, как уже отмечалось, не поддаются просмотру с естественным размером глазного базиса стереовоспроизведения. Расширить базис воспроизведения до необходимой и достаточной величины 12 см, причем без существенной потери разрешения, можно, применяя вместо зеркал отражающие ромбические призмы с величиной параллельного смещения лучей 3 см и с таким же размером стороны квадратных входной и выходной граней. Существенное снижение потерь резкости с использованием таких призм – по одной в каждом оптическом канале – сравнительно с системой (не идеальных) зеркал достигается за счет уменьшения числа отражающих-пропускающих границ (воздух-стекло) до двух в каждом канале и, плюс к тому, благодаря нормальной (перпендикулярной) ориентировке этих границ относительно оптических лучей.

Такой стереоскоп, оснащенный шарнирной, с быстро регулируемой высотой подставкой (штативом), удобен как без всяких дополнений, так и в комплексе с линзовыми стереоскопами разной кратности (изготовленными из часовых луп), устанавливаемыми на верхних гранях призм в виде окулярной насадки. Подобная система стереоскопов обеспечивает получение разных вариантов увеличений стереомодели в количестве, равном числу разномасштабных линзовых стереоскопов, плюс один вариант с призмами без линз и один – вовсе без стереоскопа. Это определяет качественно иной, более высокий уровень палеосейсмогеологического дешифрирования, нежели на основе довольно примитивных по идее и громоздких по конструктивному исполнению стандартных стереоскопов заводского изготовления.

Достаточно высокое качество стереомодели может обеспечить и стереоскоп, изготовленный на основе зеркал с наружным серебрением. При конструировании которого не следует стремиться к увеличению стереобазиса воспроизведения. 12-сантиметровая его величина оптимальна для достижения максимального разрешения и удобства наблюдения. При большем базисе возрастает длина хода оптических лучей от снимка до глаза, что, как уже отмечалось, вызывает уменьшение масштаба изображения относительно наблюдаемого невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения (25-30 см). Так, для стереобазиса величиной в 21 см (присущего наиболее распространенным стереоскопам заводского изготовления) удлинение хода лучей в каждом оптическом канале составляет 72,5 мм, а масштаб уменьшается приблизительно на 20%. И что особенно важно, это делает невозможным использование для увеличения масштаба стереомодели окулярных насадок с кратностью 2,8<sup>x</sup> и более, имеющих фокусные расстояния меньше 80 мм. Да и наблюдение с насадкой 2,3<sup>x</sup> с фокусом 90 мм сильно затруднено даже при условии малых размеров зеркал. В конструкции призматических или зеркальных портативных стереоскопов со стереобазисом воспроизведения 12 см следует предусмотреть возможность их закрепления на голове вместе с линзовыми окулярными насадками в виде очков посредством гибкого раздвижного обруча. Это приспособление удобно для использования при быстром просмотре большого количества стереоснимков.

Стереоскопы с малой величиной базиса стереовоспроизведения (6,5 и 12 см) имеют еще одно неочевидное преимущество. Снимки при дешифрировании с ними соединяются в стереопару внахлест, что упрощает и убыстряет их взаимную ориентировку в одной (почти в одной) плоскости и вдоль трассы съемки. При этом не требуется вспомогательная поверхность для их закрепления. Стереопара легко фиксируется скрепками или просто руками. Это важно при оперативном просмотре больших количеств снимков.

В принципе возможно размещение увеличивающих линз не только в виде окулярной насадки, но и между зеркалами, либо между нижними зеркалами и снимками. Но эти варианты конструкции вызывают существенное увеличение габаритов линз и, как следствие, – увеличение громоздкости и веса стереоскопа и снижение удобства его применения. Дополнительно ко всему заметно сказывается ухудшение разрешения по краям поля зрения ввиду участия краевых частей линз в формировании изображения, для которых в наибольшей степени проявляются их недостатки – геометрические и хроматические аберрации. Линзы, используемые в качестве окулярной насадки, не влияют на ухудшение качества изображения, так как в данном случае действуют лишь их центральные части. Отмеченные недостатки серийных стереоскопов вызывают необходимость специального изготовления стереосистем, максимально адаптированных для высокопроизводительного палеосейсмогеологического дешифрирования с полной реализацией высокого разрешения и обзорности космоснимков.

Из других приборов при дешифрировании могут быть полезны лупы разных увеличений; планиметр для измерения площадей на снимках и картах; рисовальный прибор Люц фирмы «Карл Цейс» и универсальный топографический проектор (модели «УТП-1» и «УТП-2») для переноса контуров со снимков на топокарту; чертежный стереометр для измерения превышений рельефа; многозональные синтезирующие приборы «МСП-4С», «ФЕАГ-ДИСК» при наличии многозональных и отсутствии спектрозональных снимков и др. [Живичин, Соколов, 1980; Верещака, Подобедов, 1986].

## 4.3. Палеосейсмогеологическое дешифрирование космоснимков

Поступающие от изготовителя к заказчику космоснимки нуждаются в определенной систематизации для упрощения пользования ими. Необходимо разобрать их по трассам съемки, упаковать в отдельные, маркированные по единой системе пакеты, папки и составить фотограмму в м-бах 1:2 500 000 - 1:1 000 000 всех имеющихся космоснимков. Эта достаточно трудоемкая подготовительная работа существенно облегчит учет и поиск необходимых снимков. В настоящее время каталог космоснимков с фотограммами можно изготовить или продублировать и в электронном виде на персональном компьютере.

## 4.3.1. Специфика палеосейсмогеологического дешифрирования и использование стереоскопов

Палеосейсмогеологическое дешифрирование имеет одну важнейшую особенность, отличающую его от большинства других видов природоведческого дешифрирования. Это, пожалуй, минимальное соотношение величины выявляемых и изучаемых объектов с одной стороны и площади дешифрируемых территорий – с другой. Например, при крупномасштабном ландшафтном, геоморфологическом, геологическом дешифрировании аэроснимков выявляемые и картируемые ареалы имеют обычные размеры в сотни и тысячи метров, а размеры участков дешифрирования и картирования составляют десятки и не более сотен километров. Соотношение площадей объектов и участков при этом – не менее 1:100 000, чаще – порядка 1:10 - 1:100. Обычное отношение площади довольно многочисленных отдельных палеосейсмообвалов объемами в 1 млн м<sup>3</sup> к площади, например, юговосточной половины сейсмического пояса Черского, в пределах которой они были найдены, составляет 0,02 км<sup>2</sup>/700 000 км<sup>2</sup> или 1/35 000 000. Даже для самого большого на Северо-Востоке России сбросообвала Чул-300 этот показатель не превышает величины 1:230 000. Разумеется, львиную долю палеосейсмообвалов составляют малые и средние, для которых такие соотношения близки к минимуму. Таким образом палеосейсмогеологическое дешифрирование отличается от обычного площадного природоведческого тем, что помимо выделения и генетической интерпретации ареалов на снимках требуется прежде всего найти довольно маленький объект с заданными свойствами на весьма большой территории.

Это обстоятельство определяет необходимость удовлетворения материалами дистанционного зондирования двум взаимно противоречивым требованиям: достаточно высокого разрешения и достаточно высокой обзорности. В наибольшей мере им, как уже отмечалось, отвечают спектрозональные космоснимки съемочного формата 30×30 см.

Практическая реализация высокого разрешения и высокой обзорности с одним и тем же источником визуальной информации возможна при дешифрировании с применением описанной в разделе 4.2. системы из призматического (либо зеркального с наружным серебрением отражающих поверхностей, с базисом стереовоспроизведения 12 см) и нескольких линзовых стереоскопов с разными увеличениями и, соответственно, углами поля зрения.

Вариант использования этой системы в составе лишь призматической компоненты, без увеличивающих (окулярных) линз, позволяет наблюдать одновременно практически всю площадь стереомодели – 12×30 см в масштабе, немного меньшем (около 1:1,1), чем при наблюдении невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения. Уменьшение масштаба определяется удлинением хода лучей от глаз до снимков в отражающей призматической или обычной зеркальной системе. При этом вся площадь взаимного 60-процентного съемочного перекрытия соседних снимков стереопары просматривается в два приема – при двух разных вариантах их совмещения внахлест (с перекрытием в 6 см) – сначала сверху располагается край одного снимка, потом другого. В таком масштабе удобно наблюдать довольно высокоранговые таксономические элементы рельефа и геологического строения: горные хребты, впадины, долины, крупные разломы, батолиты, а также самые заметные в составе фотоландшафта вспомогательные индикаторы палеосейсмодислокаций – наледи и крупнейшие гравитационные палеосейсмодислокации, такие как Чул-300, Улахан-Чистай-300, Сфинкс-150, однако он недостаточен для их эффективного поиска и тем более предварительной генетической интерпретации.

Комбинация призматического или зеркального стереоскопа с линзовым (в качестве окулярной насадки) с увеличением 1,7<sup>x</sup> позволяет видеть одновременно около 40% ширины 12-сантиметровой зоны стереоскопического воспроизведения, то есть обеспечивает полный ее обзор за три прохода вдоль длинной стороны. Получаемый в таком варианте масштаб изображения достаточен для обнаружения гравитационных дислокаций объемами в 1 млн м<sup>3</sup>.

Однако для повышения достоверности предварительной генетической интерпретации выявленных объектов и для поиска новых, пока не обнаруженных гравитационных и тектонических дислокаций, которые могут группироваться в виде комплексного роя, предпочтительнее применение линзовых стереоскопов с более высокими увеличениями – до  $4^x$  и  $5^x$ . Причем, если участок с обнаруженными объектами не попадает в «мертвую» зону для стереобазиса воспроизведения в 6,5 см, лучше использовать только линзовые стереоскопы без призматической компоненты, обеспечивающие максимальное разрешение.

При наличии дублей снимков, их можно разрезать на три части поперек трассы (или базиса) съемки, склеивать скотчем или лейкопластырем для обеспечения возможности сгибания, что позволит выполнять стереоскопический просмотр и «мертвых» зон, не доступных для естественного глазного базиса. Этот прием полезен также при отсутствии стереоскопа с базисом не менее 12 см, например, в полевых условиях.

Массовый тотальный поиск палеосейсмодислокаций в обширных сейсмоактивных регионах осуществляется последовательным просмотром под стереоскопом всей площади каждого спектрозонального космоснимка. Эта операция подобна оптическому или электронному сканированию поверхности. Она наиболее производительно выполняется в режиме быстрого просмотра, как уже отмечалось, при небольших увеличениях линз – порядка  $1,7^x-2,3^x$  и без использования штатива или ножек портативного стереоскопа способом, описанным в разделе 4.2. При этом удобны стереоскопы, выполненные в виде очков, закрепляемых на голове не дужками, а раздвижным гибким обручем. Необходимость такого крепления стереоскопа обусловлена повышением веса конструкции при комплектовании ее в комбинации призматической или зеркальной компонентой с линзовыми насадками.

Тщательный просмотр и изучение выявленных дислокаций выполняются при максимальных увеличениях – до 4-5 крат и уже с точной установкой стереоскопа над объектами с помощью ножек или штатива. Процесс палеосейсмогеологического дешифрирования космоснимков разбивается на несколько этапов: 1) обнаружение отдельных дислокаций; 2) выявление комплексного роя; 3) изучение с целью предварительной генетической интерпретации; 4) изучение с целью предварительной сейсмологической интерпретации. Повышение степени достоверности генетической и сейсмологической и сейсмологической интерпретации требует использования более крупномасштабных исследований по аэросним-кам и полевыми методами.

## 4.3.2. Вспомогательные объекты-индикаторы

Предварительный просмотр снимков возможен при минимальных увеличениях с целью обнаружения вспомогательных, наиболее хорошо заметных в составе фотоландшафта индикаторов, сейсмически возбужденных или ледниково-деформированных литосборов. Роль таких индикаторов способны исполнять суб- или постсейсмогенные образования: обвально-осыпные и пролювиальноселевые конусы выноса, а также – в перигляциальных условиях – крупные наледи и наледные поляны.

Обвально-осыпные конусы выноса объемами до 1 млн м<sup>3</sup> и целые подгорные шлейфы из них размерами в сотни метров могут массово возникать как непосредственно в результате разрушительного землетрясения, так и спустя некоторое время после него – благодаря активизации литосборных бассейнов на первых стадиях их постсейсмической адаптации. При этом обвально-осыпные конусы выноса формирмируются под склонами как не затронутыми заметными дислокациями, так и под новобразованными стенками срыва, появившимися в результате схода крупных обвалов и оползней.

Они образуются также и при менее сильных землетрясениях, не сопровождающихся крупными дислокациями, вследствие слабо выраженного тектонического дробления горных пород, слагающих крутые склоны. Такое равновесное соотношение довольно узкого энергетического диапазона сейсмического воздействия и достаточной устойчивости к нему литосборов сейсмоактивных регионов, постоянно как бы испытываемых гораздо более многочисленными слабыми и средними по силе толчками, реализуется нечасто. По-видимому, поэтому массово обвально-осыпные конусы выноса встречаются лишь в пределах и на периферии крупных комплескных роев палеосейсмодислокаций (рис. 13, 20, 41). А там, где нет крупных сейсмодислокаций, обычно нет и сколько-нибудь заметных для дистанционной индикации и активно формирующихся обвально-осыпных конусов выноса. Исключение, вероятно, могут составлять горные литосборы, недавно освободившиеся от ледниковой деформации. В долинах, занятых ледниками, конусы выноса и другие гравитационные дислокации либо тут же, в момент обрушения, распластываются по их поверхности, либо довольно быстро преобразуются движущимся льдом в ленточные боковые и срединные или в плащеобразные поверхностные морены [Walker, 1982; Важенин, 1998 *б*].

Из всех вспомогательных индикаторов обвально-осыпные конусы выноса наименее заметны на космоснимках из-за малых размеров обычно не более 100 м. Однако в масштабах аэросъемки они не только хорошо видны, но и безошибочно распознаются благодаря ярко выраженной форме в плане – треугольной или лопастеобразной (в зависимости от рельефа субстрата) и четкой связи с камнепадными лотками, а также высокому спектральному контрасту «живых» их разностей с фоном. В связи с этим они могут использоваться в большей мере при дешифрировании аэроснимков, например, для обнаружения и генетической интерпретации сейсмогенных разломов.

Аккумулятивные тела единовременных селевых отложений, нередко возникающие при сильных землетрясениях, тем не менее мало пригодны для дистанционной индикации эпицентральных зон. Это связано с их обычно не очень большими горизонтальными размерами и мощностью, а также локализацией в долинах и в замыкающих створах низкопорядковых литосборов. В долинах они мало заметны на фоне современного не задернованного аллювия и, к тому же, эфемерны (быстро размываются подпруженными ими водотоками), а в створах литосборов с характерным селевым вы(1)

носом обычно формируются крупные пролювиально-селевые конусы выноса, в составе которых единовременные сейсмогенные приращения также слабо выделяются в фотоландшафте.

Рис. 41. Позднеплейстоценовая троговая долина Мельдек в рое Туманы (Северное Приохотье). На переднем плане видны интенсивно дислоцированные коренные граниты – фрагмент сейсмоблока МЕЛЬДЕК-0,3 (*M-0,3*), слагающие зону транзита палеоледника Мельдек; на дальнем – малые обвалы и обвальноосыпные конусы выноса, связанные с сейсмотектоническими дислокациями северного отрога г. 1 846 м; *M-3* – палеосейсмообвал Морионовый-3

Именно такие крупные и сравнительно медленно (на протяжении сотен и тысяч лет) формирующиеся конусы выноса радиусами до 1 км и более могут использоваться в качестве эффективных вспомогательных индикаторов древних эпицентральных зон (рис. 13, 20, 22). Большие размеры пролювиально-селевых конусов выноса, характерный веерный контур и такой же рисунок временных водотоков в их пределах гарантируют обнаружение и правильную генетическую интерпретацию этих образований не только на спектрозональных космоснимках номинального масштаба 1:200 000, но и на более мелкомасштабных и даже на топокартах масштабов 1:100 000 - 1:500 000. Отнесение к вспомогательным, а не к основным палеосейсмогеологическим индикаторам объясняется многофакторностью их формирования.

Большие и многочисленные пролювиально-селевые конусы выноса быстро возникают в процессе постсейсмической адаптации литосборов за счет интенсивного суффозионно-эрозионного размыва огромного количества новообразованного обломочного материала разных гранулометрических фракций, слагающего крупные завальные плотины, подсклоновые обвалы, обвально-осыпные конусы выноса и осыпные шлейфы. Это позволяет использовать такие конусы выноса в качестве индикаторов.

Подобный эффект адаптации литосборов к новым условиям функционирования с пролювиально-селевым формированием крупных конусов выноса проявляется при деградации оледенения. Объемы нового обломочного материала, вовлекаемого в процесс переотложения на более низкий гипсометрический уровень – в широкие речные долины и к подножиям горных сооружений, в данном случае также значительны. Источниками его служат береговые, основные и конечные морены (в местах прорезания их водотоками).

Пролювиально-селевые конусы выноса характерны также для аридных климатических условий, при которых процессу литосбора присуща ярко выраженная прерывистость процесса транспортировки и аккумуляции. Суммарное действие, например, ледников и землетрясений обусловливает максимальное развитие пролювиально-селевых конусов выноса. Так, пролювиально-селевыми конусами выноса с радиусами 10-15 км и более выстлана практически вся поверхность южной части Момской впадины, горные литосборы которой подвергались воздействию позднеплейстоценовых оледенений. А в ее борту – в Буордахском горном массиве (с абсолютной высотой до 3 000 м) – имеются и современные ледники, также испытывавшие неоднократные сейсмические стрессы, свидетельством чего являются «соседние» рои голоценовых палеосейсмодислокаций: Тирехтях, Елау (рис. 26), Дарпир, Дарпирчик, Нючага, Гармычан (разд. 5.1.1.). Поэтому не исключается существенный вклад сейсмичности в формирорвание обломочного материала голоценовых морен. Для других районов плейстоценовых оледенений Северо-Востока РФ с более скромными свидетельствами проявления сейсмичности подобное по масштабам развитие пролювиально-селевых конусов выноса не характерно.

По-видимому, не случайна пространственная связь крупных речных наледей с роями палеосейсмодислокаций. Например, вероятно крупнейшая в Мире Большая Момская наледь (Улахан-Тарын) площадью около 120 км<sup>2</sup> находится в той части Момской впадины, в литосборном бассейне которой располагается большинство из перечисленных в предыдущем абзаце роев палеосейсмодислокаций. В замыкающих створах сейсмически активизированных литосборов, связанных с крупными роями палеосейсмодислокаций, тоже обнаруживаются обширные наледи площадью до 5-10 км<sup>2</sup>. Помимо уже отмеченных, это присуще также и другим роям с крупными гравитационными дислокациями: Туманы (рис. 20), Бахапча (рис. 38), Светлый.

Объяснение такого феномена следует из анализа строения и постсейсмической адаптации литосборных бассейнов, переживших воздействие разрушительных землетрясений, сопровождавшихся формированием большого количества обвального и осыпного обломочного материала. В процессе сейсмического возбуждения и последующей адаптации литосборов реализуются «эстафетная» транспортировка и переотложение изобильного обломочного материала.

На первом этапе залпово образуется большое количество обвалов и осыпей, сложенных обломками размерности от сверхкрупных глыб до дресвы и пыли и залегающих в качестве тромбов на осях литосбора. В результате интенсивного суфозионно-эрозионного размыва тромбов довольно быстро формируются или надстраиваются по вертикали и увеличиваются по горизонтали уже существующие пролювиально-селевые конусы выноса, частично подпруживающие водотоки наиболее высоких порядков в пределах сейсмически активизированных литосборных бассейнов.

Параллельный размыв обвальных и осыпных сейсмогенных тромбов и пролювиально-селевых конусов выноса поставляет в гидросеть большое количество обломочного материала, со своевременной транспортировкой которого в ее нижние звенья не могут справиться даже сравнительно крупные водотоки (IV-VI порядков), осуществляющие вынос вещества за пределы замыкающих створов постсейсмически адаптирующихся литосборов. Этот избыточный материал откладывается на расширенных участках крупных речных долин и в межгорных впадинах в виде аккумулятивных шлейфов, выстилающих днища. Водотоки в таких местах распластываются и разбиваются на множество мелких проток, блуждающих по поверхности и перестилающих этот так называемый перстративный аллювий. Часть водного потока фильтруется сквозь толщу отложений. Незначительная глубина (обычно десятки сантиметров) и нестабильность гидрологического режима малых проток способствуют быстрому промерзанию их в начале зимы (в условиях резко континентального климата) до самого дна. А наличие подледного стока выше наледной поляны обусловливает постоянное наращивание мощности и горизонтальных размеров наледи в течение всей зимы.

Такой же по сути, но протекающий менее интенсивно процесс адаптации литосборов, сопровождающийся формированием наледных полян, осуществляется с прекращением деформирующего воздействия ледников. Это несколько ограничивает возможности использования речных наледей в качестве индикаторов сейсмически возбужденных литосборов и древних эпицентральных зон.

# 4.3.3. Основные объекты-индикаторы

В качестве таковых, как уже неоднократно отмечалось, в составе описываемой тотальной палеосейсмогеологической методики используются крупные гравитационные дислокации – преимущественно скальные обвалы объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup>. Для осмысленного применения этих индикаторов в составе методики требуется дополнить анализ их индикационных свойств, представленных в разделе 2.7. В нем достаточно обоснована возможность использования обвалов в качестве индикаторов, как обычных элементов в комплексах сейсмодислокаций современных и древних разрушительных землетрясений в горах. Также вполне охарактеризованы их наивысшая из всех морфологических разновидностей сейсмодислокаций фотогеничность и дешифрируемость на спектрозональных стереокосмоснимках с разрешением на местности в первые десятки метров. Это справедливо и по отношению к пределу объема гравитационных дислокаций – не менее 1 млн м<sup>3</sup>, который обусловлен величиной реального пространственного разрешения в первые десятки метров спектрозональных стереокосмоснимков съемочного формата 30×30 см, оптимальной для их обнаружения и предварительной генетической интерпретации, а также необходимостью повышения гарантии выделения из всего размерного спектра гравитационных дислокаций их самой крупной составляющей, с наибольшей вероятностью являющейся сейсмогенной.

Преимущество индикационных свойств скальных обвалов перед другими гравитационными дислокациями, в частности оползнями, объясняется высокой степенью обусловленности последних, особенно возникающих в рыхлых отложениях, к примеру, в лессах Таджикистана, климатическими и другими не связанными с сейсмичностью причинами, – экстраординарным увлажнением, боковой эрозией рек, абразией на берегах новых водохранилищ.

Скальные блоковые оползни, как правило, имеют сравнительно небольшую амплитуду смещения, неполное экспонирование стенки срыва и невысокую степень дробления дислоцированных масс горных пород, что способствует сохранению или быстрому восстановлению почвеннорастительного покрова на их поверхности, затрудняющего обнаружение и генетическую интерпретацию таких дислокаций. Кроме того, медленно перемещающиеся крупные и очень крупные оползни объемами до 1 км<sup>3</sup> и более могут возникать или ускоряться и при слабых, не разрушительных сейсмических импульсах [Федоренко, 1988]. Оползни выявляются обычно на второй стадии палеосейсмогеологических исследований – при дешифрировании аэроснимков с целью картирования роев, а нередко и позже – при полевой заверке и анализе материалов наземной фоторегистрации.

Поиск обвалов-индикаторов выполняется последовательным просмотром под стереоскопом с минимальными увеличениями, уже отмечавшимся, способом «сканирования», (разд. 4.3.1.) всей площади каждого космоснимка в сочетании с «обшариванием» взглядом всех закоулков горных литосборных бассейнов. Максимального внимания требуют литосборы, в замыкающих створах которых обнаруживаются вспомогательные индикаторы – крупные пролювиально-селевые конусы выноса и наледные поляны, хорошо заметные по характерному рисунку речных проток даже в начале осени с существенно или полностью растаявшим льдом.

Наиболее вероятные места расположения сейсмогенных обвальных тромбов под крутыми и высокими склонами желательно просматривать при средних увеличениях стереоскопа. Весьма легко обнаруживаются в стереомодели обвальные тромбы, располагающиеся на главных осях литосборов в виде завальных плотин, подобных широко известному Усойскому завалу на Памире и обвалам Улахан-Чистай-300, Голубой-20 (разд. 5.1.). Много хуже выявляются небольшие обвалы, залегающие под крутыми и затененными в момент космосъемки склонами, особенно в интенсивно расчлененных альпинотипных высоко- и среднегорьях. В таких случаях могут использоваться максимальные увеличения стереоскопа.

Легче обнаруживаются обвалы, обладающие высоким спектральным контрастом с фоном, например, обнаженные глыбовые отложения на фоне долин и склонов с развитым почвеннорастительным покровом. Минимальны спектральные контрасты индикаторов и субстрата в гольцовом поясе гор. Существенно затруднены обнаружение и предварительная интерпретация обвальных тел, отличающихся геометрической формой поверхности от идеального обвала (разд. 2.7.1.), особенно близких к виду обвалов-потоков, формирующихся при наклоне субстрата, совпадающем со сместителем по направлению падения (рис. 10, варианты IV-VI). Также затруднена индикация обвалов-осыпей и осыпей (варианты h<sub>2</sub>-I, h<sub>1</sub>-I), характеризующихся слабой выраженностью в рельефе, тем более при отсутствии спектрального контраста. Анализ факторов, определяющих вариацию геометрической формы гравитационных дислокаций, изложенный в разделе 2.7., облегчает генетическую интерпретацию при их расположении в разных геоморфологических условиях.

После обнаружения первых обвалов-индикаторов дальнейший тщательный просмотр снимков под стереоскопом со средними и максимальными увеличениями с целью оконтуривания комплексного роя палеосейсмодислокаций выполняется в пределах литосборов с признаками сейсмической активизации и постсейсмической адаптации. Помимо крупных обвалов, при этом выявляются и кар-

тируются и малые гравитационные дислокации, доступные разрешению снимков. Картируются заметные при максимальных увеличениях тектонические нарушения и в их числе – вероятные сейсмогенные разрывы различной кинематики. На этой стадии могут обнаруживаться и крупнейшие гравитационно-тектонические предполагаемые сейсмодислокации.

# 4.3.4. Изучение и предварительная генетическая и сейсмологическая интерпретация дислокаций по космоснимкам

Разрешение спектрозональных космоснимков съемочного формата 30×30 см достаточно для выполнения предварительной генетической интерпретации прежде всего гравитационной составляющей роев. Так, крупноглыбовый вещественный состав, характерный для обвальных отложений, с величиной глыб более первых метров, отображается на таких космоснимках, при увеличениях под стереоскопом до 5 крат, в виде зернистой шероховатой структуры поверхности. Видны даже отдельные крупнейшие глыбы размером 15-30 м (рис. 21, 42). Глыбовые отложения размерности меньше 1 м обладают на снимках зернистой структурой только в масштабах аэросъемки и полевой фоторегистрации. Глыбовый состав отложений позволяет, в совокупности с другими признаками, получаемыми дистанционными методами, отличать обвалы от коренных структурных выступов, от сложенных обломочным материалом широкого гранулометрического спектра морен и их фрагментов, отчлененных эрозией. Но наиболее генетически информативны на первой стадии палеосейсмогеологических исследований геометрическая форма поверхности обвалов и их геоморфологическое положение. Крупные обвалы, близкие формой поверхности к идеальному (разд. 2.7.1.), легко не только выявляются, но и правильно интерпретируются в трехмерном стереоотображении.



Рис. 42. Одна из сверхкрупных глыб размером около 20 м на левом фланге обвала Чул-300. Она видна в стереомодели на спекторозональных космоснимках м-ба 1:280 000. Признаки ее обвального происхождения зафиксированы в виде многочисленных трещин свежего облика. Следов ледниковой и какой-либо иной медленной транспортировки нет. У подножья глыбы формируется шлейф из отваливающихся под действием температурного выветривания обломков. Глыба указана стрелкой на рис. 21*а. Ч-300В* – верхняя часть обвала Чул-300

Все в их облике свидетельствует о высокодинамичном смещении по типу обрушения. Это и форма продольного профиля в виде тупоугольного треугольника, обращенного наибольшим углом вверх, а наименьшим – в сторону стенки срыва. Это и крутизна фронтального уступа обвального тела, близкая по величине к углу естественного откоса. Это и пологонаклонная в сторону стенки срыва и слегка вогнутая поверхность тыльной грани обвального тела. Это – серпообразная в плане его форма, являющаяся, наряду с другими морфологическими признаками, результатом высокодинамичного обрушения и трансформации в обвальное тело единовременно обрушившейся массы по закону отражения, с участием в данном процессе земной гравитации и пространственной конкуренции множества обломков, образующихся вследствие дробления обрушивающегося блока, при отскоке их от субстрата и разлете в виде веера. Это и закономерное расположение обвала на вполне определен-

ных расстояниях от бровки и подножья стенки срыва, обусловленное крутизной и высотой смещающего склона и малой величиной растянутости во времени процесса обрушения (рис. 10). Это и распластанность по наклонному – в сторону падения – субстрату обвалов-потоков. Это и вздыбленность на противоположный склон долины обвалов с контруклоном субстрата. Это и образование тромбов в виде завальных плотин в тальвегах крупных долин. Это и наличие заметных, порой даже в масштабе космосъемки, разломов, совпадающих со стенкой срыва или секущих ее и наглядно демонстрирующих не только их пространственную, но и генетическую связь. Это и залегание на подножии стенки срыва и на флангах обвала свежих обвально-осыпных конусов выноса и осыпных шлейфов, свидетельствующих о интенсивной постсейсмической адаптации обвального литосбора в сторону снижения крутизны и повышения устойчивости новообразованных обрывистых и сейсмически раздробленных склонов. Это и образование сейсмоструктур в виде нескольких гравитационных и гравитационно-тектонических дислокаций, связанных между собой в узлы и цепочки сетью новых и подновленных разломов и трещин.



Рис. 43. Подпрудный бассейн седиментации в долине руч. Юрюн-Тас (рой Тирехтях) выше завала Улахан-Чистай-300 (УЧ-300) с мощностью накопившихся к настоящему времени отложений до 140 м (рис. 22)

Обвальные тела с высотой фронтального уступа менее 20 м видны и достаточно уверенно интерпретируются в стереомодели на космоснимках, даже при максимальных увеличениях, главным образом благодаря не стереоскопическому отображению, а высокому светотеневому контрасту обычно крутого фронтального уступа с пологой тыльной гранью. Для таких превышений вертикальное разрешение космоснимков формата  $30\times30$  см недостаточно. Более мощные обвальные тела воспринимаются дешифровщиком космоснимков и стереоскопически. Если горизонтальные размеры обвалов объемами около 1 млн м<sup>3</sup> составляют на снимках масштаба 1:280 000 доли миллиметра, то крупнейшие – объемами в сотни миллионов кубометров, изображаются ареалами поперечником до 1 см, например: Улахан-Чистай-300 – 8×4 мм, Чул-300 – 8×6 мм, Сфинкс-150 – 9×5 мм. Такие размеры обеспечивают получение выразительной стереомодели гравитационных дислокаций, гарантирующей обычно безошибочную генетическую интерпретацию их уже на первой стадии исследований. В других случаях этого бывает недостаточно.

Облегчает решение этой задачи анализ признаков постсейсмической адаптации обвальных литосборов. Основные ее закономерности изложены в разделе 2.8. Значительная часть признаков постсейсмической адаптации достаточно хорошо отображается на снимках и даже может служить в качестве вспомогательных индикаторов при поисках роев палеосейсмодислокаций. Это уже отмеченные (разд. 4.3.2.) обвально-осыпные и пролювиально-селевые конусы выноса, аккумулятивные шлейфы, формирующиеся из продуктов размыва сейсмогенных тромбов и выстилающие днища широких долин, а также подпрудные бассейны седиментации.



Рис. 44. Суброй Чинганджа в одноименном рое палеосейсмодислокаций (Северное Приохотье): 1 – позднечетвертичные и голоценовые аллювиальные, пролювиальные и ледниковые отложения; 2 – основные эффузивы кананыгинской свиты верхнего мела; 3 – кислые эффузивы наяханской свиты верхнего мела; 4 – средние эффузивы таватумской свиты верхнего мела; 5 – песчаники чинганджинской свиты верхнего мела; 6 – позднемеловые граниты; 7 – щебнисто-глыбовые обвальные отложения; 8 – уступы на поверхности обвальных тел; 9 – обвально-осыпные конусы выноса; 10 – пролювиально-селевые конусы выноса; 11 – предположительно сейсмотектонические расщелины и высокие уступы; 12 – бровки стенок срыва и ниш отрыва крупных обвалов; 13 – свежие сбросовые уступы; 14 – свежие разломы без заметной вертикальной составляющей; 15 – крупные разрывные нарушения достоверные; 16 – разрывные нарушения предполагаемые; 17 – суффозионные ложбины на поверхности обвалов; 18 – геологические границы и элементы каркаса рельефа; 19 – подпрудный бассейн седиментации; буквы *Ч*, *T* в индексации гравитационных дислокаций означают их названия, соответственно: Чинганджа, Туманы

Постсейсмогенные подпрудные бассейны седиментации могут иметь как весьма большие размеры – до 2-3 км, например, при обвалах Чул-300 (рис. 20), Улахан-Чистай-300 (рис. 22, 43), достаточные даже для того, чтобы выступать в роли объектов-индикаторов, так и (гораздо чаще) довольно скромные в первые сотни метров, например, при обвалах Сфинкс-150 (рис. 25), Угловой-38 (рис. 28), Туманы-42 (рис. 44), Уптар-16-37 (рис. 18). Крупные подпрудные бассейны седиментации возникают при блокировании обвалами горных долин II-III и более высоких порядков. Меньшие образуются у тыльных частей крупных обвалов, обычно под их стенками срыва. Они не могут служить объектами-индикаторами из-за незначительных размеров и расположения в комплексе образований, сопутствующих главным образом крупным и самым крупным высокодинамичным обвалам, которые хорошо заметны и без того. Однако подпрудные бассейны седиментации пригодны для обоснования предварительной генетической интерпретации обвалов как характерные элементы постсейсмически адаптирующихся литосборов. Их величина может служить критерием оценки возраста сейсмогенных тромбов.

При блокировании обвалами горных долин водотоков II-III порядков обломочный материал откладывается в бассейне выше завального тромба, а вода, обычно довольно свободно, фильтруется сквозь существенно глыбово-щебнистый по составу и водопроницаемый завал. Постоянные долговременные озера при этом возникают сравнительно редко – лишь тогда, когда в теле обвала или, чаще – обвала-оползня, существенную долю составляют крупные с ограниченной фильтрационной способностью блоки недостаточно раздробленных горных пород. Это свойственно, по-видимому, известному Усойскому завалу объемом около 2,2 км<sup>3</sup> на Памире, в результате срыва которого образовалось подпрудное Сарезское озеро глубиной около 500 м [Федоренко, 1988; Агаханянц, 1989].

На Северо-Востоке РФ известно лишь несколько подпруженных гравитационными дислокациями озер: Голубое в бассейне р. Армань (рой Светлый), озеро Обвал в бассейне р.Иня (рой Хейджан) и малые озера в бассейнах седиментации обвалов Сфинкс-150 (рой Бахапча) и Угловой-38 (рой Елау). В обширном подпрудном бассейне обвала Улахан-Чистай-300 имеется два небольших и, по-видимому, эфемерных озерка. Еще меньшие озерки размерами в первые метры обнаружены в подпрудном бассейне седиментации в долине руч. Озерный, погребенной в ее низовьях частью огромного сбросообвала Чул-300. Кстати, другой подпрудный бассейн длиной более 2 км возник в блокированной этим же обвалом долине р. Чул (III порядок). Но он уже находится в начальной стадии размыва после образования в Чульском завале суффозионно-эрозионного каньона. В небольших эфемерных озерках подпрудных бассейнов седиментации вода, прекратив блуждание по порой почти круговым замкнутым руслам, проваливается сквозь собственные песчано-алевритовые наносы в межглыбовые пустоты обвальных отложений, с образованием несколько устрашающих водоворотов, подобных возникающим при выдергивании пробки из ванны, но более крупных (рис. 45).

Столь эффектные детали строения сейсмически деформированных литосборов доступны для изучения главным образом в масштабах аэрофотосъемки и полевой регистрации. Однако их самые крупные черты, такие, как наличие водотока выше и ниже завала, и отсутствие его на поверхности завальной плотины, возвышающейся над ее верхним и нижним бьефами, заметные при максимальных увеличениях стереомодели на космоснимках, могут служить доказательством высокой фильтрационной способности отложений тромба, свойственной для обвальных образований и не присущей древнеледниковым моренам (особенно конечным) и выступам коренных горных пород.

Также хорошо заметны в стереоизображении на космоснимках суффозионно-эрозионные каньоны, возникающие в теле завальных плотин. Они могут быть такими крупными, как в комплексе обвала Чул-300 – длиной около 1,5 км и глубиной до 60 м (рис. 30, 46) или поменьше – длиной в сотни метров и глубиной в десятки метров, подобные каньонам, связанным с завалами Туманы-42, Угловой-38. Суффозионно-эрозионные каньоны могут быть довольно длинными, но в то же время, еще не полностью прорезавшими завал с появлением постоянного поверхностного стока. Такие каньоны имеются при обвалах Юрюн-Тас-50 (рис. 34, 35) (длина около 700 м), Уптар-16-37 (рис. 18) (длина трех каньонов около 600, 800 и 1 200 м), Туманы-42 (длина около 600 м).

Нередко суффозионно-эрозионные каньоны, возникающие в рыхлых обвальных отложениях, совпадают по простиранию и являются вложенными в каньоны и сейсмотектонические расщелины, образующиеся за счет дробления, раздвига и суффозионно-эрозионной препарировки приразломных зон в подстилающих коренных горных породах. Такие комплексные каньоны выявлены в сейсмоструктурах: Сфинкс-150 (рис. 25) – общая длина более 3 км, из них около 500 м в обвальных отложениях; Душистый-5 (рис. 16) – длина до 2 км; Уптар-16-37 (рис. 18) – длина около 600 м. Суффозионно-эрозионный каньон в сейсмоструктуре Юрюн-Тас-50 (рис. 22, 34, 35) хотя еще и не врезался в коренной субстрат, тем не менее, строго совпадает в плане с простиранием оси крупного и высокодинамичного разлома Улахан и, очевидно, предопределен тектоническими подвижками и циркуляцией грунтовых вод по разлому.

Полезным для генетической интерпретации гравитационных дислокаций представляется анализ по космоснимкам строения их стенок срыва и ниш отрыва и соотношения с ними. В случае образования ниши отрыва при обрушении появляется возможность сопоставления ее объема и объема обвального тела, что может служить веским аргументом в пользу гравитационного генезиса сопряженных простраственно и удовлетворяющих принципам геометрической соразмерности и динамического соответствия аккумулятивной и денудационной форм рельефа (разд. 2.13.2., 2.13.3.) [Важенин, 1998 б]. Например, двучленность обвального тела Уптар-16-37 [Важенин, 1997; Важенин и др., 1997] отражается в строении его сложной ниши отрыва (рис. 17, 18), в рельефе которой достаточно явственно видна врезанность более молодой ниши в раннюю.





Рис. 45. Подпрудный бассейн седиментации в долине руч. Озерный выше правого фланга тыльной части обвала Чул-300 (*Ч-300В*) в рое Туманы (рис. 20); *а* – общий вид; *б* – места провала воды (отмечены эллипсами) из подпрудного бассейна под собственные отложения и под завал



Рис. 46. Фрагмент Чульской завальной плотины, образованной фронтальной частью обвала Чул-300 (*Ч-300К* и *Ч-300Т*) в рое Туманы, с врезанным в нее суффозионно-эрозионным каньоном глубиной около 60 м и длиной около 1,5 км

В некоторых случаях, когда обрушивается не часть ровного в плане склона, а его крупный выступ или вершина горы и не образуется соразмерная обвалу ниша отрыва, тем не менее, возможно на основе морфологических особенностей и положения обвального тела в рельефе достаточно уверенно восстановить в стереомодели положение массы до обрушения. Такая ситуация характерна, например, для сбросообвала Улахан-Чистай-300. Правый борт долины руч. Юрюн-Тас (II порядок), с которого произошло обрушение, осложнен серией отрогов в виде контрфорсов длиной до 1 км и более каждый и общим числом до 10 штук, расположенных на достаточно хорошо выдержанных расстояниях – около 1-1,5 км (рис. 22). На участке залегания обвала в довольно гармоничном облике правого борта долины зияет прореха шириной в 2 км. В средней ее части легко угадываются, даже несмотря на небольшую глубину образовавшейся ниши, остатки отрога, подобные по форме обломку зуба (рис. 47). Дополнительно ниша отрыва отделяется от фона благодаря большей свежести горных пород на ее поверхности и наличию огромного обвально-осыпного шлейфа объемом не менее 10 млн м<sup>3</sup>, прикрывающего ее нижнюю половину. Продолжающийся активный рост этого шлейфа свидетельствует о стремлении обвального литосбора к приобретению более устойчивой формы, в том числе к снижению крутизны новообразованного склона до величины угла естественного откоса.

Похожая ситуация наблюдается при сравнении двух перспективных аэроснимков, выполненных в горах Чугач до и после разрушительного Аляскинского землетрясения 1 964 г. [Walker, 1982; Важенин, 1998  $\delta$ ]. На последнем из них (рис. 19  $\delta$ ) хорошо заметна неглубокая ниша, возникшая на месте обрушившейся горной вершины и намного меньшая по сравнению с объемом обвала (23 млн м<sup>3</sup>), распластавшегося по поверхности ледника Шерман. Масштаб космоснимков достаточен также для выявления крупнейших тектонических дислокаций, особенно пространственно связанных со стенками срыва и нишами отрыва и, очевидно, обусловивших отсечение от склона обрушившегося объема горных пород.

С использованием стереомодели, получаемой по космоснимкам, возможно выполнять предварительную оценку объемов крупных гравитационных дислокаций. Она производится двумя способами: 1) непосредственным измерением горизонтальных размеров и мощности (по высоте фронтального уступа) по стереомодели на космоснимках, с определением масштаба снимка в данной точке по топокарте; 2) измерением исходных параметров обвала на крупномасштабной топокарте (не менее 1:50 000) после перенесения его контура с космоснимков и при условии достаточно больших размеров дислокации для выраженности в рисовке изогипс. Более точное вычисление объема получается с использованием результатов полевой фоторегистрации и серии гипсометрических профилей вдоль и поперек падения обвального тела (разд. 4.4.).



Рис. 47. Ниша отрыва и тыльная часть обвалаУлахан-Чистай-300 (УЧ-300) в рое Тирехтях. Гребневая линия водораздела вблизи ниши отрыва интенсивно дислоцирована многочисленными сбросовыми уступами, обращенными к ее вершине. Некоторая задернованность тыльной части обвала объясняется, вероятно, не сравнительной древностью, а, скорее, меньшей высотой и большим содержанием мелких фракций в гранулометрическом спектре, обусловленным обвальной сортировкой материала по крупности (огромные глыбы летят дальше, чем мелкозем). Низ ниши отрыва пригружен огромной осыпью объемом около 10 млн м<sup>3</sup>: 1 – дислокации водораздельного гребня сбросовыми уступами

Учитывая обычно геометрически неправильную форму обвальных тел как экспонированной поверхности, так и их основания, не следует обольщаться по поводу достижения очень высокой точности вычисления объемов с применением сложных методик измерения и расчета. В большинстве случаев приемлемо определение усредненных горизонтальных размеров контура тела, геометрически аппроксимированного к простейшей фигуре прямоугольнику. Посредством такой же аппроксимации определяется и мощность тела. Произведение усредненных размеров по трем осям координат дает приблизительную величину объема. По космоснимкам можно с удовлетворительной точностью производить оценку объемов гравитационно-тектонических палеосейсмодислокаций или сейсмогенерирующих блоков с использованием способа, описанного в разд. 2.9. и сходного с только что изложенным. Из параметров тектонических дислокаций для измерения по космоснимкам болееменее пригодна только длина разрывов.

Масштабу космоснимков доступно получение некоторой информации, пригодной не только для генетической, но и предварительной сейсмологической интерпретации палеосейсмодислокаций. Одна из таких характеристик – пространственное сочетание (комплексирование) дислокаций разных морфологических типов в виде компактного и плотного роя на фоне лишенных сейсмодислокаций многократно более обширных смежных территорий со сходным геолого-геоморфологическим строением. Это, наряду с другими аргументами (разд. 2.5.), позволяет не расценивать выявленные объекты в качестве загадочных природных феноменов и не объяснять их посредством подгонки к прокрустову ложу асейсмичных процессов рельефообразования, а квалифицировать в качестве сохранившихся в рельефе следов древних разрушительных землетрясений, вполне обычных для сейсмоактивных регионов. Величина площади роев и протяженность зон сейсмогенных разломов в их пределах, являющиеся основаниями для вычисления магнитуды древних землетрясений по известным формулам (разд. 2.11.), определяются уже на первой стадии палеосейсмогеологических исследований с использованием космоснимков. По величине дислокаций и характеру распределения их по крупности на площади роя можно судить о глубине очага древного землетрясения. Такие оценки, разумеется, нуждаются в уточнении последующими более крупномасштабными работами.

Как видно из описанной методики, при дистанционном поиске и изучении палеосейсмодислокаций дешифрирование космоснимков должно производиться только в стереоскопическом варианте. Другие приемы не гарантирует получение нужной информации и не страхуют от грубых ошибок интерпретации. Одним из таких приемов, используемых некоторыми дешифровщиками, является дешифрирование цветных спектрозональных космоснимков с помощью большой двукратной лупы. При наблюдении сквозь нее одновременно двумя глазами (что реализуется при диаметре лупы 70-80 мм) изображения, состоящего из разноокрашенных элементов, (разных цветового тона и насыщенности) возможно получение стереоэффекта, принципиально отличного от общеизвестного. Последний условно можно назвать «стереопарным». Он имеет множество модификаций, различающихся способами сепарации двух изображений стереопары для раздельного предъявления их левому и правому глазам наблюдателя. Сепарация призводится посредством: зеркальных и линзовых стереоскопов; призматических, цилиндрических и линзовых растров (на основе которой изготавливаются открытки и карманные календарики), поляризационных фильтров (применяется в стереоскопической кинопроекции); спектральных фильтров (анаглифические топокарты).

Другой из известных и принципиально иных способов получения стереоскопических изображений – голографический. В нем для получения трехмерного отображения объектов на плоскости используется эффект интерференции когеррентных опорной и предметной волн оптического излучения в толстослойной мелкозернистой фотоэмульсии с применением фотопластинки, соизмеримой по величине с изображаемым объектом.

Стереоэффект, получаемый с помощью собирающей линзы, называется цветостереоскопическим [Уолкер, 1987; Важенин, 1989 г, 1991, 1995 в]. Он возникает благодаря известному еще из опытов И.Ньютона явлению дисперсии света, пропускаемого через трехгранную призму. Если установить две призмы преломляющими углами в противоположные стороны и посмотреть сквозь них одновременно двумя глазами на цветное двухмерное изображение, то его разноокрашенные элементы расположатся в возникающей цветостереомодели на разных высотных уровнях – в зависимости от различных параметров окраски – цветового тона, насыщенности и др. В качестве цветостереоскопа можно использовать обыкновенную собирающую линзу с диаметром, достаточным для наблюдения одновременно двумя глазами. В этом случае вместо спектральных призм роль необходимых для воспроизведения цветостереомодели двух диспергирующих элементов исполняют краевые части линзы. Они отличаются от призм только тем, что помимо диспергирования еще и увеличивают изображение.

Цветостереоэффект проявляется в нескольких основных вариантах, защищенных пятью охранными документами СССР и России. Осмысленное использование закономерностей проявления этой совокупности вариантов цветостереоскопии обеспечивает создание стереоскопических географических карт и других изображений на принципиально одиночном плоском носителе. При наблюдении цветного космофотоснимка сквозь указанную двукратную лупу получаемая цветостереомодель имеет хаотический характер. Разноокрашенные элементы в ней ранжируются по вертикали вне зависимости от реального рельефа изображенной на снимке земной поверхности.

Еще одним нежелательным способом дешифрирования, применительно к специфике палеосейсмогеологических исследований, является дешифрирование в сочетании с параллельным фиксированием информации на полупрозрачную синтетическую пленку или кальку, перекрывающую один из снимков стереопары. Этот способ допустим в какой-то мере при дешифрировании крупных элементов ландшафта, но для выявления, изучения и даже фиксирования палеосейсмодислокаций не годится вовсе из-за резкого снижения разрешения стереомодели. Обеспечиваемое им качество дешифрирования неприемлемо не только в палеосейсмогеологии, но даже в палеогляциологии. Тем не менее, этот способ может использоваться для фиксации результатов изучения палеосейсмодислокаций с применением только совершенно прозрачных пленок, на которых можно рисовать, например, тушью. Сами результаты следует получать другим способом, изложенным в данной и других главах.

Высокое пространственное и спектральное разрешение СПЗ космоснимков позволяет решать и ряд вспомогательных задач, связанных с изучением палеосейсмодислокаций. На них, например, видны не только магистральные, но и, почти на пределе разрешения при максимальных увеличениях, проселочные дороги, что полезно использовать для выяснения возможности проезда к объектам на автотранспорте. При наличии достаточного опыта дешифрирования можно оценивать пригодность горных рек для сплава, проходимость зарослей кедрового стланика для пеших маршрутов. По стереомодели на таких снимках удобно выбирать панорамные точки для полевой фоторегистрации. При этом космоснимки способны конкурировать с аэроснимками и топокартами благодаря не только высокому разрешению, но и, обычно, большей новизне. Топокарты и аэроснимки с запозданием фиксируют постоянные изменения коммуникаций и гидросети.

# 4.4. Комплексное палеосейсмогеологическое дешифрирование полевых, аэро- и космоснимков

#### 4.4.1. Подготовка материалов полевой фоторегистрации к дешифрированию

Материалы полевой фоторегистрации, выполняемой по технологии, изложенной в разделе 3., с запасом – для гарантии получения результатов и дублируемые – для стереоскопического отображения, отличаются большим количеством. За один полевой сезон обычно экспонируется несколько десятков катушек фотопленки. Это обусловливает применение специальной технологии их обработки перед дешифрированием, что вызывает дополнительные затраты времени на подготовку, но обеспечивает его экономию и удобство в процессе использования.

Существенную экономию времени при проявлении большого количества фотопленок гарантирует применение многоярусного фотобачка, рассчитанного на одновременное проявление 4-10 фотопленок. Серийно такие бачки не производятся, но их легко изготовить самостоятельно из нескольких двухъярусных бачков. При монтировании многоярусного бачка не потребуются какие-либо дополнительные материалы, кроме клея. Для склеивания лучше подходит эпоксидная смола. При конструировании бачка следует подогнать его объем до стандартной величины, например, 0,5 и 1 л для 4-ярусного или 1 и 2 л для 8-ярусного. Необходимо предусмотреть возможность использования фотобачка для обработки не только 35-миллиметровой, но и широкой пленки, что обеспечивается конструкцией исходных двухъярусных бачков. Надо учесть также наличие промежутков между каждой парой ярусов с шириной, достаточной для просовывания в них пальцев с целью облегчения зарядки бачка.

Оптимальным по эксплуатационным качествам получается 8-ярусный бачок с рабочим объемом 1 и 2 л. При использовании проявляющих растворов объемом 1 л этот бачок необходимо положить на бок, например, на подставку с четырьмя роликами и вращать прерывисто (с остановками в одну-несколько секунд) на протяжении всего времени проявления и фиксирования. Вращение можно производить как вручную, так и с помощью электропривода. Для обеспечения качества проявки имеет значение направление вращения бачка – против часовой стрелки, если смотреть на бачок сверху. В этом случае обрабатывающие растворы лучше омывают эмульсионную сторону фотопленки. Удобнее заряжать многоярусный бачок, надев его громоздкую катушку, например, на носик воронки (а еще лучше на какую-либо наклонную и устойчивую ось) и поставив в фотокювету. Это защитит фотопленку от попадания на нее пыли при зарядке в темноте и исключит возможность выпадения катушки и фотопленки из рук.

Просушенную после фотообработки пленку не следует скручивать в рулон. Хранение ее в таком виде затрудняет поиск нужных для печати кадров и стимулирует электризацию и накопление статических зарядов при скручивании и раскручивании, вследствие чего такая пленка притягивает пылинки, которые попадают в кадр при печати и вызывают появление царапин при протягивании в негативной рамке фотоувеличителя. Намного лучше применять специальную систему обработки и хранения фотоархива, например такую, как описанная в журнале «Турист» в конце 1 960-х гг. и используемая автором в течение многих лет.

В соответствии с ней обработанную фотопленку необходимо разрезать на несколько частей: 35-миллиметровую (с форматом съемки 24×36мм) – на шесть кусков, по шесть кадров в каждом; «горизонтовскую» - на семь, по четыре кадра; широкую (70-миллиметровую) - на три, по четыре кадра (с форматом съемки 6×6 см). Это позволит рационально размещать каждую пленку на листе фотобумаги формата 24×30 см для изготовления контрольных отпечатков контактным способом. При этом части 35-миллиметровой пленки укладываются поперек листа, широкой вдоль и, разумеется, эмульсией вниз и прижимаются толстым (5-6 мм) ровным стеклом, после чего производят экспонирование светом от фотоувеличителя. Конверты для хранения разрезанной пленки могут изготавливаться из кальки, полиэтиленовой или целлофановой пленки. Прозрачность их обеспечивает просмотр и выбор кадров без вынимания из конверта. Конверты из целлофана не нуждаются в склеивании. Каждую часть фотопленки просто заворачивают в листик целлофана. Из термопластичного полиэтилена, с помощью паяльника с ребристым роликом на его жале, можно делать конверты с несколькими ячейками сразу на все части каждой фотопленки. Такие конверты удобно хранить в папках. Калька, проигрывая другим в прозрачности, предпочтительнее, так как куски фотопленки не надо полностью вынимать из конвертов при фотопечати, что предохраняет фотопленку от загрязнений, а также потому, что возможна маркировка таких конвертов фломастерами и, к тому же, они почти не электризуются в отличие от полиэтиленовых.

Повышение производительности массового изготовления конвертов из кальки обеспечивается применением простой технологии. Калька стопой по шесть листов одновременно разрезается гильотинным фоторезаком, который необходимо оснастить передвигаемым упором для выдерживания стабильности формата заготовок. Они фальцуются (сгибаются в виде плоской трубки) также по шесть листов сразу посредством шаблона из полоски картона, несколько большего по формату, чем кусок фотопленки, с приклееной и загнутой вдоль ее длинной стороны узкой полоской кальки. Последняя используется для упора о нее стопки заготовок, после чего они оборачиваются вокруг шаблона с небольшим перекрытием (около 5 мм), необходимым для склеивания внахлест. Для этого больше всего подходит клей типа БФ-6, БФ-2. Совершенно непригоден силикатный, коробящий бумагу при склеивании и дающий много пыли после высыхания и растрескивания. Удобно и быстро выполняется склевание при выдавливании клея из небольшой емкости с длинным и тонким носиком, например, типа масленки для швейных машин.

В процессе разрезания фотопленки на куски, печатания с них конторолек и упаковки их в конверты необходимо соблюдать строго определенный порядок манипуляций с ними во избежание перепутывания. Так, при контактной печати контролек первый кусок фотопленки укладывают в верхней части листа эмульсией вниз и первым кадром влево. Каждый последующий размещают так же. В таком случае кадры пленки расположатся в хронологическом порядке «построчно» слева направо. Ранжировать пленки в хронологическом порядке удобнее не по негативам, а по листам контролек с использованием лупы. После этого необходимо маркировать листы контролек, а затем и конверты с фотопленками по единой системе. Например, в нижней части листа контрольного отпечатка отдельной фотопленки (предусмотрительно прикрытой при экспонировании и потому белой) подписывается фломастером или шариковой ручкой крупно порядковый номер пленки и мельче – год съемки. Куски пленки, печатаемые на контрольках однотипно, в маркировке не нуждаются. В левом верхнем углу каждого конверта фломастером подписывают: номер фотопленки, правее – год, ниже номера фотопленки – номер ее куска. Конверты с фотопленкой размещают в коробке вертикально и однотипно с соблюдением хронологической последовательности в пределах каждой пленки и всей их совокупности: у дальней стенки более ранние, у ближней – поздние. Так же укладывают в папку или пакет стопку контрольных отпечатков: внизу ранние, вверху более поздние. Это обеспечит быстроту поиска нужного кадра из многих тысяч, сделанных при полевой фоторегистрации.

Если при съемке параллельно используется несколько разноформатных фотокамер, то целесообразно выполнять хронологическое ранжирование фотонегативов и контролек из числа пленок, снятых каждой камерой. Параллельная съемка на разные камеры делает невозможной эту операцию в пределах всей совокупности фоторегистрации в течение полевого сезона. К тому же, фотопечать удобнее производить без постоянных переналадок увеличителя с одного формата на другой.
Способствует облегчению и ускорению работы с большим количеством материалов полевой фоторегистрации предварительная «привязка» некоторых ключевых кадров или их групп на «контрольках» по времени и по месту съемки. Пометки с датами, географическими названиями и номерами рабочих маршрутов удобно делать над кадрами или на неинформативных участках кадров, например с изображением неба. Имеет смысл помечать кадры, избранные для фотопечати. На контрольных отпечатках удобно производить предварительное проектирование монтажа многокадровых панорам с указанием порядковых номеров и разметкой границ взаимного перекрытия соседних кадров. Возможна также оценка качества стереоотображения стереопар, расположенных рядом и снятых с соблюдением правила «слева направо» (разд. 3.3.6.). В других случаях эта операция выполняется посредством вырезания одного кадра стереопары из листа контролек или изготовления дублей. При разномасштабной фоторегистрации какого-либо крупного объекта целесообразно «привязывание» кадров с крупномсаштабным изображением фрагментов к мелкомасштабным, например панорамным, легче опознаваемым на контрольках. Это делается с помощью линий, стрелок или обозначения номеров кадров (№ куска, № кадра).

Контрольки используются также для оценки фотографического качества негативов при фотопечати. По ним производят предварительное кадрирование снимков, определение условий экспонирования: величину выдержки при печати в сравнении с уже напечатанными, необходимость печатания отдельных частей кадра с разными выдержками, выбор подходящей по контрасту фотобумаги.

### 4.4.2. Приемы комплексного дешифрирования и фиксация результатов

Целью дешифрирования снимков явлется перевод фототонового и цветного изображения фотоландшафта в форму знакового и образного графического или словесного описания некой его части, соответствующей специфике исследований. Такую роль для палеосейсмогеологических исследований играют в первую очередь сами палеосейсмодислокации разных морфологических типов, а также некоторые элементы рельефа и геологического строения, важные с точки зрения генетической интерпретации дислокаций.

Особенность палеосейсмогеологического дешифрирования – это неизменность ранга основных изучаемых объектов при изменении масштаба исследований. Например, при ландшафтном или геологическом картографировании на основе дешифрирования космо- и аэроснимков с уменьшением масштаба карт, в соответствии с картографической генерализацией, растет таксономический ранг изображаемых объектов. А это позволяет (и вынуждает) использовать при уменьшении масштаба исследований вместо крупномасштабных средне- и мелкомасштабные источники дистанционной информации. При картографическом отображении палеосейсмогеологической информации либо роя палеосейсмодислокаций, либо отдельных дислокаций, либо сейсмоструктур, либо совокупности роев в виде зон, поясов, представляемых масштабными или внемасштабными картографическими знаками, требуется применение всего масштабного ряда дистанционной, полевой, визуальной и иной информации.

В масштабе космосъемки (среднего и высокого разрешения) возможно и целесообразно выполнение операций по обнаружению и предварительному изучению преимущественно гравитационной компоненты роев палеосейсмодислокаций. В масштабе аэросъемки наиболее продуктивно изучение роев и отдельных палеосейсмодислокаций, а также поиск менее фотогеничных из них. Масштаб полевых наблюдений и фоторегистрации обеспечивает обнаружение наименее заметных в фотоландшафте элементов роев палеосейсмодислокаций и изучение деталей их строения, важных для повышения достоверности генетической и сейсмологической интерпретации.

И все они в совокупности позволяют выявлять и изучать основные таксономические единицы палеосейсмогеологических исследований – рои палеосейсмодислокаций, являющиеся свидетельствами разрушительных древних землетрясений. Крупные – наиболее фотогеничные и мелкие – наименее заметные элементы роев практически в равной мере значимы для генетической и сейсмологической интерпретации всего роя. И, следовательно, при любом масштабе отображения палеосейсмогеологической информации необходимо использовать весь доступный масштабный ряд источников информации – в первую очередь визуальных. На первой стадии новой методики палеосейсмогеологических исследований – поиска преимущественно гравитационой составляющей роев – до изучения их по аэро- и наземным снимкам, фиксация и представление результатов дешифрирования вынужденно ограничиваются применением только мелкомасштабной космической информации и имеют самый предварительный характер. Изучение их в масштабе аэросъемки также не обеспечивает достаточную полноту и законченность результатов изучения и генетической интерпретации. И только использование материалов тщательно выполненной полевой фоторегистрации палеосейсмодислокаций, вместе с аэрокосмическими гарантирует достижение предельно доступного уровня полноты их характеристики и достоверности генетической интерпретации.

Фиксация результатов первого этапа исследований производится на картографической основе масштабов 1:1 000 000 - 1:500 000. На карту наносятся крупные предполагаемые гравитационные дислокации объемами 1 млн м<sup>3</sup> и более и крупные, выраженные в рельефе, тектонические и предполагаемые сейсмотектонические разрывные дислокации.

На стадии изучения палеосейсмодислокаций по аэроснимкам для фиксации результатов используется топографическая основа масштаба 1:100 000 - 1:25 000. Первый из них предпочтительнее для составления схем роев. Его желательно расценивать как универсальный, позволяющий сравнивать рои по размеру и морфологии. Более крупные масштабы полезны при изображении отдельных характерных сейсмоструктур. На этой стадии целесообразно построение блок-диаграмм и гипсометрических профилей крупнейших сейсмоструктур в достаточно крупных для выразительности изображения масштабах. Их, разумеется, необходимо квалифицивать в качестве рабочих, а не окончательных вариантов фиксации результатов изучения. Такие построения очень пригодятся на стадии полевой заверки. Они позволяют выявлять вопросы, требующие проверки и уточнения в полевых условиях, рационально планировать рабочие маршруты и фоторегистрацию, а в целом – оптимизируют дорогостоящую заверку.

Материалы полевой фоторегистрации дают возможность не только увеличить масштаб источников информации, используемых для представления результатов, но и расширить ассортимент готовой информационной продукции за счет включения в ее состав дешифрированных фотоснимков отдельных палеосейсмодислокаций, их фрагментов и сейсмоструктур. Достигаемое при полевой фоторегистрации максимальное разрешение в процессе изучения палеосейсмодислокаций способствует дополнению рабочих вариантов схем роев и сейсмоструктур мелкими, но существенными деталями, недоступными разрешению дистанционных методов, а также исправлению и уточнению положения и конфигурации значимых контуров изображений.

Дешифрирование наземных фотоснимков, как и аэрокосмических, наиболее информативно производится по стереомодели. Учитывая проекционный способ фотопечати снимков с мало- и среднеформатных негативов (с увеличением), не следует стремиться к получению больших форматов отпечатков стереопар, используемых для рабочего дешифрирования. Важно также согласовывать их с величиной базиса стереовоспроизведения стереоскопа. Для стереоскопа с 12-сантиметровым базисом оптимальным будет формат не более 18 см по стороне кадра, параллельной базису съемки. Более крупные, чем 5-кратные увеличения, не обеспечат повышение информативности стереоскопического дешифрирования. Практический предел разрешения может быть достигнут в комбинации 5-кратного увеличения при фотопечати с двухкратным – при наблюдении под стереоскопом. Крупный формат, к тому же, затруднит наблюдение в стереомодели всей структуры, изображаемой, в отличие от аэро- и космоснимков, в максимальном масштабе. При дешифрировании наземных снимков могут пригодиться стереоскопы с базисом воспроизведения до 18 и 21 см.

Результаты дешифрирования целесообразно фиксировать как на одном из снимков стереопары, так и на отдельном, более крупноформатном снимке или на многокадровой панораме. Как в первом, так и (особенно) во втором случае в качестве источников информации используются и другие, снятые в иных ракурсах и масштабах, стереопары дешифрируемого объекта. Весьма информативны цветные стереопары на слайдах, воспроизводимые посредством стандартного стереоскопа для наблюдения на просвет, оснащенного матовым стеклом. При этом также полезно «поглядывать» и на стереомодель с изображением объекта, получаемую на аэро- и даже космоснимках. Последнее особенно важно при дешифрировании наземных снимков самых крупных сейсмоструктур, например, таких, как Чул-300 и Улахан-Чистай-300. Для подобного разноракурсного и разномасштабного стереоскопического дешифрирования требуется сразу несколько стереоскопов с близкими масштабами изображения. Удобно размещать их на столе или столах с конфигурацией в виде буквы «П» для быстрого «заглядывания» то в один, то в другой стереоскоп. Необходимо и место для оперативного обращения за дополнительной информацией к топографическим и геологическим картам, полевым записям и др.

Полученные таким образом максимально информативные, детализированные и достоверные результаты дешифрирования сейсмоструктур и их фрагментов могут использоваться как самостоятельные иллюстрации, так и в качестве основного материала для дополнения, уточнения и исправления схем, блок-диаграмм и гипсометрических профилей, построенных на этапах предварительного изучения. Создание новых графических документов, фиксирующих результаты дешифрирования, на завершающих стадиях исследования предпочтительнее начинать с комплексного разномасштабного и разноракурсного стереоскопического дешифрирования наземных снимков.

После построения геометрического каркаса блок-диаграммы в аксонометрической проекции (вручную или на компьютере), представленного изображением линий водоразделов, тальвегов и линий перегибов склонов, детализацию рельефа и вписывание в него палеосейсмогеологической и геологической информации необходимо производить также с использованием метода комплексного стереоскопического дешифрирования разномасштабных и разноракурсных снимков – космо-, аэрои наземных. Выбор ориентировки и оценку информативности избранной проекции планируемой блок-диаграммы удобнее всего выполнять по стереомодели на спектрозональных космоснимках. В масштабе аэросъемки крупные сейсмоструктуры часто не помещаются в пределах одной стереопары. Посредством комплексного дешифрирования целесообразно осуществлять насыщение гипсометрических профилей сейсмоструктур палеосейсмогеологической и геологической информацией.

Основные приемы палеосейсмогеологического дешифрирования спектрозональных космоснимков, изложенные в разделах 4.2. и 4.3., пригодны и для аэроснимков. В целом дешифрирование аэроснимков, при условии знания специфики изучаемых объектов, не вызывает затруднений, так как их разрешение – в первые метры – обеспечивает восприятие, близкое к привычному. Так, при максимальных увеличениях даже не на самых крупномасштабных аэроснимках видны отдельные деревья и не только по светотеневому рисунку, но и по высоте в стереомодели.

В легенде схем роев палеосейсмодислокаций, в соответствии с их масштабом и необходимостью, могут и должны изображаться: выраженные масштабными знаками гравитационные сейсмогенные и субсейсмогенные дислокации разных морфологических типов (обвалы, оползни, обвальноосыпные конусы выноса); бровки стенок срыва и ниш отрыва гравитационных дислокаций; бровки крутых обвально-осыпных склонов; постсейсмогенные пролювиально-селевые конусы выноса; тектонические и предполагаемые сейсмотектонические дислокации, дифференцированные по степени выраженности в рельефе (со смещением и без него); предполагаемые гравитационно-тектонические сейсмодислокации (рис. 3).

На схемах роев палеосейсмодислокаций и сейсмоструктур помимо специальной информации должны изображаться важные геоморфологические элементы, а при возможности и необходимости – и фрагменты геологического строения. Каркас рельефа для привязки к нему палеосейсмодислокаций можно показывать в виде линейных и внемасштабных условных знаков водоразделов, тальвегов, горных вершин, а при крупных масштабах (более 1:100 000) и в виде разреженных горизонталей. Бывает полезным и необходимым отмечать на таких схемах выраженные в рельефе элементы аккумулятивной и денудационной ледниковой морфоскульптуры: конечно-моренные комплексы, древнеледниковые троги, которые могут быть использованы для иллюстрации пространственновременных соотношений с сейсмогенными формами рельефа.

Более крупный масштаб дешифрированных наземных фотоснимков отдельных дислокаций и сейсмоструктур позволяет существенно увеличить количество изображаемых элементов рельефа и геологического строения. Это могут быть знаки, характеризующие петрографию, литологию и гранулометрию коренных и рыхлых горных пород, геологические границы, элементы залегания геологических структур (рис. 11). К легенде сейсмогенных и постсейсмогенных образований добавляются

условные знаки подпрудных бассейнов седиментации, суффозионно-эрозионных каньонов и ложбин, аккумулятивных шлейфов, формирующихся из продуктов размыва сейсмогенных тромбов.

На блок-диаграммах сейсмоструктур показываются практически теми же условными знаками все геолого-геоморфологические элементы, характеризуемые на схемах роев и на дешифрированных наземных снимках. Прибавляются, пожалуй, только знаки для детализации рисовки формы крупных гравитационных дислокаций и штрихи для повышения пластичности отображения рельефа (рис. 9, 20, 44). На основе дешифрированных наземных фотоснимков могут вычерчиваться штриховые рисунки крупных дислокаций и сейсмоструктур с использованием той же системы условных знаков с добавкой некоторых элементов для компенсации потери пластичности изображения рельефа. Такие рисунки и блок-диаграммы предпочтительней полутоновых фотоснимков для технологий типографского тиражирования умеренного качества, но уступают им в степени документальности.

# 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ МЕТОДИКИ

### 5.1. Палеосейсмодислокации в сейсмическом поясе Черского

Результаты применения новой методики в этой преимущественно методической работе излагаются в сокращенном, сравнительно с уже полученными данными, объеме, достаточном для иллюстрации работоспособности предлагаемой методики. Они подразделяются на результаты регионально-сейсмогеологического и методического характера. Первые представляют собой описание выявленных по новой методике многочисленных палеосейсмодислокаций и сведения о закономерностях их строения и размещения; вторые являются производными от использования новой методики геолого-геоморфологическими и сейсмогеологическими методическими разработками, а именно: представление о сейсмоблоках (уже изложенное в разделе 3.9.) и новая методика морфоструктурного анализа с применением палеосейсмогеологических данных [Важенин, 1992 *a*, 1997].

## 5.1.1. Субпояс палеосейсмодислокаций Черского

Изученная юго-восточная половина этого субпояса (рис. 1) простирается в северо-западном направлении более чем на 800 км. Она совпадает с осевой частью горной системы Черского и с основным направлением сейсмического пояса Черского. Здесь насчитывается свыше 27 роев палеосейсмодислокаций. Семь из них изучено по аэроснимкам и полевыми методами.

Рой Тирехтях. Одним из наиболее интересных роев не только этого субпояса, но и всего региона является рой палеосейсмодислокаций Тирехтях [Важенин, 1988 *a*, 1992 *b*, 1993 *b*], расположенный в северо-западной части хр. Улахан-Чистай (рис. 1, 26). Крупнейшая сейсмоструктура в его составе – сбросообвал Улахан-Чистай-300 был, по-видимому, впервые обнаружен (при полевых исследованиях предположительно в 1 971 г.) и правильно интерпретирован в качестве сейсмодислокации Г.С.Гусевым [Мокшанцев и др., 1977]. Правда, высота обвала оценена им ошибочно – всего 50 м. На 50 м возвышается над уровнем подпрудного бассейна седиментации суффозионная ложбина – самая низкая часть тыльной грани обвала (рис. 22, 43, 47). К тому же, совершенно нет следов предполагавшегося образования крупного подпрудного озера и его прорыва с переливом через плотину. Повторное открытие обвала по космоснимкам, а вместе с ним и целого роя палеосейсмодислокаций произошло в 1 986 г. [Важенин, 1988 *a*]. Рой изучался с использованием всех доступных источников информации, предусмотренных тотальной методикой. Дважды – в 1 988 и 1 990 гг. – производилось полевое обследование с фоторегистрацией крупнейших и наиболее доступных дислокаций в сого пределах: Улахан-Чистай-300, Юрюн-Тас-50, малых обвалов, гравитационнотектонической и тектонических дислокаций в долинах р. Тирехтях и руч. Юрюн-Тас.

Обвал Улахан-Чистай-300 (рис. 21, 22) – один из двух крупнейших по объему в сейсмическом поясе Черского. Он имеет видимые горизонтальные размеры 1,1×2,3 км и высоту до 360 м над погребенным тальвегом долины руч. Юрюн Тас. Истинная длина обвала может достигать 3 км, так как его левый юго-восточный фланг погребен мощными отложениями подпрудного бассейна седиментации. Геометрическая форма обвального тела, описываемая кодом Э-КУ-h<sub>2-3</sub>IX (разд. 2.7.2.), позволяет характеризовать его в качестве высокодинамичного Т-образного обвала-надвига. Инерция обрушения блока в виде отрога-контрфорса (длиной около 1 км, шириной по основанию около 0,7 км и высотой более 1 км) правого борта долины руч. Юрюн-Тас с относительной высоты до 1 100 м была столь велика, что он вздыбился на противоположный склон узкой V-образной долины и ему не хватило лишь 40 м, чтобы частью обвальной массы преодолеть существенно более низкий левый водораздел. Несколько подробнее механизм формирования этого обвала описан в разделе 2.7.2.

Обвал сложен крупными, сильно трещиноватыми, но со сглаженными углами и ребрами глыбами протерозойско-кембрийских мраморов и мраморизованных известняков – таких же, как в стенке срыва (рис. 47); левый борт долины руч. Юрюн-Тас – гранитами мелового возраста. Трещиноватость глыб свидетельствует о высокодинамичном ударном их происхождении и исключает возможность ледниковой транспортировки или постгенетической обработки. Сглаженность, возникшая в результате выщелачивания поверхности карбонатных глыб атмосферными осадками, характеризует большой возраст дислокации – до тысячи и более лет.

Обвал сопряжен в генетически единую сейсмоструктуру с телескопированным сбросом (суммарной амплитудой до 150 м), деформировавшим правый водораздел долины вблизи ниши отрыва. Величина деформации определена измерениями по наземным фотоснимкам (рис. 47). Имеются основания для квалификации сбросовой структуры в качестве не только гравитационно-тектонической палеосейсмодислокации, то есть результата разрушительного землетрясения, но и – сейсмогенерирующего блока ЮРЮН-ТАС-3,3 (разд. 2.9., 2.11.) – близповерхностного источника сильного землетрясения с энергетическим классом не менее 13,9 и магнитудой не менее 6,2 [Важенин, 1996 *б*].

Возникновение обвального тромба в долине ручья II порядка вызвало формирование подпрудного бассейна седиментации с мощностью накопившихся к настоящему времени песчано-галечновалунных отложений до 140 м (рис. 22, 43), что также характеризует большой возраст завальной запруды – многие сотни – первые тысячи лет. Вода из подпрудного бассейна, после блуждания русел ручья по кругу по его поверхности, прорывается через собственные отложения и фильтруется сквозь завальную плотину на расстояние от 1 до 2 км с образованием суффозионных ложбин и суффозионно-эрозионных каньонов на контактах обвальной массы с коренными бортами долины. Следов перелива вод через завал и существования в прошлом крупного подпрудного озера не наблюдается, что свидетельствует о высокой степени дробления обвальных масс до размерности крупных глыб и мельче, обеспечивающей высокую водопроницаемость завальной плотины.

Второй по величине обвал роя – Юрюн-Тас-50 – обрушился из древнеледникового кара в истоке руч. Юрюн-Тас (рис. 22, 34). В рельефе стенки кара сохранились следы вреза обвальной ниши, сравнимой по объему с обвальным телом. Максимальные горизонтальные размеры обвального тела 1 300×600 м. Наибольшая мощность оценивается в 280 м. Сложный код геометрической формы – Э-Д-УП-h<sub>2-3</sub>V-VI характеризует его как высокодинамичный глыбовый обвал-поток с элементами веерности при общем эквидистантном (с поворотом по уклону долины) перемещении обвальной массы.

Обвал Юрюн-Тас-50 состоит из глыб гранитов мелового возраста, слагающих левый борт долины. Правый фланг обвала надвинулся на коренные карбонатные породы правого борта, что хорошо видно на рис. 35. Тело обвала на всю видимую мощность рассечено V-образным суффозионноэрозионным каньоном с несколькими отвершками и без постоянного поверхностного стока, но с пролювиально-селевым конусом выноса в его устье длиной до 1,5 км. Наиболее глубокие (свыше 100 м) нижняя и средняя части каньона полностью совпадают с простиранием крупнейшего в регионе разлома Улахан, проходящего в данном месте по контакту гранитов с карбонатными породами. На значительном протяжении он рассекает по оси хр. Улахан-Чистай. По нему выработалась долина руч. Юрюн-Тас, и он же, очевидно, явился причиной жесткой локализации подземного стока в обвальной толще, обусловившей формирование глубокого каньона.

Такое же постгенетическое рассечение более мощного обвала Улахан-Чистай-300, стимулируемое подвижками по разлому Улахан сбросо-сдвигового характера, еще не завершилось. Свидетельством продолжающегося процесса высокоэффективного суффозионно-эрозионного размыва служит каньон длиной около 1 км на правом фланге обвала, на его контакте с правым бортом долины, «целящий» вершиной в седловину, рассекающую на глубину 60 м тыльную грань обвала (рис. 22, 23, 43). Признаки левого сдвига хорошо видны в стереомодели на космоснимках по деформации водоразделов и низкопорядковых долин в хр. Улахан-Чистай. Сбросовая или взбросовая составляющая тектонических подвижек, наряду со сдвиговой, зафиксирована в ориентировке зеркал скольжения в бортах долины руч. Юрюн-Тас ниже обвала Улахан-Чистай-300 (рис. 48).



Рис. 48. Сбрососдвиг в подножьи правого борта долины руч. Юрюн-Тас (рой Тирехтях) – один из многочисленных элементов зоны разлома Улахан в пределах роя. Ориентировка штрихов на обширных зеркалах скольжения по карбонатным породам указывает на приблизительное равенство вертикальной и горизонтальной составляющих в векторе смещения

В распределении дислокаций по площади сравнительно небольшого роя Тирехтях размером 14×8 км наблюдается довольно ярко выраженная закономерность (рис. 26). В центре располагается крупнейшая сейсмоструктура в составе сейсмоблока ЮРЮН-ТАС-3,3 и сбросообвала Улахан-Чистай-300 (рис. 22). К периферии роя резко убывают крупность обвалов и густота тектонических дислокаций и сейсмодислокаций. В размещении дислокаций проявляется удлиненность роя вдоль разлома Улахан. Львиная доля крупных обвалов сосредоточена под юго-западными и северовосточными склонами правого водораздела руч. Юрюн-Тас, сложенного поднятыми по разлому протерозойско-кембрийскими и ордовикскими мраморами и известняками. В юго-западной половине роя, с обнажающимися меловыми гранитами и юрскими вулканогенно-осадочными породами, обвалы малы и единичны. Там количественно преобладают обвально-осыпные шлейфы и конусы выноса. Обвалы полностью исчезают за пределами роя на северо-западном и юго-восточном флангах разлома Улахан – за долиной р. Тирехтях и истоками руч. Шумный, несмотря на сходство этих участков с роем по геолого-геоморфологическому строению и на равенство обвального потенциала. Четко выраженные в рельефе тектонические границы по этим долинам вместе с разломом Улахан и уступом у северо-восточного подножья хр. Улахан-Чистай ограничивают наиболее высокодинамичный блок в пределах роя Тирехтях, сложенный среднепротерозойско-нижнепалеозойскими карбонатными толщами. Взбросо-сдвиговые подвижки его послужили, по-видимому, причиной телескопированной сбросовой (и, вероятно, резкой) просадки (сопровождавшейся излучением сейсмической энергии) сравнительно небольшого сейсмоблока ЮРЮН-ТАС-3,3, граничащего с менее подвижным юго-западным блоком роя (сложенным мезозойскими породами) и отделенного от него разломом Улахан.

Магнитуда роя Тирехтях, подсчитанная по формуле В.С.Хромовских и Л.Г.Обуховой [1989] на основе длины зоны сейсмогенных разрывов (16 км), составила 6,9, по формуле для величины площади (276 км<sup>2</sup>) роя [Adams, 1981] – 7,1. Глубина очага древнего землетрясения оценивается как меньшая средней (не более 10-15 км) на основе отмеченного факта резкого убывания величины и количества дислокаций к периферии сравнительно небольшого по площади роя. Возраст роя Тирехтях около 4 тыс.лет. Он определен радиоуглеродным датированием (М.А.Трумпе, А.В.Ложкин и др.) древесных остатков, погребенных одним из малых обвалов роя и вскрытых затем боковой эрозией р. Тирехтях. Этой дате не противоречат признаки постгенетической эволюции крупнейших дислокаций роя и ярко выраженные морфологические результаты постсейсмической адаптации литосборов.

Рой Елау. На расстоянии около 10 км от роя Тирехтях в северной ветви горной цепи Елау располагается одноименный рой палеосейсмодислокаций (рис. 1, 26). Он выявлен по космоснимкам в 1 986-1 987 гг. [Важенин, 1992 б]. В 1 990 г. заверены полевыми работами изученные ранее по аэроснимкам все его крупнейшие дислокации: обвалы Угловой-38, Сквозняк-23, Сыгынах-14, Сыгынах-9, сейсмоблоки БЁДЁНГ-1, СКВОЗНЯК-0,125, тектонические сейсмодислокации, в том числе сбросовые уступы и сейсмотектонические расщелины в древнеледниковых цирках Угловой, Сквозняк, Бёдёнг, Сыгынах, на левом водоразделе приустьевой части руч. Угловой.

Рой включает пять крупных обвалов объемами от 5 до 38 млн м<sup>3</sup> и около 10 малых (рис. 26). Все они располагаются в пределах Чугулуккского гранитного массива мелового возраста, слагающего горную цепь Елау, и, естественно, сложены из гранитных глыб. Крупнейшая гравитационная дислокация роя – Угловой-38 (рис. 27, 28) состоит из двух частей, сомкнутых воедино, но различающихся морфологически. Южная часть объемом около 24 млн м<sup>3</sup>, залегает под тыльной дугообразной в плане стенкой древнеледникового кара. Конвергентность литосбора определила караваеобразность формы этой части обвала, а переменный уклон субстрата при высоте стенки срыва 400 м – некоторую распластанность в север-северо-восточном направлении (К-УП-ГС-h<sub>1-2</sub>V).

В подпрудном бассейне седиментации под стенкой срыва располагаются два небольших озерка. Это, наряду с характерным изменением крутизны продольного профиля обвального тела, может служить свидетельством скорее наличия положительного перегиба в уклоне коренного субстрата, нежели неполноты дробления обвалившегося блока. На стыке южной и северной частей обвала Угловой-38 образовалась суффозионная ложбина, выраженная в верхней части в виде неглубокого каньона с постоянным стоком воды. Сток из озер осуществляется также по не вполне сформировавшемуся суффизионно-эрозионному каньону на правом фланге обвала.

Форма северной части обвала Угловой-38 объемом около 14 млн м<sup>3</sup>, залегающего под прямой в плане протяженной и невысокой (250 м) стенкой срыва в левом борту кара, описывается кодом Э-УП-h<sub>1</sub>V. На коренных гранитах в стенке срыва сохранились зеркала скольжения с вертикальными бороздами. В подножии ее, в не погребенной скудными отложениями части подпрудного бассейна седиментации, обнажаются интенсивно дислоцированные угловатые гранитные блоки. Сток из подпрудного бассейна северной части обвала Угловой-38 происходит по неглубокому суффозионноэрозионному каньону вблизи ее левого фланга.

Равная сглаженность углов и ребер глыб, равная развитость на них накипных лишайников и равная эрозионная расчлененность обеих частей обвала Угловой-38 свидетельствуют в пользу его единства, а также о возрасте в первые тысячи лет. Других возможностей, кроме признаков постсейсмической эволюции обвального литосбора, для точного определения возраста дислокаций роя Елау, пожалуй, нет. Максимальные горизонтальные размеры всего обвала около 2×0,8 км, наибольшая мощность, определенная по гипсометрическому профилю, – около 80 м.

Древнеледниковый кар с вложенным в него обвалом Угловой-38 рассечен сбросом югозападного простирания с амплитудой на северо-восточном фланге около 10 м. Направление смещения здесь ясно выражено в обширных зеркалах скольжения хорошей сохранности по гранитам (рис. 49). Другой разлом длиной более 7 км пересекает пять смежных древнеледниковых каров, в которых залегают другие крупные гравитационные дислокации роя. На разных участках этот разлом выражен различно – то в виде сброса, то – серии расщелин, то – ступенчатого сброса, а то в виде разлома без заметных следов смещения по нему.

Среди других обвалов роя заслуживает особого внимания Сыгынах-14 (рис. 29) с максимальными размерами 1 200×500×80м. Обвальное тело с кодом формы Э-УП-h<sub>2-3</sub>V-VI соизмеримо по объему с нишей отрыва высотой около 300 м, выделяющейся крутизной на фоне выположенных бортов распадка, в устье которого оно залегает. Особенностью этого обвала является большой отрыв от вершины стенки срыва на 1 000 м, от ее подножья – на 500 м. Фронтальной частью обвальное тело вырвалось за пределы распадка на выположенный педимент у подножья гор Елау. Вытянутостью в виде потока, резкой выпуклостью в поперечном сечении на фоне плоского педимента, наличием крупных поперечных валов это тело напоминает каменный глетчер. Однако значительный отрыв его от стенки срыва, отсутствие изгиба валов в направлении движения и отсутствие подновления круго-го фронтального уступа не позволяют интерпретировать это тело в качестве каменного глетчера.



Рис. 49. Сбросовые деформации в рое Елау, рассекающие правый борт верховьев долины руч. Угловой, сглаженный древним ледником, и обвал Угловой-38 (рис. 26, 27)

Все его морфологические особенности непротиворечиво объясняются высокодинамичным единовременным обрушением всей обвальной массы, имевшей такую большую инерцию движения, которая не позволила удержаться огромному потоку глыб на наклонном до 15° днище распадка, отчего поток быстро сместился всей массой на педимент, где фронтальная часть начала затормаживаться резким уменьшением уклона – до 6°. При этом продолжающие движение по инерции задние эшелоны потока вызвали сморщивание его поверхности с образованием прямых в плане поперечных валов. Поверхность педимента перед фронтальным уступом на удалении до 3 км от вершины стенки срыва усеяна крупными угловатыми и трещиноватыми глыбами размерами до 5-10 м. Данный глыбовый разлет образовался, по-видимому, при разрушении крупных скальных блоков, перемещавшихся с наивысшей скоростью в самых верхних слоях глыбового потока. В результате резкой остановки основной массы потока эти самые крупные скальные блоки продолжили движение по типу разлета с перекатыванием и подскоками при ударах о жесткий субстрат, дробясь до размерности крупных и сверхкрупных глыб.

В верховьях руч. Сквозняк обследована довольно четко выраженная в рельефе блоковая просадка устьевой части древнеледникового кара относительно его бортов – сейсмоблок СКВОЗНЯК-0,125 (рис. 26). Минимальные видимые размеры дислокации около 0,5 км. Она, вероятно, имеет продолжение к югу, где погребена крупным обвалом Сквозняк-23. В ступенчатых уступах юговосточного ограничения сейсмоблока наблюдаются зеркала скольжения. В результате его просадки образовалось небольшое озеро диаметром около 75 м, ограниченное скальными берегами. В левом борту кара в западную границу блока утыкается серия из трех резких, неглубоких расщелин, контрастирующих со сглаженным постледниковым рельефом склона.

Сейсмоблок БЁДЁНГ-1 имеет в северной половине ограничивающего контура четкие сбросовые уступы высотой до 20 м с обширными зеркалами скольжения по гранитам (рис. 50). Сбросы сопряжены с расщелинами длиной до 2 км. Границы блока в южной части погребены несколькими не-крупными обвалами.



Рис. 50. Сбросовый уступ, ограничивающий с запада палеосейсмоблок БЁДЁНГ-1 (*Б-1*) в рое Елау. Штрихи на обширных зеркалах скольжения по гранитам указывают вертикальное направление смещения

Рой Елау, если ограничивать его главным образом крупными обвалами, представляет собой очень компактное образование длиной всего около 10 км с весьма высокой плотностью дислокаций, связанных воедино системой субширотных разломов в сочетании с менее протяженными оперяющими. При этом они практически полностью исчезают за пределами этого сравнительно короткого отрезка горной цепи Елау. Однако площадь роя, вероятно, несколько больше. Он почти по всему периметру ограничен резкими, врезанными в сглаженные ледником поверхности, долинами рр. Чугулукка-Юрюе и Мэльтэх-Юрюе. Это подтверждается расположением на разомкнутых участках контура, вне долин, малых гравитационных дислокаций (в восточной части роя) и расщелин на пологом водоразделе к западу от устья руч. Угловой. Отсутствие гравитационных дислокаций на периферии роя (при наличии тектонических) объясняется недостаточным там обвальным потенциалом. Еще больший обвальный потенциал северных склонов южной и более высокой ветви горной цепи Елау (до 2 547 м) не реализовался в виде формирования крупных гравитационных дислокаций, что служит основанием для проведения южной границы роя по верховьям р. Чугулукка-Юрюе.

При географической близости роев Елау и Тирехтях правомерен вопрос о их пространственном и временном единстве или разобщенности. Между ними расположена небольшая Балыкская впадина с недостаточным для образования гравитационных дислокаций обвальным потенциалом. Но в ее пределах нет и тектонических дислокаций северо-восточного простирания, которые могли бы служить основанием для объединения роев. Нет даже малых гравитационных дислокаций на юго-западных склонах хр. Улахан-Чистай, обладающих высоким обвальным потенциалом. Более того, крупные разломы, рассекающие Балыкскую впадину, простираются в северо-западном направлении и дополнительно обеспечивают геодинамическую автономность участков в пределах двух роев. Таким образом пространственно они изолированы, а для суждения о их синхронности или разновременности нет приемлемых по точности датировок роя Елау.

Возраст отдельных гравитационных дислокаций и роя, в целом оцениваемый по признакам постсейсмической адаптации обвальных литосборов, составляет первые тысячи лет. Магнитуда сейсмического события, вызвавшего образование роя Елау, определенная по длине зоны сейсмогенных разрывов (15 км) и по площади роя (105 км<sup>2</sup>), имеет одно и то же значение 6,9. Компактное расположение весьма крупных гравитационных и иных дислокаций на небольшой площади роя расценивается как свидетельство незначительной глубины очага, породившего их землетрясения – не свыше 10-15 км.

**Рой Нючага**. Отдельные его дислокации выявлены на космоснимках в 1 987 г., изучены и закартированы по аэроснимкам в 1 988 г.; в 1 989 г. заверены полевыми работами практически все значимые дислокации роя [Важенин, 1989 *в*, 1992 *б*].

Этот рой (рис. 1, 51), так же как и Тирехтях, тесно связан с региональным разломом Улахан. Все его немногочисленные гравитационные дислокации, в том числе две крупные – Нючага-12 и Констант-2,6 – лежат непосредственно на линии разлома, выраженного в рельефе на данном участке в виде резкого уступа высотой до 400-750 м, разделяющего Омулевское Среднегорье и Момскую впадину. Длина маркированной обвалами части разлома и, вероятно, активизированной при землетрясении, породившем эти и другие дислокации, не превышает 9 км. Вне ее нет гравитационных дислокаций, за исключением многочисленных обвально-осыпных конусов выноса, несмотря на не меньшую, а местами и большую, величину обвального потенциала соседних участков.



Рис. 51. Рои палеосейсмодислокаций Нючага и Дарпир в Омулевском среднегорье: буквы *H*, *K*, *ДC*, *Д*, *П*, *O* в индексации дислокаций означают их названия, соответственно: Нючага, Констант, Дарпир-Сиен, Дарпир, Пропасть, Омулевка

Оба крупных обвала – Нючага-12 и Констант-2,6 – имеют одинаковую сегментную форму с субгоризонтальной тыльной гранью (Э-ГС-h<sub>2-3</sub>II). Они сложены мелкими глыбами и щебнем терригенно-карбонатных палеозойских пород, не образующих крупных обломков, что затрудняло генетическую интерпретацию предполагаемых гравитационных дислокаций по аэроснимкам и их обнаружение на космоснимках из-за морфологического сходства с выступами коренных пород, нередкими у подножья уступа разлома Улахан. Обвал Нючага-12 имеет максимальные размеры до 1 000 м по фронту, до 450 м – по падению и мощность до 60 м. Поверхность его рассечена двумя суффозионными ложбинами, переходящими в каньоны, по которым осуществляется сток из блокированного правым флангом обвала бассейна малого водотока и из подпрудного бассейна седиментации под стенкой срыва. Обвал Констант-2,6 (рис. 52) состоит из трех плотно сомкнутых сегментов. Средний из них – наибольший. Левый и правый имеют меньшие размеры, соответствующие снижению высоты стенки срыва от ее центра к флангам и пропорциональному уменьшению объемов обрушившихся фланговых масс в условиях их пластовой исходной формы. Общая длина по фронту трехсегментного и, очевидно, единого обвала Констант-2,6 достигает 750 м, размер по падению – 280 м, мощность – до 50 м.



Рис. 52. Трехсегментный палеосейсмообвал Констант-2,6 роя Нючага в Омулевском среднегорье

На флангах обвала Констант-2,6 водоразделы рассечены глубокими и резкими расщелинами, полностью совпадающими с осью разлома Улахан. Таких расщелин, заложившихся непосредственно на разломе Улахан, на всем его протяжении в Омулевском Среднегорье, больше нет. Из других тектонических дислокаций в пределах роя имеются только многочисленные короткие трещины, благодаря денудационной препарировке которых возникли сейсмогенные или субсейсмогенные обвальноосыпные конусы выноса. Границы роя проведены с учетом резкого убывания их концентрации к юго-западу от верховьев р. Нючага и к юго-востоку от долины руч. Констант.

Магнитуда, вычисленная по длине сейсмически активизированного разлома (9 км), составила 6,6, по площади роя (60 км<sup>2</sup>) – 6,8. Минимальный возраст роя, определенный дендрохронологическим методом – 350 лет, а возраст, оцениваемый по признакам постсейсмической эволюции обвальных литосборов, – не менее первых тысяч лет. Глубина очага оценивается, по характеру распределения дислокаций в пределах небольшого роя, как не превышающая 10-15 км.

Рой Дарпир. Его многочисленные дислокации выявлены по космоснимкам в 1 987 г., закартированы по аэроснимкам в 1 988 г. В этом же году заверены полевыми работами тектонические и малые гравитационные дислокации в бассейнах притоков р. Омулевка ручьев Пропасть, Бизон, Сандуган. В 1 989 г. изучены полевыми методами дислокации в восточном борту Дарпирской впадины, в долинах р. Дарпир-Юрях и руч. Пропасть [Важенин, 1989 *в*, 1992 *б*].

Рой палеосейсмодислокаций Дарпир (рис. 1, 51), также как и рой Нючага, располагается в пределах тектонического клина, отсеченного уступом разлома Улахан от северо-восточной части Омулевского поднятия, сложенного палеозойскими, главным образом, терригенно-карбонатными породами и отсеченного на юго-западе от верхояно-колымских мезозоид не менее высоким и резким уступом разлома Дарпир (оперяющего по отношению к Улахану).

В рое Дарпир почти все крупные гравитационные дислокации (Омулевка-3, Дарпир-1, Дарпир-Юрях-4,5) и половина от общего количества малых обвалов приурочены к юго-западной границе, обусловленной разломом Дарпир. Другие обвалы, но уже только малые, расположены большей частью вдоль юго-восточной границы, трассирующейся вблизи долины прорыва р. Омулевка сквозь Омулевское Среднегорье и вдоль северо-восточной границы, проходящей по разломам неподалеку от водораздела ручьев Омука, Пропасть и Бизон с водотоками Нючага, Харкинджа и Мокрый. Тектонические дислокации в виде разломов преимущественно северо-западного простирания (длиной 1-2, редко до 5 км), маркированных многочисленными обвально-осыпными конусами выноса и шлейфами, также большей частью сосредоточены вдоль границ роя. Наименее насыщенный дислокациями центр роя приходится на верховья ручьев Кривун, Связной, Аполлон. Северо-восточной периферией рой Дарпир приближается к рою Нючага, но между ними имеется достаточно выдержанная по ширине пограничная полоса, практически лишенная гравитационных, тектонических дислокаций и даже обвально-осыпных конусов выноса. На смежных участках, за другими границами, дислокации всех морфологических типов также полность исчезают.

Для обвалов в Омулевском Среднегорье характерна небольшая величина, что объясняется, вероятно, литологией терригенно-карбонатных пород, из которых не образуются при тектоническом дроблении и выветривании крупные обломки. Этому же способствует, по-видимому, и очень высокая степень тектонической дислоцированности Омулевского поднятия, в связи с чем за счет болееменее равномерного удаления неустойчивых масс с крутых склонов постоянно снижается их обвальный потенциал.

Почти все крупные обвалы роя Дарпир имеют одинаковую сегментную форму (Э-ГС-h<sub>2-3</sub>II), обусловленную обрушениями пластовых масс на субгоризонтальный субстрат. Они сложены мелкими трещиноватыми глыбами и щебнем терригенно-карбонатных пород. При этом долина р. Дарпир-Сиен выстлана древнеледниковыми отложениями с обнажающимися на речных перекатах гранитными валунами, принесенными сюда позднеплейстоценовыми ледниками из юго-восточной части хр. Улахан-Чистай. Обвал Дарпир-1 рассечен суффозионно-эрозионным каньоном. Дарпир-Сиен-4,5 (рис. 13) сопряжен с целой серией более мелких обвалов на его флангах общей длиной по фронту около 1,7 км.

В приустьевой части долины руч. Пропасть расположена любопытная, по-видимому, сейсмогенная структура (рис. 53). Ее центральная часть имеет вид коренной террасовидной поверхности, лишенной аккумулятивного чехла, размерами 350×100 м, высотой 10-30 м, рассеченной на семь блоков почти ортогональной сеткой V-образных в поперечном сечении расщелин. Она расположена в расширенной части долины руч. Пропасть, имеющей в низовьях облик теснины шириной в первые метры по днищу, местами даже сужающейся к верху. Обособление этого террасовидного тела в качестве положительной формы рельефа, вложенной в отрицательную (в долину), произошло, повидимому, в результате ее компенсационного выжимания из недр при малоамплитудном опускании соседних значительно более крупных блоков (в бортах долины), расположенных в средней части отрицательной Бизонской морфоструктуры центрального типа, хорошо выраженной в рельефе на многозональных космоснимках номинального масштаба 1:1 000 000.

Возможность вертикальных движений сейсмического характера в пределах кольцевой морфоструктуры подтверждается некоторыми геоморфологическими аномалиями. В качестве одной из них можно назвать наличие только в пределах этой структуры и в непосредственной близости от нее округлых расширений днища долины р. Омулевка, диаметром до 0,5-0,6 км, врезанных в цокольную террасу с высотой нижней ступени (прослеживающейся почти на всем протяжении долины прорыва Омулевки сквозь Омулевское Среднегорье) 25-30 м и чередующихся с участками сужений в виде теснин шириной до 5-10 м. На поверхности террасы залегают аллювиальные или флювиогляциальные галечники мощностью до 5 м и гранитные валуны, принесенные позднеплейстоценовым ледником из хр. Улахан-Чистай, находящегося на расстоянии около 30 км. В постледниковое время терраса только в пределах кольцевой морфоструктуры была сильно деформирована (с амплитудой вертикальных перемещений до 50 м и более) и расчленена на разновысотные блоки. Самые низкие из них совпадают с участками расширений, высокие сжимают долину с образованием теснин. В целом они гармонируют с концентрическим рисунком поднятых и опущенных колец и дуг морфоструктуры.



Рис. 53. Геоморфологически аномальная структура Пропасть роя Дарпир в Омулевском Среднегорье – предположительно гравитационно-тектоническая сейсмодислокация, сформированная, по-видимому, посредством компенсационного выжимания тектонического клина в центре Бизонской морфоструктуры центрального типа

Высокую геодинамическую активность ее подтверждает и концентрация здесь около десятка малых обвалов объемами большей частью значительно менее 1 млн м<sup>3</sup>. Крупнейшие из них Бизон-0,6 и Бизон-1,2 залегают в непосредственной близости от структуры Пропасть. Первый имеет сегментную форму (Э-ГС-h<sub>2</sub>II), второй – вид веерного обвала-потока (Д-УП-h<sub>3</sub>V-VI). Отсутствие аллювия на поверхности террасовидного тела в долине руч. Пропасть можно объяснить защищенностью ее от аккумуляции наледью, заполняющей все межблоковое пространство. Существенный вклад в формирование специфики рельефа и палеосейсмодислокаций в роях Нючага и Дарпир вносит сложение Омулевского поднятия из карстующихся терригенно-карбонатных пород.

Магнитуда роя Дарпир, вычисленная по длине зоны сейсмогенных разрывов (45 км), составляет 7,3, по величине площади роя (675 км<sup>2</sup>) – также 7,3. Возраст, определенный дендрохронологически для обвала Дарпир-1, превышает 450 лет, оцененный по признакам постсейсмической адаптации обвальных литосборов до тысячи и более лет. Значительная площадь роя, малая величина палеосейсмодислокаций, их довольно равномерное распределение в пределах роя могут свидетельствовать о глубине очага голоценового землетрясения, вызвавшего образование дислокаций, – не менее 15 км. Концентрирование дислокаций главным образом вдоль границ роя и их практически полное исчезновение за ними, вероятно, объясняется существенной геодинамической автономностью морфоструктурного блока, маркированного палеосейсмодислокациями.

Рой Дарпирчик. Дислокации роя обнаружены по космоснимкам в 1 987 г., закартированы по аэроснимкам в 1 989 г. В том же году исследованы и заверены полевыми работами крупные гравитационные дислокации в сквозной долине Дарпирчик-Омчик и сейсмоблоки ДАРПИРЧИК-11, ОХОТНИЧИЙ-1,5 [Важенин, 1992 б].

Подножье южного борта сквозной долины в водоразделе руч. Дарпирчик (бас.Рассохи) и руч. Омчик (бас. Омулевки) на протяжении 3 км погребено сплошной чередой сегментных, сомкнутых на флангах обвалов мощностью до 100-200 м (рис. 1, 15, 31). Морфологически из этого обвального шлейфа можно выделить несколько более-менее обособленных тел объемами: 20, 7, 3,5, 1 млн м<sup>3</sup>. Они, скорее всего, представляют собой генетически единый многосегментный обвал Дарпирчик-40 с кодом формы (Э-УП-h<sub>1-2</sub>V). Извилистость фронтального уступа, создающая впечатление множественности обвалов, возникла, вероятно, из-за неравномерности фронтального распределения по-

тенциальных обвальных масс в стенке срыва, ее переменной высоты и различной степени тектонической раздробленности кореннных пород к моменту обрушения. О многофазности обрушений могли бы свидетельствовать налегания обвальных тел друг на друга, но таких фактов нет. Под северным бортом сквозной долины обвалов меньше, они не сомкнуты на флангах и объемы их меньше – до 1 млн м<sup>3</sup>.

Наиболее крупная часть обвала Дарпирчик-40 объемом около 20 млн м<sup>3</sup> погребла не только подножье правого борта, но и коренной тальвег долины безымянного притока руч. Дарпирчик, подпрудив ее. Выше завала сформировался подпрудный бассейн седиментации длиной 500 м и шириной 100 м. На контакте коренного левого борта и фронтального уступа образовался суффозионноэрозионный каньон с поверхностным стоком воды.

Дарпирчик-40 состоит из остроугольных трещиноватых глыб и щебня, причем на левом фланге, под склоном г. 1 778 м, сложенной гранитами, обломочный материал только гранитный, а остальная часть обвала, залегающая под склоном, выработанным в алевролитах, сформирована из обломков алевролитов. Трехкилометровый обвальный шлейф деформирован в некоторых местах суффозионными ложбинами. Гравитационные толщи местами налегают на отложения выположенных валов древнеледниковых морен, представленные преимущественно окатанными обломками разного петрографического состава. Другие многочисленные гравитационные дислокации роя в долинах ручьев Охотничий, Дарпир-Сиен, Буян имеют объемы меньше 1 млн м<sup>3</sup>, редко – до 5 млн м<sup>3</sup>.

В западной части сквозной долины располагается аккумулятивное тело размерами 1×0,5 км, морфологически сходное с каменным глетчером, состоящее из петрографически разнородного обломочного материала, имеющее на поверхности выпуклые в сторону падения дугообразные валы, а также другие признаки, свидетельствующие о медленном движении ледово-каменной массы, в том числе – подновление (осыпание) фронтального уступа. Этот предполагаемый каменный глетчер, вероятно, возник за счет цементации льдом крупного обвала-потока. Кроме этого, обследованного в поле каменного глетчера, в пределах роя имеется еще одно - два подобных, не заверенных полевыми наблюдениями образования.

С гравитационными дислокациями в рое Дарпирчик связаны аномально многочисленные тектонические нарушения, часто выраженные в рельефе в виде резких уступов и расщелин. Они рассекают коренные склоны и водоразделы, морены, а иногда и обвальные тела. Широтно ориентированная сквозная долина Дарпирчик-Омчик деформирована вместе с ее склонами и водораздельными поверхностями удлиненным в северо-западном направлении сейсмоблоком типа матрешки (разд. 2.9.) ДАРПИРЧИК-11-2 с горизонтальными размерами 5×1,5 км.

В левом водоразделе долины руч. Дарпирчик вблизи устья руч. Охотничий выявлен еще один сейсмоблок ОХОТНИЧИЙ-1,5, опущенный по сбросам с перекосом к северо-востоку. Северовосточная его граница выражена в виде сочетающегося с расщелиной (глубиной до 10 м), сброса с амплитудой 4 м (рис. 54).

Контур роя имеет вид клина длиной около 13 км и шириной до 7 км, направленного к северозападу – в долину руч. Буян. В эту же сторону убывают количество и величина гравитационных и тектонических дислокаций. Магнитуда роя, вычисленная по длине зоны сейсмогенных разрывов (13 км) и по величине площади роя (52 км<sup>2</sup>), составила 6,8. Возраст дислокаций, определенный по образцам кедрового стланика с обвала Дарпирчик-40, превышает 580 лет, а оцененный по признакам постсейсмической адаптации литосборов – до тысячи и более лет. Характер распределения дислокаций в пределах небольшого по площади роя (концентрация сбросов, расщелин и крупнейших обвалов вблизи сейсмоблоков, резкое убывание и исчезновение их количества при удалении от этих структур) можно расценивать как свидетельства малой глубины очага древного землетрясения – до 15-10 км и даже как основание для суждения о том, что источником его могла быть резкая просадка сейсмоблока ДАРПИРЧИК-11.

В 7 км к юго-западу от роя, за широкой долиной р. Кунтук (Кунтэк) на левобережье Омулевки располагается участок размером 6×3 км (рой предполагаемых палеосейсмодислокаций Молиджак) с аномально густой сетью глубоких расщелин, рассекающих пологие низкие междуречья Молиджака с Кунтуком и Сетаньей. Обвальный потенциал склонов в пределах этого роя, пока не заверенных тектонических палеосейсмодислокаций недостаточен для образования крупных гравитационных

дислокаций. Недостаточна для этого и величина магнитуды возможного древнего землетрясения – несколько менее 6,5, вычисленная по длине зоны разрывов и чуть более 6,5 – по площади роя.



Рис. 54. Сброс в сочетании с расщелиной в левом борту долины руч. Дарпирчик в северо-восточном ограничении палеосейсмоблока ОХОТНИЧИЙ-1,5 (*OX-1,5*) роя Дарпирчик

На расстоянии до 10 км к северу от роя Дарпирчик в бассейнах верховий pp. Улахан-Нагаин, Дарпир-Юрях и Кунтук имеются предполагаемые, пока слабо изученные, главным образом некрупные гравитационные палеосейсмодислокации. Они пространственно разобщены с роем Дарпирчик и, по-видимому, составляют самостоятельный рой (Улахан-Нагаин).

Рой Арга-Тас. Малые гравитационные дислокации роя Арга-Тас в одноименном хребте Момских гор выявлены в 1 989 г. при предполевом дешифрировании аэроснимков (рис. 1). Крупнейший из известных на сегодня обвалов роя – Сахарымнан-10 обнаружен в ходе полевых работ в том же году. При этом выполнена полевая заверка дислокаций, расположенных в долине р. Рассоха на участке Арга-Тасской «трубы» [Важенин, 1997; Важенин и др., 1997].

Подножье западного склона позднемелового гранитного штока [Терехов, Дылевский, 1988], рассеченного надвое долиной р. Рассоха в верховьях Арга-Тасской «трубы», прикрыто серией из нескольких обвалов объемами около 0,5 млн м<sup>3</sup>. Они имеют большей частью сегментную форму (Э-УП-ГС-h<sub>2</sub>II-V). Размеры крупнейшего из них – Южный-0,6 (рис. 55) составляют до 340 м по фронту, до 150 м по падению при мощности до 40 м. Стенка срыва нечеткая, переработана выветриванием и склоновыми процессами, рассечена несколькими тектоническими рытвинами, служащими источником обломочного материала для свежих селевых выносов, деформирующих тыльную грань обвала.

На правом фланге к обвалам примыкает участок аномально высокой концентрации коротких трещин, сбросов и расщелин, группирующихся в виде почти ортогональной сетки в правом борту входной части Арга-Тасской «трубы» (рис. 55). Левый борт, сложенный теми же гранитами, рассечен субмеридиональными трещинами, препарируемыми селями и снежными лавинами.

Обвал Сахарымнан-10 пространственно изолирован от других гравитационных дислокаций роя. В явном виде он не связан с ними и посредством разломов. Размеры его по фронту – до 600 м, по падению – до 400 м, мощность – до 120 м. Высота стенки срыва – до 1 000 м. Исходная сегментная форма обвала (Э-ГС-h<sub>2</sub>II) несколько преобразована боковой эрозией Рассохи при паводках и суффозионно-эрозионным каньоном, рассекающим его на две равные части и совпадающим с разломом в стенке срыва.



Рис. 55. Свежие тектонические и гравитационные дислокации гранитного штока при входе р. Рассоха в Арга-Тасское ущелье в пределах роя Арга-Тас; *а* – общий вид, *б* – обвал Южный-0,6 (*Ю-0*,6)

Рой недостаточно изучен полевыми и дистанционными методами. Без полевой заверки не возможна генетическая интерпретация нескольких крупных аккумулятивных тел размерами до 1×0,5 км, залегающих в труднодоступных карах вблизи высшей вершины хр. Арга-Тас, – г. 2 400 м. Форма и геоморфологическое положение позволяют интерпретировать их неоднозначно: либо как бронированные поверхностной мореной каровые ледники, либо как каменные глетчеры, либо как обвалы-потоки. В последнем случае площадь роя может существенно возрасти, в связи с чем изменится и оценка магнитуды. Возраст дислокаций, определенный дендрохронологически по кедровому стланику с обвала Южный-0,6, превышает 380 лет. Признаки постсейсмической адаптации обвальных литосборов позволяют оценить его величиной до тысячи и более лет.

Рой Гармычан. Некоторые его гравитационные дислокации в верховьях р. Булкут (левый приток р. Рассоха) в одном из хребтов Момских гор – Гармычан – были обнаружены при полевых работах 1 983 г. Осознание их вероятной сейсмогенности и выявление целого роя палеосейсмодислокаций произошло после тотального сейсмогеологического изучения юго-восточной половины сейсмического пояса Черского [Важенин, 1992 б]. Рой включает несколько обвалов объемами до 2-3 млн м<sup>3</sup>, группирующихся вблизи осевой части хребта в верховьях рр. Булкут, Трюлинья и руч. Голый (приток р. Зырянка). Большая часть из них связана системой не вполне стыкующихся разломов северо-западного простирания длиной около 12 км. Для сейсмологической интерпретации роя требуется его дальнейшее изучение. Другие рои субпояса Черского выявлены в 1 987-88 гг. и изучались пока только по космоснимкам [Важенин, 1992 б, 1997; Важенин и др., 1997].

## 5.1.2. Североохотоморский субпояс палеосейсмодислокаций

Изученная часть этого субпояса протягивается вдоль северного берега Охотского моря от бассейна р. Парень до бассейна р. Улья и совпадает в основном со структурами позднемезозойского Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (рис. 1). Имеются сведения о наличии крупных палеосейсмодислокаций и на северо-западном побережье Охотского моря [Онухов, Уфимцев, 1974; Алексеев и др., 1975; Уфимцев, 1984], то есть на продолжении субпояса к юго-западу. Субпояс включает более 30 роев палеосейсмодислокаций. Около третьей части из них, помимо дистанционного изучения, обследовано также в наземных маршрутах и аэровизуально.

Туманский рой. Первые его дислокации (тектонические и гравитационно-тектоническая) обнаружены в 1 982 г. при полевых геоморфологических и неотектонических исследованиях вблизи перевала Мельдек (рис. 9, 41) совместно с В.Н.Смирновым [Смирнов, Важенин, 1985; Важенин, Смирнов, 1987]. В 1 986 г. там же при полевых работах были обследованы гравитационные и иные дислокации в древнеледниковых карах Морионовый, Водопадный и в троге Мельдек. В том же году в процессе послеполевого дешифрирования аэроснимков на смежной с участком работ территории в бас. р. Чул автором обнаружена крупнейшая в сейсмическом поясе Черского палеосейсмоструктура, включающая сбросообвал Чул-300 (рис. 20), высокоамплитудные ступенчатые сбросы, крупные расщелины. В 1 986-1 987 гг. она изучалась по аэро- и космоснимкам. По спектрозональным космоснимкам формата  $30 \times 30$  см выявлены новые крупные гравитационные дислокации в Туманском хр. на Мельдекском, Чульском и Нижнетуманском участках, составляющие ныне два роя – Туманы и Чинганджа. Они и связанные с ними тектонические и гравитационно-тектонические дислокации, были изучены и закартированы по аэроснимкам, а в 1 987 г. большей частью заверены полевыми работами (совместно с С.В.Мишиным и В.А.Бобровниковым) на всех трех участках [Важенин, 1988  $\delta$ , 1992  $\delta$ , 1993  $\varepsilon$ , 1996  $\delta$ , 1997; Важенин и др., 1997].

Рой Туманы (рис. 1, 56) выделяется среди прочих наличием в его составе одной из двух крупнейших в сейсмическом поясе Черского сейсмоструктур, не уступающей сбросообвалу Улахан-Чистай-300 (рис. 20). Эту палеосейсмоструктуру составляет грандиозный сейсмообвал Чул-300 (рис. 23), сопряженный с сейсмоблоком типа «матрешки» ЧУЛ-27-9-5,6-2 (раздел 2.9.) [Важенин, 1996 б]. Присутствие в пределах Чульского суброя сейсмодислокаций всех основных морфологических типов и разных рангов послужило стимулом и основанием для создания новой палеосейсмогеологической методики (разд. 1.-4.). Использование ее сначала даже на интуитивном уровне позволило выявить другие дислокации роев Туманы и Чинганджа и определить их границы.

Обвал Чул-300 возник, скорее всего, благодаря сейсмоизлучающей подвижке сейсмоблока ЧУЛ-2 (рис. 20) – одной из составных частей более крупного сейсмоблока типа «матрешки». Подвижка произошла по грандиозному 500-метровому ступенчатому сбросу. Обвальное тело с горизонтальными размерами 1,8×2,5 км при средней мощности около 50 м и максимальной – около 100 м захоронило нижнюю треть 6-километровой долины притока р. Чул – руч. Озерный – от одного водораздела до другого. Фронтальная часть обвала «выплеснулась» в долину Чула и полностью запрудила ее. Причем правый фланг обвального фронта перемещался, после отражения от правого борта долины Озерного, по ее оси, и здесь завальный тромб имеет максимальную мощность и караваеобразную форму. На пути левого фланга огромной обвальной глыбовой лавины встретился выступ водораздела в виде пилона (рис. 23), который послужил для нее трамплином, и потому остаток пути до днища долины р. Чул обвальные массы левого фланга преодолели по воздуху. Эта «трамплинная» часть обвальной массы нарастила завальную плотину в ширину (вдоль долины) до 1,5 км. Огромный объем обрушившейся пластообразной массы и очень высокая степень неровности субстрата, включающего деформированный сбросами водораздел и три долины (руч. Озерный, Коленчатый и р. Чул), обусловили весьма сложную морфологию в общем веерного обвального тела, характеризуемого кодом Д-УП-ГС-h<sub>2-3</sub>VI-III (разд. 2.6.2., 2.7.2.).

Обвал во всех его частях сложен сильно трещиноватыми, остроугольными и острореберными крупными и сверхкрупными глыбами вулканомиктовых песчаников среднеюрской монкинской свиты, таких же как в стенке срыва. Размер некоторых глыб достигает 20 и 30 м (рис. 21, 42). Превышение бровки стенки срыва над долиной р. Чул, где находится фронтальная часть обвала, составляет не менее 850 м. Максимальная дальность перемещения обвальных масс достигает 2,5 км.



Рис. 56. Рой палеосейсмодислокаций Туманы в Туманском хребте (Северное Приохотье): буквы *М*, *В*, *Ч*, *О* в индексации дислокаций означают их названия: Морионовый, Водопадный, Чул, Озерный

Выше обвального тромба в долине р. Чул сформировался подпрудный бассейн седиментации длиной до 2 км, шириной около 0,4 км (рис. 20). К настоящему времени мощность аллювиальнопролювиальных отложений в нем достигла первых десятков метров. Вероятно, одновременно с заполнением подпрудного бассейна начался суффозионно-эрозионный размыв завальной плотины. Он происходил и происходит поныне с весьма высокой скоростью благодаря сравнительной многоводности р. Чул (III порядок) и повышенной фильтрационной способности крупноглыбовой фронтальной части обвала Чул-300 и особенно его левого «трамплинного» фланга, освободившегося за счет переноса по воздуху от мелких гранулометрических фракций обвальной массы и составляющего более двух третей размера тромба вдоль направления стока. В Чульской завальной плотине (рис. 30) образовался суффозионно-эрозионный каньон (рис. 46) длиной 1,5 км и глубиной до 60 м. Он уже начал врезаться в отложения подпрудного бассейна. В долине р. Чул ниже завальной плотины формируется аккумулятивный шлейф длиной около 2 км и шириной около 0,3 км из продуктов размыва обвальных отложений. На нем ежегодно возникает крупная речная наледь, очевидно, способствующая усилению здесь аккумуляции.

Сток воды из другого подпрудного бассейна в долине руч. Озерный осуществляется сквозь завал в долину Чула, а также по системе трещин ступенчатого сброса сквозь коренной водораздел в долину соседнего левого притока р. Чул – руч. Коленчатый на расстояние до 2 км, где вырывается из-под обвальных отложений в виде источника более многоводного, чем сам руч. Коленчатый (рис. 57). В главной части обвала Чул-300 сформировалась суффозионная ложбина субширотного простирания длиной около 1,6 км, практически на всем протяжении которой слышно журчание воды в толще глыбовых отложений (рис. 23).



Рис. 57. Выходы вод (отмечены эллипсами) в правом борту приустьевой части долины руч. Коленчатый (рис. 20), фильтрующихся под обвалом Чул-300 (*Ч-300В*) в рое Туманы вдоль ступенчатого сброса, сформировавшего стенку срыва обвала. Количество воды здесь не меньше, чем в тальвеге (помечено квадратом), куда она также поступила в значительной мере за счет фильтрации из-под обвала

В комплекс дислокаций Чульской палеосейсмоструктуры входит, кроме того, серия крупных расщелин глубиной до 100 м и более и длиной до 1 км и более, рассекающих водоразделы и склоны, сглаженные до возникновения расщелин позднеплейстоценовыми ледниками (рис. 20). Одна из них заложилась по контакту Туманского позднемелового гранитного батолита с вмещающими вулканомиктовыми песчаниками, другие – радиально по отношению к гранитному штоку, расчлененному надвое долиной руч. Коленчатый, имеющей резкий тектогенный облик.

Двух-трехступенчатый сброс с суммарной амплитудой около 500 м заложился под углом 45° к левому водоразделу руч. Озерный и по касательной к штоку (рис. 20, 21). Амплитуда сброса оценена по ярко выраженным следам деформации водораздела. Отсеченная ступенчатым сбросом часть водораздельного хребта, ограниченная с других сторон долинами Чула и Озерного, интерпретируется в качестве сейсмоблока ЧУЛ-2 [Важенин, 1996 б]. Амплитуда резкой сейсмоизлучающей просадки сейсмоблока, послужившей непосредственной причиной для обрушения обвала Чул-300, может оцениваться в очень широком диапазоне – от 500 до первых метров. В случае минимальной оценки следует допустить вероятность медленного, плавного формирования 500-метрового ступенчатого сброса. В пользу одноактного его образования свидетельствуют крайняя резкость поверхностей сместителей и отсутствие явных следов стратификации обвальных отложений в ближайших окрестностях.

В пределах Чульского суброя залегают несколько обвалов объемами главным образом до первых миллионов кубометров и множество обвально-осыпных конусов выноса. Крупнейший из обва-

лов-сателлитов – Озерный-10 (рис. 20) вместе с крупными обвально-осыпными конусами выноса, прикрывающими его правый фланг, подпруживает небольшое озеро в верховьях руч. Озерный. Вода из озера свободно фильтруется сквозь завал. Размер обвала по фронту – до 1 000 м, по падению – до 400 м при мощности до 50-60 м. Форма его характеризуется кодом Э-УП-h<sub>2</sub>V. Превышение бровки его стенки срыва, расположенной в левом борту долины, над основанием фронтального уступа составляет около 550 м. Озерный-10 жестко «привязан» к сбросовому уступу север-северо-западного простирания, по которому проводится восточная граница сейсмоблоков ЧУЛ-27 и ЧУЛ-9 [Важенин, 1996 *б*].

Еще одно обвальное тело – Озерный-6 (рис. 20), почти смыкающееся с правым флангом обвала Чул-300, очевидно, сошло с правого менее высокого и крутого борта долины руч. Озерный. Обвал типа пластового осова не запрудил долину, а удержался на нижней части склона. На его поверхности наблюдается существенно лучше развитый, чем на соседних обвалах, почвенно-растительный покров, включающий куртины кедрового стланика. Это может объясняться как следствие превосходства по возраста, так и более благоприятными условиями для освоения растительностью – близостью к склоновым зарослям стланика, меньшей степенью вымывания межглыбового заполнителя, обусловленной отсутствием блокирования довольно крупного водосбора. Причем расположенный гипсометрически ниже обвал Чул-300 с возрастом свыше 2 тыс. лет имел достаточно времени для возникновения более густой, чем современная, растительности на его поверхности. Но этого не произошло по причине высоких фильтрационных свойств весьма крупноглыбовых отложений, перекрывших, к тому же, сток из долины длиной около 6 км. Код формы обвала Озерный-6 – Э-УП-h<sub>1</sub>. 2IV-V. Максимальные его размеры – до 800 м по фронту, до 400 м по падению при мощности до 40 м. Превышение бровки стенки срыва над подножьем фронтального уступа – около 300 м, над тыльной частью – до 200 м.

Активный рост пролювиально-селевых конусов выноса радиусами до 1 км, погребающих в некоторых местах обвальные отложения, и формирование аккумулятивного шлейфа из продуктов размыва обвального тромба являются красноречивыми свидетельствами продолжающейся постсейсмической адаптации сейсмически возбужденных литосборов. Об этом же свидетельствуют нарастание мощности отложений в подпрудном бассейне седиментации в долине руч. Озерный и начавшийся уже врез русла р. Чул в отложения Чульского подпрудного бассейна.

Помимо Чульского суброя в состав Туманского роя входит Мельдекская сейсмоструктура с сейсмоблоком МЕЛЬДЕК-0,3 [Смирнов, Важенин, 1985; Важенин, 1996 б] и с многими обвалами объемами до первых миллионов кубометров (рис. 9, 41). Дополнительное дистанционное и полевое (в 1 986 и 1 987 гг.) изучение упомянутого сейсмоблока дает основания для существенного увеличения оценки его горизонтальных размеров с 0,7×0,7 км до 1,5×1,6 км (по максимуму) и до 1,3×1,3 км (с усреднением; разд. 2.9.). Объем при этом возрастает с 0,3 км<sup>3</sup> до 2,2 км<sup>3</sup>, а энергетический класс (К<sub>1</sub>) сейсмоблока МЕЛЬДЕК-2,2 составит около 13,7 против 12,9 для сейсмоблока МЕЛЬДЕК-0,3 [Важенин, 1996 б]. Последний, в соответствии с характером распределения ограничивающих сбросов и маркировки их многочисленными обвалами, может быть включен в состав более крупного сейсмоблока типа «матрешки» – МЕЛЬДЕК-2,2-0,3.

Магнитуда роя, вычисленная по длине зоны сейсмогенных разрывов (15 км), составила 6,9, а по его площади (144 км<sup>2</sup>) 7,0. Площадь роя ограничена суммарной величиной Мельдекского и Чульского суброев, хотя и разделенных глубокой и широкой долиной р. Чул, а также крупным тектоническим (лишенным признаков голоценовой активизации) разломом северо-восточного простирания, но связанных слабо выраженными в рельефе отрезками системы молодых, вероятно, сейсмогенных разрывов восток-северо-восточного простирания. Возможность увеличения площади роя представляется за счет присоединения соседнего интенсивно дислоцированного участка на северо-восточной периферии Верхнекупкинской впадины. Но это, пожалуй, не оправдано ввиду различающейся ориентировки разрывов и почти полного исчезновения гравитационных дислокаций к северо-западу от Мельдекского суброя. Концентрация крупнейших обвалов (Чул-300, Озерный-10, 0зерный-6, Морионовый-3, Водопадный-3), расщелин и других дислокаций у контуров крупных сейсмоблоков (ЧУЛ-27-...-2 и МЕЛЬДЕК-2,2-0,3), малая площадь роя и умеренная величина оценки магнитуды (до М=7) в сочетании с грандиозностью Чульской сейсмоструктуры, резкое убывание числа дислокаций

и объемов обвалов к периферии роя позволяют сделать предположение о близповерхностном очаге древнего землетрясения, вызвавшего образование Туманских дислокаций. С высокой вероятностью можно интерпретировать сейсмоблок ЧУЛ как главный источник сейсмического излучения в Туманском рое, вызвавший своими подвижками формирование всех других деформаций здесь.

Возраст крупнейшего сейсмического события, следы которого запечатлелись в дислокациях Туманского роя, оцененный суммированием дендрохронологической и радиоуглеродной датировок (МАГ-1268; М.А.Трумпе, А.В.Ложкин) образца кедрового стланика с поверхности обвала Чул-300, составляет более 2 тыс. лет (разд. 2.10.4.). Признаки постсейсмической адаптации литосборов (разд. 2.8., 2.10.5.) согласуются с этой датой.

Рой Чинганджа (рис. 1, 58) выявлен по космоснимкам и изучен по аэроснимкам в 1 986 г. В 1 987 г. заверены полевыми работами крупнейший сейсмообвал роя – Туманы-42 (Нижнетуманский-50) и комплексирующиеся с ним гравитационные и иные дислокации. В ранних публикациях рой упоминался как Нижнетуманские сейсмодислокации или Нижнетуманский участок [Важенин, Смирнов, 1987; Важенин, 1988 *б*] роя Туманы, позже [Важенин, 1997; Важенин и др., 1997] стал квалифицироваться в качестве самостоятельного роя.

Рой Чинганджа состоит из трех суброев – Чинганджа, Анманныкан и Ульчан, разделенных широкими долинами pp. Туманы и Ульчан, но связанных системой разломов северо-восточного и запад-северо-западного простирания. В пределах роя насчитывается более 25 обвалов. Около половины из их числа – крупные. Наибольшие сосредоточены в суброе Чинганджа (рис. 44). Крупнейший из них – Туманы-42 (рис. 59) имеет вид слабо распластанного веерного обвала-потока длиной более 1 200 м, шириной более 700 м и максимальной мощностью около 100 м (Д-УП-h<sub>2</sub>V).

Обвал сложен угловатыми и трещиноватыми глыбами преимущественно кислых эффузивов наяханской свиты верхнего мела, таких же как в хорошо выраженной в рельефе угловатой нише отрыва, деформированной разломами. Максимальные величины перемещения обвальных масс достигают 600 м по вертикали и 1 800 м по горизонтали. Фронтальной частью обвал подпрудил долину 10-километрового безымянного левого притока р. Туманы. В результате возник подпрудный бассейн седиментации размером 500×200 м с мощностью отложений около 60 м. По контакту фронтальной части обвала с коренными породами правого борта долины сформировался суффозионноэрозионный каньон длиной около 700 м с постоянным поверхностным стоком воды только в нижней части. В смежных распадках левого борта долины залегают еще два обвала: Туманы-6 и Туманы-1,5, образуя в комплексе с тектоническими дислокциями небольшой микророй.

В суброе Чинганджа находится еще несколько обвалов-потоков. Чинганджа-25 (рис. 44) выделяется среди них, пожалуй, максимальной из известных на сегодня гравитационных дислокаций региона дальностью переноса обвальных масс – около 3 км. С ним в этом может конкурировать только обвал Аган-18 в рое Дёл-Урэкчэн. К сожалению, обвал Чинганджа-25 пока не изучен полевыми методами, за исключением фоторегистрации его телеобъективом с расстояния более 5 км. Он комплексируется со сбросовым уступом высотой в десятки метров, а также с серией расщелин длиной до 0,5 км и более и глубиной в первые десятки метров. Расщелины меньшей длины и глубины рассекают сглаженную ледниковой аккумуляцией и экзарацией водораздельную поверхность в южной части суброя Чинганджа. Обвалы суброев Анманныкан и Ульчан не превышают объемами 5 млн м<sup>3</sup>. Они связаны с системой тектонических дислокаций длиной по 0,5-4 км преимущественно северовосточного простирания, реже – субширотных и субмеридиональных.

Магнитуда роя Чинганджа, вычисленная по длине зоны сейсмогенных разрывов (24 км), составила 7,1, по площади роя (330 км<sup>2</sup>) – 7,2. Довольно большая площадь роя в сочетании с наличием крупных гравитационных и тектонических дислокаций позволяет предполагать среднюю для региона глубину очага древнего землетрясения. Возраст роя оценивается по признакам постсейсмической адаптации литосборов не менее чем в первые тысячи лет.

Дукчинский рой (рис. 1, 3). Крупнейшая гравитационная дислокация роя – обвал, известный ныне под названием Уптар-16-37, обнаружен в 1 988 г. при дешифрировании недостаточно крупномасштабных спектрозональных космоснимков формата 18×18 см за неимением более подходящих – формата 30×30 см. Последующее дешифрирование аэрофотоснимков на территорию Дукчинских гор позволило выявить и дистанционно изучить комплексный рой палеосейсмодислокаций. Полевыми наблюдениями в 1 990, 1 991, 1 995 гг. были заверены многие дислокации этого роя: Уптар-16-37, Уптар-1 (рис. 12), Уптар-2, Омчак-13, Медвежка-2, Омчик-2, Снежка-1, Снежка-0,1 и связанные с ними тектонические и гравитационно-тектонические дислокации [Важенин, 1992 *a*, 1997; Важенин и др., 1997].



Рис. 58. Рой палеосейсмодислокаций Чинганджа в Северном Приохотье с суброями Анманныкан, Чинганджа, Ульчан: буквы в индексации палеосейсмодислокаций означают их названия: *Ч* – Чинганджа, *T* – Туманы

Дукчинский рой палеосейсмодислокаций (рис. 3) сформировался в Дукчинских горах, в водоразделе Дукчи с Магаданкой, Хасыном и Уптаром. Здесь выявлено около двух десятков гравитационных дислокаций – большей частью скальных обвалов, в том числе около десятка крупных объемами свыше 1 млн м<sup>3</sup>. Закартировано также два крупных скальных оползня – довольно редкого для Северо-Востока России морфологического типа дислокаций. В пределах роя выделено несколько сейсмоблоков, в том числе ДУКЧА-0,125 и УПТАР-0,5. Практически все крупные гравитационные дислокации и сейсмоблоки связаны в виде единого роя зоной разломов длиной около 26 км, рассекающей округловершинный водораздел Дукчинских гор и состоящей из сопряженных между собой отрезков свежих разломов длиной большей частью 1-2 км, имеющих северо-восточное, субширотное и субмеридиональное простирание.



Рис. 59. Палеосейсмообвалы Туманы-6 (*T*-6), Туманы-42 (*T*-42), Туманы-1,5 (*T*-1,5) в бассейне левого безымянного притока р. Туманы в рое Чинганджа

Крупнейший и лучше изученный обвал Дукчинского роя Уптар-16-37 (рис. 17, 18) имеет двучленное строение. Верхняя его часть объемом около 16 млн м<sup>3</sup>, прилегающая к нише отрыва, залегает на нижней с объемом около 21 млн м<sup>3</sup>. Указанное в названии дислокации число – 37 – означает ее суммарный объем. Возраст, определенный дендрохронологически (с незначительной радиоуглеродной добавкой), для нижней части обвала превышает 800 лет, а для верхней – 540 лет. Двучленность и различие датировок частей дислокации не являются, тем не менее, бесспорными доказательствами неодноактности ее формирования. Невозможно исключить вариант образования двучленности с небольшой (в минуты или десятки минут) задержкой обрушения верхней части обвального тела в результате воздействия афтершоков или даже без них. При этом различие в предельном дендрохронологическом возрасте образцов кедрового стланика, полученных с верхней и нижней частей обвала, а также меньшую развитость почвенно-растительного покрова на верхней – подперевальной части можно объяснить ее большей «продуваемостью» холодными зимними ветрами и, наоборот, защищенностью нижней части 40-метровым фронтальным уступом верхней и близостью к густым стланиковым зарослям склонов долины. Ввиду этого освоение кедровым стлаником верхней части обвала вполне могло отстать от нижней на несколько сот лет. Кроме того, из верхней части обвала межглыбовый заполнитель преимущественно вымывается, а в нижнюю еще и вмывается с верхней, что обусловливает преимущество в развитии на ней почвенно-растительного покрова.

Максимальная длина всего обвала Уптар-16-37 составляет 1 700 м, ширина в нижней части около 750 м. Наибольшая мощность в верхней части достигает 80 м, в нижней – 40 м. Высота фронтального уступа верхней части обвала, отделяющего его от нижней на всем 1 000-метровом протяжении, довольно выдержана по величине и приближается к 40 м. Длина верхней части обвала не превышает 750 м, ширина – 400 м. Предельная дальность переноса обвальных масс по горизонтали для нижней части обвала достигает 2 км, а по вертикали – 400 м. Две части обвала, различаясь размерами и степенью распластанности, близки по форме продольного профиля, но не совпадают по рисунку в плане. Нижняя часть в виде веерного обвала-потока характеризуется кодом Д-УП-h<sub>2</sub>V. Верхняя – более изометричная, сформировалась в условиях эквидистантного литосбора – Э-УП-h<sub>1</sub>. <sub>2</sub>V. Обвал сложен угловатыми и трещиноватыми глыбами коренных горных пород Магаданского батолита.

В тылу обвала Уптар-16-37 сформировался небольшой подпрудный бассейн седиментации размерами около 400×100 м при мощности до первых десятков метров. Вода из него фильтруется сквозь завал в вершину суффозионно-эрозионного каньона, совпадающего с сейсмотектонической расщелиной глубиной более 50 м и длиной около 600 м. Часть стока воды фильтруется под суффозионными ложбинами, перерастающими в каньоны, следующие вдоль всего фронтального уступа верхней части обвала, а затем по оси нижней части дислокации. Направления ложбин и каньонов большей частью совпадают с меридиональным простиранием серии расщелин, секущих перевальную седловину на левом фланге и с упомянутой уже расщелиной, заложившейся вдоль правого фланга. Последняя прослеживается на юг в виде сбросов, деформирующих левую стенку ниши отрыва, переходящих еще дальше в широкую расщелину, при раскрытии которой на южном пологом склоне водораздела Уптар-Дукча образовался оползень Дукча-1.

Ниша отрыва внешне напоминает древнеледниковый кар, но при внимательном изучении ее в стереомодели на наземных и аэроснимках обнаруживается врезанность более поздней ниши (соразмерной по объему верхней части обвала) в раннюю и большую по объему, в соответствии с преобладающей величиной нижней части (рис. 17, 18). Явных различий в степени освоенности растительностью разных частей ниши отрыва не наблюдается. Двухфазная ниша отрыва возникла не на случайном месте. Она обусловлена хорошо выраженным в рельефе пересечением здесь сравнительно короткой (до 3 км) серии упоминавшихся меридиональных расщелин и сбросов с субширотным сбросом длиной около 9 км, формирующим, вместе с оперяющими короткими разрывами, северный склон водораздела Уптар-Дукча. Этот сброс маркирован почти на всем его протяжении более чем десятком гравитационных дислокаций, залегающих под всеми склонами с повышенным обвальным потенциалом, а два оползня – Дукча-1 и Дукча-9,5 – деформируют даже существенно более пологие южные склоны водораздельного хребта.

Плановый рисунок сбросовых уступов и расщелин позволяет выделить в месте их пересечения гравитационно-тектоническую дислокацию с горизонтальными размерами 2×0,5 км и с возможностью ее интерпретации в качестве сейсмоблока УПТАР-0,5 с энергетическим классом K<sub>1</sub>=13 [Важенин, 1996 *б*]. Сейсмоблок вместе с обвалом Уптар-16-37 составляют Уптарскую сейсмоструктуру, а в комплексе с гравитационными и тектоническими дислокациями, сосредоточенными вдоль субширотного 9-километрового сброса, – Уптарский суброй. Несколько обособляясь пространственно, он достаточно тесно связан системой тектонических дислокаций с другим суброем в пределах Дукчинского роя – Омчакским, концентрирующимся вокруг обвала Омчак-13.

Магнитуда роя Дукча, вычисленная по длине зоны сейсмогенных разрывов (26 км) составляет 7,1, а по площади роя (156 км<sup>2</sup>) 7,0. Возраст крупнейших гравитационных дислокаций роя оценивается по признакам постсейсмической адаптации литосборов в первые тысячи лет. Он согласуется с отмечавшимися комплексными дендрохронологическими и радиоуглеродными датировками. В строении дислокаций за исключением обвала Уптар-16-37 не наблюдается явных признаков, указывающих на неодноактность формирования роя. Более-менее равномерное распределение крупных гравитационных и иных дислокаций по площади сравнительно небольшого роя и хорошая выраженность поверхностных разрывов могут интерпретироваться в качестве показателя средней глубины очага древнего землетрясения – около 15 км.

Факт обнаружения роя Дукча в наиболее освоенной и исследованной части региона – в пределах административных границ г. Магадан, в его зоне отдыха, свидетельствует о работоспособности новой методики не только в малообжитых и слабоизученных регионах. Открытие неизвестных ранее палеосейсмодислокаций произошло, например, при полевом обследовании плейстосейстовой области Спитакского землетрясения [Никонов, 1990; Рогожин и др., 1990]. К сожалению, выявление и интерпретация этих палеосейсмодислокаций произошли после, а не до печально известного сейсмического события. Новая методика позволяет делать это заранее и на больших площадях.

Рой Гертнера [Важенин, 1997; Важенин и др., 1997] содержит только одну крупную дислокацию – обвал Черный-6, залегающий в нише, деформирующей береговой склон горы с абс.отм. 314 м на северном побережье бух. Гертнера Охотского моря в непосредственной близости от г. Магадана (рис. 1). Около половины его первоначального объема (указанного цифрой в названии) уже размыто морем. Следы этого размыва угадываются в рельефе дна прилегающей акватории. Остальные дислокации, составляющие рой, – мелкие, имеют вид обвально-осыпных конусов выноса, формирующихся на «живых» коротких трещинах, рассекающих береговой уступ. Разлом, определивший типично тектогенный облик северного берега бух. Гертнера, «целит» через перешеек п-ова Старицкого и южную окраину г. Магадан в сторону соосно ориентированного южного берега бух. Нагаева. Однако подобных дислокаций, даже типа обвально-осыпных конусов выноса, при наличии достаточного обвального потенциала там нет. Магнитуда роя Гертнера, вычисленная по длине разлома от устья р. Дукча до мыса Нюкля (11 км), составила 6,7. Возраст роя оценивается по признакам постсейсмической адаптации литосборов величиной не менее первых тысяч лет. Глубина очага древнего землетрясения, исходя из небольшой площади роя, не превышала 15 км.

Расположение обвала Черный-6 вблизи Магадана, даже на виду сотен и тысяч рыболовов, удящих корюшку со льда бух. Гертнера, казалось бы, могло обеспечить его давнее выявление и интерпретацию в качестве палеосейсмодислокации. Однако осознание этого произошло только после того, как с помощью новой методики была тотально исследована палеосейсмологически половина всего сейсмического пояса Черского и выработано представление о норме и аномалии в формировании горного рельефа региона.

Рой Сиглан [Vazhenin, 1994 *a*; Важенин и др., 1997] занимает особое место в сейсмическом поясе Черского благодаря наличию в его составе помимо древних (голоценовых), еще и современных дислокаций, с большой вероятностью причисляемых к следам Ямского землетрясения (с магнитудой 6,5, по Б.М.Козьмину [1984]). Среди дислокаций, описанных по свидетельству очевидцев в «Каталоге землетрясений Российской империи» [Мушкетов, Орлов, 1893], величиной выделяются «трещины в тундре» длиной в первые метры и шириной до 1,5 м вблизи устья р. Сиглан, впадающей в зал. Забияка Охотского моря.

Дешифрированием аэроснимков в 1 992-1 993 гг. на эпицентральную область Ямского землетрясения и полевыми исследованиями 1 993 г. выявлена и изучена серия многочисленных сбросовых уступов высотой до 3 м и более и длиной до 200 м каждый, рассекающих рыхлые отложения слившихся пролювиально-селевых конусов выноса, выстилающих морскую цокольную террасу у подножья кряжа Сиглан (рис. 1, 60, 61). Уступы обращены к югу, в сторону моря и протягиваются в виде субширотной зоны шириной от 200 до 800 м и длиной до 7 км. Количество сбросовых уступов в зоне возрастает к востоку от двух до восьми. Эти дислокации составляют суброй Чаратах, возникший, скорее всего, при землетрясении 1 851 г. В него входят также молодые, по-видимому, современные, четкие сбросовые уступы северо-восточного простирания, деформирующие днище мелководной бух. Сиглан и хорошо заметные на аэроснимках (рис. 60). К сожалению, при кратковременных полевых исследованиях не отмечалось минимальных приливно-отливных уровней моря, при которых они были бы доступны для непосредственного наблюдения. Чаратахские дислокации обособлены от других суброев роя Сиглан орографически, тектонически и обладают иной ориентировкой тектонических разрывов. Включение их в состав роя Сиглан выполнено на первой стадии исследований по формальному признаку пространственной близости. Отмеченные особенности размещения и строения этих молодых дислокаций являются достаточными основаниями для их выделения в качестве самостоятельного роя современных сейсмодислокаций Чаратах.

Возможность интерпретации роя Чаратах в качестве деформаций Ямского землетрясения 1 851 г. обусловлена: 1) расположением их вблизи пункта с описанием очевидцами самых внушительных макросейсмических эффектов (трещин в тундре у устья р. Сиглан), но при этом вне наиболее посещаемых мест (рыболовных участков и вьючных троп), в связи с чем они не наблюдались местным населением сразу после землетрясения; 2) хорошей сохранностью уступов, возникших в рыхлых отложениях, несмотря на эффективное деструктивное постсейсмическое воздействие на них криогенных склоновых процессов; 3) массовым вывалом лиственниц вдоль уступов, не характерным для фона; 4) наличием обгорелых стволов поваленных лиственниц только на сбросовых уступах, что объясняется, вероятно, выбросом по трещинам при землетрясении и возгоранием газов, как это было, например, при Спитакском землетрясении 1 988 г. (пожар не распространился на лиственничное редколесье вне уступов, по-видимому, из-за наличия снежного покрова к моменту землетрясения – 28 ноября).



Рис. 60. Рой палеосейсмодислокаций Сиглан с суброями Забияка, Асаткан, Богурчан и рой современных сейсмодислокаций – Чаратах, возникший, вероятно, при Ямском землетрясении 1 851 г.: буквы в индексации палеосейсмодислокаций означают их названия: 3 – Забияка, Д – Душистый, МЗ – Малый Забияка, БЗ – Большой Забияка, О – Обнаженный



Рис. 61. Один из типичных сбросовых уступов высотой около 3 м, рассекающих шлейф из слившихся пролювиально-селевых конусов выноса у подножья кряжа Сиглан в рое современных сейсмодислокаций Чаратах (рис. 60) на побережье зал. Забияка Охотского моря, возникших, вероятно, в результате Ямского землетрясения 1 851 г.

Вычисление магнитуды по длине основной зоны разломов (7 км) от р. Сиглан до левобережья руч. Брошенный дает незначительную прибавку к оценке Б.М.Козьмина [1984] (М=6,5), выполненной на основе макросейсмических данных 1 851 г. – всего на 0,04. С продлением ее до 12 км (с перерывом), за счет включения серии сбросов в междуречье Сивуч-Аргаскич и дислокаций на правом берегу р. Сиглан, магнитуда возрастает до 6,8. Такое же значение получается при определении магнитуды по площади роя Чаратах (55 км<sup>2</sup>).

Помимо чаратахских сейсмодислокаций полевыми работами 1 993 г. заверены голоценовые дислокации (рис. 60): обвал Душистый-5 (рис. 16), грабен-обвалы Большой Забияка-5 (рис. 62) и Малый Забияка суброя Забияка; обвал Обнаженный-20 и тектонические дислокации суброев Асаткан и Богурчан. Три суброя в пределах роя Сиглан – Забияка, Асаткан и Богурчан – довольно тесно связаны между собой пространственно, тектонически и, вероятно, во времени, но внутри них связи теснее. «Небольшие сбросообвалы на абразионно-тектонических уступах на берегу зал. Забияка, возможно, сейсмогенного происхождения» отмечались и ранее [Онухов, Уфимцев, 1974; Уфимцев, 1984]. Так, в лаконичном описании [Онухов, Уфимцев, 1874] сбросообвалов и других предполагаемых палеосейсмодислокаций северо-западного побережья зал. Забияка, угадываются черты строения сейсмоструктуры, названной теперь грабен-обвалом Большой Забияка.



Рис. 62. Грабен-обвал Большой Забияка (3-0,25, Б3-5) в рое Сиглан. Сбросы, ограничивающие узкий грабен, сформировавший сейсмоструктуру, «целят» в стенку срыва другой крупной дислокации суброя Забияка – обвала Душистый-5 (рис. 16, 60). Обвальное тело осложнено постгенетическими деформациями оползневого типа, образовавшимися, вероятно, при Ямском землетрясении 1 851 г., а его фронтальный уступ размывается морем

Все гравитационные дислокации суброя Забияка «нанизаны» на единую сеть свежих разломов преимущественно северо-восточного простирания. Палеосейсмоструктура Большой Забияка (рис. 62) представляет собой сочетание сейсмоблока БОЛЬШОЙ ЗАБИЯКА-0,25 и крупного обвала Большой Забияка-5, очевидно, вызванного подвижкой сейсмоблока, в свою очередь, почти полностью погребенного этим обвалом. Такую структуру можно было бы именовать – грабен-обвалом. Подобная им Биченагская сейсмоструктура обнаружена в осевой части Зангезурского хр. на Малом Кавказе [Жидков и др., 1987]. Г.Ф.Уфимцев [1984] даже отмечает, что Серигасский сбросообвал является поверхностным выражением образовавшегося практически мгновенно узкого малоамплитудного грабена. Грабен-обвал Большой Забияка-5 несет на себе следы молодых постгенетических деформаций оползневого типа: недоразвитость накипных лишайников на глыбах смещенных частей обвала, саблевидный изгиб берез на участках с уцелевшим почвенно-растительным покровом. Эти оползневые деформации обвального тела спровоцированы, вероятно, Ямским землетрясением 1 851 г. Фронтальный уступ обвала надвинут на бенч на 100 м от подножия клифа. Главным образом из продуктов абразионного размыва фронтальной части обвала Большой Забияка и эрозионного размыва грабен-обвала Малый Забияка и обвала Душистый-5 сформировался и продолжает расти аномально широкий для берегов п-ова Кони пляж в северо-западной части зал. Забияка.

Обвал Душистый-5 (рис. 16) распластался по долине ручья в виде глыбового потока длиной до 2 км, шириной до 0,3 км и мощностью во фронтальной части всего до 10 м. Наличие в его тылу небольшого обвала, подпрудившего долину, было расценено при дешифрировании как последствие возможного вторичного обрушения в результате Ямского землетрясения 1 851 г. древней крупной завальной плотины, которая состояла из всего обломочного материала, выстилающего ныне долину. Однако при полевой заверке это предположение не подтвердилось: глыбы, слагающие как плотину, так и обвал-поток, в равной мере покрыты максимально развитыми накипными лишайниками. Форма обвала Душистый-5 характеризуется кодом Д-УП-Г-h<sub>3</sub>V. Вдоль правого фланга обвала простирается суффозионно-эрозионный каньон длиной около 0,7 км и глубиной до первых десятков метров, врезанный в виде расщелины в коренной субстрат. Еще один каньон-расщелина рассекает поперек нижнюю часть обвала-потока. Его северо-восточное простирание является преобладающим для тектонических дислокаций всего суброя Забияка, а правофланговая расщелина имеет второе по частоте преобладающее простирание – северо-западное.

На литорали у северо-восточного берега зал. Забияка залегает крупный двухярусный обвал Забияка-1-18 (рис. 60) с объемом верхней части около 1 млн м<sup>3</sup> и нижней (подводной) – до 17 млн м<sup>3</sup>. Без полевого изучения не понятна причина двухъярусности дислокации. Это результат либо двух генераций обрушения, либо постгенетического размыва единого обвального тела морским прибоем. Принадлежность данного пространственно изолированного обвала к рою Сиглан проблематична.

В суброе Асаткан находится крупнейшая гравитационная дислокация роя Сиглан – обвал Обнаженный-20 с горизонтальными размерами 1×0,7 км, мощностью до 60-70 м и с формой характеризуемой кодом – Д-УП-h<sub>2</sub>VI. С ним ассоциируются до десятка малых обвалов и множество аномально густо сконцентрированных тектонических дислокаций (сбросовых уступов, расщелин, других разрывов) длиной до 1 км и несколько более, рассекающих округловершинный хребет в левом водоразделе руч. Асаткан и в правом водоразделе низовьев руч. Малый Богурчан. Суброй Богурчан состоит практически из одних тектонических дислокаций секущих округловершинное междуречье рр. Богурчан и Кулькуты. При этом они также аномально густо сконцентрированы на компактной территории суброя. В нем преобладают разрывы (в виде сбросовых уступов и расщелин) длиной менее 1 км каждый.

Магнитуда роя Сиглан, вычисленная по длине зон сейсмогенных разрывов в двух вариантах (12 и 16 км с перерывами), составила, соответственно, 6,8 и 6,9, а по общей площади трех суброев (126 км<sup>2</sup>), – 7,0. Возраст дислокаций оценивается по признакам постсейсмической адаптации литосборов как не меньший первых тысяч лет. Глубина очага, определяемая по характеру распределения дислокаций в пределах сравнительно небольшого роя, предполагается на уровне около 15 км.

Рой Дёл-Урэкчэн (рис. 1, 63), расположенный в одноименном хребте, выявлен по космоснимкам в 1 987-1 988 гг., затем изучен по аэроснимкам. В 1 991 г. полевыми работами заверены крупнейшие его обвалы – Аган-18, Зугмара-3,6 и ассоциирующиеся с ними тектонические дислокации [Важенин и др., 1997]. Он содержит серию обвалов объемами от 1 до 18 млн м<sup>3</sup>, а также тектонические дислокации. Часть из них «привязана» к разлому северо-восточного простирания длиной до 40 км, отсекающему тектоническим уступом высотой около 300 м от хр. Дёл-Урэкчэн его северозападные отроги. Некоторые не самые крупные дислокации этого роя залегают в непосредственной близости от Тенькинской автотрассы.

Обвал-поток Аган-18 длиной более 2 км, шириной около 0,4 км, мощностью до 40 м с формой – Э-УП-КУ-h<sub>2-3</sub>V отличается дугообразным изгибом в плане, строго повторяющим изгиб днища и

левого пологого борта долины, в которой он залегает. Для него характерны рекордная для региона дальность переноса обломочных масс по горизонтали – около 3 км, при вертикальном перемещении - не менее 800 м, а также уклон поверхности около 10° в поперечном профиле в сторону правого фланга. Этот перекос создает видимость наличия на левом фланге обвала протяженной аккумулятивной формы, напоминающей аномально крупную для вероятного карово-долинного ледника боковую морену, переходящую в конечную, что еще больше подчеркивается заложением по подножью левого фланга суффозионно-эрозионного каньона. Но это сходство только кажущееся, поскольку в довольно редких случаях возникновения хорошо выраженных крупнообъемных боковых морен карово-долинных ледников, плавно переходящих в конечную, объем конечной части такой комплексной морены обычно намного больше боковых, а мощность морены в поперечном сечении долины к ее оси резко убывает, порой почти до нуля. Однако мощность обвального тела Аган-18 постоянна как в поперечном, так и в продольном профиле, что наблюдалось при полевых исследованиях, в том числе в борту правофлангового суффозионно-эрозионного каньона. Кроме того, обломочный материал дислокации представлен исключительно угловатыми и трещиноватыми глыбами эффузивов позднемелового возраста, слагающих стенку срыва в южной части древнеледникового кара. Ее рельеф позволяет сделать предположение об обрушении карлинга (его остатки сохранились на участке между вершинами г. Трог высотой 1 566 м и г. 1 438 м), абсолютная высота которого была еще большей – около 1 600 м, а возможно, и более. То есть превышение стенки срыва над фронтальной частью обвала могло составлять 900-1 000 м, что вместе с компактностью исходной массы обусловило высокую динамику обрушения и определило значительную распластанность обвального тела с частичным вздыбливанием его на левый пологий борт долины и поворот обвальной лавины направо – вдоль уклона тальвега с максимальным перемещением обвальных масс на расстояние более 3 км.



Рис. 63. Рой палеосейсмодислокаций Дёл-Урэкчэн с суброями Финальный, Дондычан и Аган в хр. Дёл-Урэкчэн (Северное Приохотье): буквы в индексации дислокаций означают их названия: 3 – Зугмара, А – Аган

Обвал Аган-18 рассечен в средней части двумя поперечными суффозионно-эрозионными каньонами. Его тыл на левом фланге частично погребен обвалом Аган-7, сошедшим с северо-западной стенки кара. На правом фланге тыльной части обвал Аган-18 смыкается с обвалом Аган-2,4, который с большей вероятностью можно интерпретировать как самостоятельное образование, нежели в качестве отсеченного суффозионно-эрозионным каньоном фрагмента обвального тела Аган-18. Аган-18 отличается от своих сателлитов существенно лучше развитым почвенно-растительным покровом, что объясняется как его большим возрастом, так и другими причинами: микроклиматической благоприятностью, кольматированностью за счет вымывания заполнителя из выше расположенных меньших обвалов.

Юго-западный борт кара рассечен высокоамплитудным свежим или обновленным сбросом длиной около 2 км север-северо-западного простирания, хорошо заметным благодаря смещению им маркирующих субгоризонтальных пластов эффузивов. Стенка срыва с запада образована этим сбросом, а обрушение обвала Аган-18, по-видимому, обусловлено резкой подвижкой по нему.

Описанный суброй Аган несколько обособлен от других крупных гравитационных дислокаций роя, сконцентрированных в приводораздельной зоне юго-западного фланга хр. Дёл-Урэкчэн, ограниченной двумя разломами северо-восточного простирания. Один из них – уже упомянутый сброс длиной до 40 км. Другой длиной около 15 км расположен субпараллельно первому на расстоянии от 4 до 8 км. Вместе они формируют суброй Финальный. Более многочисленная группа главным образом малых гравитационных дислокаций жестко «привязана» к тектонически обусловленной сквозной долине, сформировавшейся по рр. Дондычан и Нанкала. Ее можно выделить в качестве суброя Дондычан длиной около 17 км и шириной не более 1 км. Другие сравнительно молодые разломы в пределах роя Дёл-Урэкчэн, выраженные в рельефе, не маркированы гравитационными дислокациями, при наличии достаточного обвального потенциала и, по-видимому, не проявляли сейсмической активности в голоцене. Общий рисунок сети разломов и характер маркированности их гравитационными дислокациями дают основания для разделения ранее описанного роя Дёл-Урэкчэн на три самостоятельных роя – Финальный, Аган и Дондычан.

Магнитуда роя Финальный, рассчитанная по длине зоны сейсмически активизированных разломов (15 км) и по площади роя (90 км<sup>2</sup>), составила 6,9. Магнитуда роя Аган, определенная по длине сейсмогенных разломов (7 км), составила 6,5, а по площади роя (28 км<sup>2</sup>) – 66. Магнитуда роя Дондычан, вычисленная по величине его площади (17 км<sup>2</sup>), составила 6,5. Оценка магнитуды по длине сейсмогенных разрывов для роя Дондычан не представляется возможной из-за отсутствия свежих, достаточно протяженных предположительно сейсмогенных разломов, вышедших на поверхность в его пределах. Попытка использования в качестве зоны сейсмически активизированных разломов участка сквозной долины Дондычан-Нанкала, маркированного гравитационными дислокациями, дает значение магнитуды 6,9, что явно не соответствует скромному масштабу дислокаций. Если же интерпретировать рой Дёл-Урэкчэн как следствие одного сейсмического события с возникновением трех суброев, то магнитуда, вычисленная по длине сейсмически активизированных разрывов, останется (15 км) прежней – 6,9, а вот по площади роя (288 км<sup>2</sup>) увеличится до 7,1. Одноактное формирование трех несколько пространственно обособленных суброев без их явной тектонической связи могло бы реализоваться при сравнительно глубокофокусном коровом древнем землетрясении. Возможность такой интерпретации роя Дёл-Урэкчэн подкрепляется обнаружением разрозненных малых гравитационных дислокаций в его окрестностях.

Возраст всех трех роев может оцениваться по признакам постсейсмической эволюции как не меньший сотен лет. При этом не исключается более древний возраст обвала Аган-18 – не менее тысячи лет. Дислокации в горах Дёл-Урэкчэн входят в состав Арманско-Бахапчинской зоны палеосейсмодислокаций (разд. 5.1.3.).

Рой Светлый (рис. 1, 64) выявлен по космоснимкам в 1 987 г., позднее изучен по аэроснимкам, а в 1 991 г. заверен полевыми работами [Важенин и др., 1997]. Он включает лишь один крупный обвал Голубой-20, подпрудивший одноименное озеро. С этим обвалом комплексируют на компактной территории: многочисленные мелкие обвалы; еще более многочисленные обвально-осыпные

174

конусы выноса, полностью исчезающие на смежных участках за пределами роя; мощные сейсмотектонические расщелины; участок тектонического бедленда.



Рис. 64. Рой палеосейсмодислокаций Светлый в Северном Приохотье: *Г-20* – палеосейсмообвал Голубой-20

Одной из характерных черт обвала Голубой-20 с размерами 1 200×500 м при мощности до 200 м является расположение его в зоне аккумуляции обломочноматериала позднеплейстоценового ГО ледника Светлый, имевшего длину более 15 км. На пониженных уплощенных водоразделах приустьевой части древнего трога наблюдаются в стереомодели и на местности хорошо выраженные в рельефе боковые морены (длиной до 2,5 км, шириной от первых десятков до 200-300 м при мощности редко где большей 10 м), переходившие при их формировании расширяющуюся конечную В Она находилась в долине морену. довольно многоводной р. Армань и практически уничтожена ее эрозией. особенность, Вторая впрочем, обусловленная первой, заключается в том, что обвал Голубой-20 запрудил устьевую часть руч. Голубой притока руч. Светлый и при этом образовалось

довольно крупное озеро (Голубое) размером 500×200 м, что представляется аномальным при учете маловодности ручья (длиной около 7 км) и обычно высоких фильтрационных свойств обвальных отложений. Данные особенности в сочетании с не очень ярко выраженной на первый взгляд «обвальной» формой и невыразительным рельефом стенки срыва породили сомнения в генетической принадлежности тромба Голубой-20. Они были устранены в результате дистанционного анализа дислокаций роя Светлый и прилегающей территории при решающей роли полевых наблюдений.

Полевое обследование показало сложение тромба Светлый-20 почти на 100% (разумеется, с поверхности) из угловатых и трещиноватых глыб и щебня триасовых песчаников. При этом в бассейне ледо- и литосбора позднеплейстоценовых ледников Светлый и Голубой имеются достаточно большие по площади выходы позднемеловых гранитов. В результате тщательного целенаправленного поиска найдено несколько валунов, очевидно, ледникового происхождения. Подтверждено наблюдаемое на аэроснимках отсутствие следов перелива вод из озера через запруду и обнаружено место выхода фильтрующихся вод в виде высокодебитного источника в средней части подножья фронтального уступа.

Эти детали строения не позволяют квалифицировать тромб Голубой-20 в качестве конечной морены древнего долинного ледника Голубой, аномальность объема которой можно было бы объяснять, хотя и не очень убедительно, подпором главного ледника, занимавшего долину руч. Светлый. Внимательный анализ формы тромба и его положения в рельефе дает возможность сделать однозначный вывод о том, что он является крупным обвалом, обрушившимся с приустьевой части правого борта долины руч. Голубой, где, предположительно, была вершина, существенно возвышавшаяся

над современным уровнем гребневидного правого водораздела долины. Большей частью под левым бортом устьевого отрезка долины, а также, в некоторой мере, на склонах, по-видимому, располагались слившиеся конечная морена ледника Голубой и боковая морена ледника Светлый. При голоценовом сильном землетрясении они были частично погребены огромным обвалом, а частично сброшены со склонов вместе с ним. Именно этим объясняются присутствие незначительного количества ледниковых валунов на поверхности обвала и увеличение водоупорности тромба, с образованием постоянного подпрудного озера, за счет присутствия, вероятно, в его основании и в большей мере на левом фланге древнеледниковых отложений. Форма обвала Голубой-20 характеризуется кодом – Э-УП-КУ-h<sub>2</sub>V.

Коренные породы правого водораздела руч. Светлый, примыкающего к правому флангу обвала, а также лежащие на нем древнеледниковые отложения интенсивно рассечены сеткой разломов длиной до 1 км, местами до состояния тектонического бедленда, подобного возникшему при подземных ядерных испытаниях на Семипалатинском полигоне в Казахстане. Кроме этих тектонических дислокаций в рое выделяются огромные расщелины длиной местами до 1 км и более и глубиной до 120 м, рассекающие плоский левый водораздел в устье руч. Светлый вместе с залегающей на нем боковой мореной. Формировались они, вероятно, не одноактно, но их резкий облик указывает на то, что они испытали активизацию при землетрясении, вызвавшем образование роя Светлый.

Рассчитать магнитуду роя Светлый по длине сейсмогенных разломов длиной около 1 км не возможно (разд. 2.11.). Магнитуда, вычисленная по площади роя (114 км<sup>2</sup>), ограниченной распространением субсейсмогенных обвально-осыпных конусов выноса, составила 6,9. Более верной представляется оценка по величине площади роя (52 км<sup>2</sup>), ограниченной размещением малых обвалов, -6,8. Возраст роя определяется по признакам постсейсмической адаптации литосборов не менее чем в несколько тысяч лет. К этим признакам относятся: выработка серии суффозионных ложбин в правофланговой части обвала Голубой-20, накопление постсейсмогенных отложений мощностью в несколько десятков метров в подпрудном бассейне седиментации. Рой Светлый примыкает с севера к хорошо выраженному в рельефе разлому восток-северо-восточного простирания длиной около 100 км, входящему в более крупную региональную систему субширотных разломов, трассирующихся на 380 км от истоков р. Яма до устья р. Нялоп (приток р. Иня). К восточному флангу этой зоны помимо Светлого приурочен рой Хурэндя, а также еще слабо изученный рой Малтан, к западному – Верхний Янычан. Однако на самой линии разлома, но за пределами указанных роев, признаков голоценовой сейсмической активизации, даже в виде обвально-осыпных конусов выноса, не наблюдается. Это утверждение основано на дистанционном изучении Нялоп-Ямской зоны, дополненном полевыми наблюдениями в шести местах пересечения. Кроме того, рой Светлый входит в поперечную по отношению к Нялоп-Ямской зоне разломов меридиональную Арманско-Бахапчинскую зону палеосейсмодислокаций, которая не связана с одноранговыми, уже сформировавшимися, выраженными в рельефе молодыми разломами. Она охарактеризована в разделе 5.1.3. Небольшую площадь роя, резкое убывание крупности гравитационных дислокаций к его периферии и наличие тектонических дислокаций только в центре можно расценивать как свидетельства малой глубины очага древнего землетрясения (не более 15 км).

Рой Хурэндя (рис. 1, 65). В 1 987 г. по космоснимкам выявлена самая интересная его структура – предполагаемый палеосейсмоблок НУКЕ-1,5. Позже дешифрированием аэроснимков обнаружены и изучены другие дислокации роя, в том числе крупные обвалы Ола-3,7 и Ола-1,6. Все они были заверены полевыми работами в 1 993 г. [Важенин и др., 1997].

При тотальном палеосейсмогеологическом дешифрировании космоснимков привлекла внимание резкая геоморфологическая аномалия (рис. 66): р. Хурэндя (водоток IV порядка) без видимых причин «бросила» свою хорошо разработанную долину шириной около 0,5 км по днищу и «ушла» в гору по Г-образному в плане и V-образному в поперечном сечении ущелью в коренном левом борту. Длина ущелья около 0,8 км, глубина – до 50-70 м, ширина по бровкам обрывистых склонов – около 100-200 м, по днищу, практически полностью занятому руслом реки, – 15-20 м. Похожих структур с резкими внутридолинными русловыми перестройками выявлено еще только две при практически полном стереоскопическом обследовании по спектрозональным космоснимкам территории СевероВостока России. Одна из них – менее внушительная, но практически полностью морфологически подобная – обнаружена в соседней долине р. Дюгадяк и, по-видимому, связана с первой тектонически и генетически. Другая расположена на Чукотке. Она была неудачно избрана в качестве створа для не реализовавшегося строительства Амгуэмской ГЭС.



Рис. 65. Рой палеосейсмодислокаций Хурэндя в Северном Приохотье: 1 – брошенный рекой Хурэндя участок долины; буквы в индексации дислокаций означают их названия: *Н* – НУКЕ, *О* – Ола



Рис. 66. Палеосейсмоблок НУКЕ-1,5 (*H-1,5*) роя Хурэндя в Северном Приохотье. В результате резкой подвижки сейсмоблока произошел его раскол на две части с образованием Г-образного в плане ущелья в левом борту р. Хурэндя. В это ущелье «ушла» река, бросив широкую выработанную долину. Этому, повидимому, дополнительно способствовало ее некоторое подпруживание сейсмогенными и постсейсмогенными пролювиально-селевыми конусами выноса правых притоков: 1 – положение современного русла р. Хурэндя; 2 – брошенный участок долины

Ущелье имеет типичный облик сейсмотектонической расщелины. Возраст его определяется как позднеплейстоценовый-голоценовый по разрыву им позднеплейстоценовой морены, выстилающей маломощным чехлом пологие склоны и низкие водоразделы, а также по отсутствию следов ледниковой денудации и аккумуляции в самом ущелье. Ущелье отсекает от ограниченного крутыми обвально-осыпными склонами блока коренных пород размером  $1,5\times1$  км в левом борту долины р. Хурэндя близ устья руч. Нуке фрагмент поперечником около 0,5 км. Формирование ущелья и перехват им речного стока непротиворечиво объясняются сейсмогенными подвижками (или подвижкой) блока к востоку в сторону долины р. Хурэндя, сопровождаемые расколом его на две неравновеликие части, сходом обвалов-оползней объемами до 1 млн м<sup>3</sup> с пологих склонов и селевой запрудой днища долины за счет выносов из долин двух правых притоков р. Хурэндя. Существенно трансформированные постгенетической эволюцией, но еще заметные, следы этих процессов сохранились в рельефе по контуру палеосейсмоблока НУКЕ-1,5.

Весьма вероятным представляется синхронное с этим формирование одного или даже двух крупных обвалов Ола-3,7 и Ола-1,6 (рис. 65) в долине верховьев одноименной реки. Расстояние между этими обвалами и сейсмоблоком НУКЕ-1,5 составляет 19 км, что могло бы служить причиной интерпретации их в качестве самостоятельных явлений, но они связаны расположением в единой сквозной тектонически обусловленной долине стыкующихся верховий рр. Хурэндя и Ола с наличием малых гравитационных и тектонических дислокаций между ними при отсутствии подобных образований на смежных участках вне роя. Сходна также высокая степень их постсейсмической эволюции. Так, сегментный обвал Ола-3,7 (Э-ГС-h<sub>2-3</sub>II) размером 700×600 м, мощностью до 60 м достиг своим фронтальным уступом противоположного правого борта долины и вместе с крупным пролювиально-селевым конусом выноса руч. Аметистовый и обвально-осыпным конусом выноса правого борта запрудил долину р. Ола. В долине реки выше тромба сформировался округлый в плане подпрудный бассейн седиментации поперечником более 300 м. На стыке фронтальной части обвала Ола-3,7 с конусами выноса выработался суффозионно-эрозионный каньон, врезавшийся уже и в отложения подпрудного бассейна.

Сегментный обвал Ола-1,6 (Э-ГС-h<sub>2</sub>II) размером 500×300 м, мощностью до 50 м залегает на тыльной грани обвала Ола-3,7. Над ним возвышается резко выраженная в рельефе ниша отрыва, соразмерная с верхним обвалом. Остатки стенки срыва нижнего обвала только угадываются в строении левого борта долины. Заметные различия в степени постгенетической эволюции денудационных и аккумулятивных форм, возникших при образовании этих обвалов, указывают на существенное различие в их возрасте. Дополнительным свидетельством двухфазного формирования обвалов в Ольской долине является наличие под тем же левым бортом у устья руч. Цирковый еще двух обвалов объемами до 0,5 млн м<sup>3</sup>, представляющих собой, удивительно похожее на предыдущее, но меньшее по размеру двухъярусное образование. По времени возникновения с палеосейсмоблоком НУКЕ-1,5 удовлетворительно коррелируются более ранние и более крупные обвалы нижнего яруса Ола-3,7 и Ола-0,5. Обвалы сложены угловатыми и трещиноватыми глыбами и щебнем позднемеловых [Щепетов, 1994] эффузивов Ольского плато.

Вычисление магнитуды роя Хурэндя по длине сейсмогенных разрывов не осуществимо ввиду отсутствия таковых с достаточными длиной и однозначностью интерпретации. Магнитуда, определенная по площади роя (80 км<sup>2</sup>), составила 6,9. Возраст основного сейсмического события оценивается не меньше чем 5-10 тыс.лет. Возраст и магнитуда возможного сейсмического события, вызвавшего образование обвалов верхнего яруса в долине р. Ола, не определяются ввиду незначительности его следов и недостатка данных. Глубина очага на основе сочетания противоречивых признаков (наличие крупной сейсмоструктуры Нуке и невыраженность поверхностных тектонических дислокаций в пределах роя) интерпретируется как средняя – около 15-20 км.

Другие рои Североохотоморского субпояса (рис. 1) выявлены главным образом по космоснимкам. Часть из них (Иня, Хейджан, Чуткавар, Улиткан, Алут, Малтан, все рои Янской зоны) рекогносцировочно изучались по аэроснимкам. Рои Гижига и Шилкан обследовались аэровизуально в 1 984 и 1 989 гг.

#### 5.1.3. Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмодислокаций

Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмодислокаций (рис. 1) размещается в виде стыкующего звена между расположенными Т-образно двумя протяженными поясами палеосейсмодислокаций – Черского и Североохотоморским. Здесь закартировано и изучено по космо- и аэроснимкам не менее семи роев крупных палеосейсмодислокаций: Колыма, Бахапча, а также входящие одновременно и в Североохотоморский пояс уже описанные рои – Хурэндя, Светлый, Дёл-Урэкчэн, Дукча, Гертнера. К этой зоне, вероятно, тяготеют еще два роя – Момолтыкис и Сиглан. Все они, за исключением Колымского и Момолтыкис, заверены полевыми исследованиями.

Бахапчинский рой (рис. 1, 39). Его крупнейшие дислокации выявлены по космоснимкам в 1 987 г. Позже дешифрированием аэроснимков обнаружены, изучены и закартированы другие многочисленные дислокации роя. В 1 991 г. полевыми работами заверены дислокации сейсмоструктуры Орангутан, долины р. Малтан в ее низовьях, «Бахапчинской трубы», долины руч. Хетакагчан, сейсмоструктуры Сфинкс, долины Бахапчи ниже Бахапчинских гор [Важенин, 1996 б, 1998 б; Важенин и др., 1997; Vazhenin, 2000].

Бахапчинский рой (рис. 39), наряду с Туманским и Тирехтяхским, является выдающимся в сейсмическом поясе Черского по величине дислокаций и непревзойденным по их количеству. Он простирается на 40 км в пределах Бахапчинских гор, а с учетом низовьев Бахапчи, где имеются мелкие дислокации, - на 80 км. Здесь залегают около 50 крупных обвалов, из них около десятка - объемами свыше 10 млн м<sup>3</sup>, в том числе: Сфинкс-150, Дялтунгда-30, Дялтунгда-17, Увязка-40, Орангутан-12. В Бахапчинских горах закартированы сотни обвально-осыпных конусов выноса, которые интерпретируются с большей уверенностью в качестве субсейсмогенных, чем сейсмогенных образований. Тектонические дислокации роя представлены аномально многочисленными сбросовыми (и, возможно, взбросовыми) уступами высотой в метры – первые десятки метров; многочисленными резкими расщелинами глубиной в десятки метров и длиной до 2 км и более, имеющими ярко выраженный тектогенный облик (рис. 33). Сбросы и расщелины выделяются резкостью на фоне рассекаемых ими сглаженных оледенениями и выветриванием склонов и водоразделов Бахапчинского гранитного массива. Сбросовые уступы в местах пересечения с водотоками отпрепарированы эрозией с образованием аномально многочисленных для верхнеколымских среднегорий, порогов и водопадов в руслах Бахапчи и ее притоков. Еще больше закартировано разломов неустановленной кинематики.

В Бахапчинском рое находится крупнейший из выявленных в регионе сейсмоблоков – ХЕТАКАГЧАН-360 (рис. 38), маркированный практически по всему контуру крупными и малыми гравитационными дислокациями, сбросовыми уступами и расщелинами. Он имеет овальную в плане форму; размер его 8×13 км. В состав этого сейсмоблока типа «матрешки» входит в качестве достаточно высокодинамичного элемента сейсмоблок СФИНКС-5, являющийся ядром сейсмоструктуры, включающей компактный микророй, состоящий из весьма крупных обвалов Сфинкс-150, Дялтунгда-30 и Дялтунгда-17 и впечатляющих сейсмотектонических расщелин (рис. 25, 32, 33).

Один из крупнейших обвалов региона – Сфинкс-150 (К-УП- $h_{1,2}$ V), а вместе с ним и обвал Дялтунгда-30 (К-УП-h<sub>2</sub>V), а также малые обвалы долины руч. Хетакагчан в значительной мере охарактеризованы в разделах 2.7.2. и 2.13.1. Следует отметить сложение обвалов из угловатых и трещиноватых глыб гранитного Бахапчинского массива и рассеченность дугообразного тела Сфинкс-150 суффозионной ложбиной, образовавшейся за счет фильтрации вод из двух небольших озер, расположенных в подпрудном бассейне седиментации, блокированном тыльной частью обвала. Эта ложбина стыкуется с вершиной сейсмотектонической расщелины длиной более 2 км, деформированной в устье сбросовым уступом с образованием водопада видимой высотой около 8 м. Всего в левом борту древней троговой долины Хетакагчан на 12-километровом ее отрезке, примыкающем к суброю Сфинкс, дешифрируется на аэроснимках около десятка таких водопадов, которые, несомненно, маркируют активный тектонический уступ, рассекающий Бахапчинский массив. Подобный уступ в гранитах ограничивает сейсмоблок ХЕТАКАГЧАН-360 и с северо-запада (рис. 67). Он является одним из основных элементов строения узкой грабенообразной долины – «Бахапчинской трубы». Она деформирована серией поперечных уступов, которыми обусловлено существование известных бахапчинских порогов: Ивановского, Юрьевского (ныне почти снивелированного аллювиальной аккумуляцией), Степановского, Васильевского и Михайловского (также почти погребенного) и еще такого же количества безымянных.



Рис. 67. Каскадный водопад (рис. 38) на одном из левых притоков р. Бахапча вблизи Васильевского порога в Бахапчинской «трубе». Водопад препарирует ступенчатые сбросовые сместители левого борта грабеноообразной долины прорыва реки сквозь Бахапчинские горы. Нижняя ступень гранитов сглажена весенними ледоходами

Около десятка сбросовых уступов, секущих скальное русло Бахапчи на 12-километровом отрезке ее долины при пересечении Бахапчинских гор, вместе с дешифрирующимися на снимках мно-
гочисленными разрывами горных склонов и водоразделов, свидетельствуют о аномально высокой степени тектонической раздробленности гранитного массива, но только в пределах роя палеосейсмодислокаций, где помимо тектонических присутствуют и гравитационные дислокации. Так, левый борт «Бахапчинской трубы», также сложенный гранитами Бахапчинского массива, практически лишен как тектонических, так и гравитационных дислокаций, за исключением узкой зоны сбросов левого берега Бахапчи. Суброй Увязка, включающий серию обвалов, в том числе крупный обвал Увязка-40 (Э-К-УП- $h_2$ V) и участок тектонического бедленда, находится за пределами гранитного массива и его возникновение, очевидно, обусловлено повышением обвального потенциала именно за счет расположения в контактовой зоне батолита. Нет крупных гравитационных дислокаций и аномальной концентрации тектонических нарушений во всех соседних, не менее и даже более высоких горах, также сформированных на гранитных батолитах: г. Большой Мандычан, 2 219 м, г. Малый Мандычан, 1 973 м, хр. Больших Порогов, 1 999 м, хр. Большой Аннгачак, 2 292 м, г. Обинская, 2 136 м, г. Ярыга, 2 020 м. Это, наряду с заверенными в «поле» фактами залегания обвалов, например, на обширном конечно-моренном комплексе в устье древнего трога Хетакагчан полностью исключает возможность интерпретации формирования аномально многочисленных гравитационных и комплексирующихся с ними тектонических дислокаций в Бахапчинских горах какими-либо иными, нежели сейсмическими, процессами.

Главным образом по группированию крупных гравитационных дислокаций в пределах роя Бахапча можно выделить несколько суброев в его составе (рис. 39). При этом аномально высокая концентрация тектонических разрывов с их почти равномерным распределением по площади роя не может служить достаточным критерием для выделения суброев. Суброй Увязка расположен, как уже отмечалось, в контактовой зоне Бахапчинского батолита и связан с другими суброями зоной разрывов в левом борту долины р. Бахапча. Крупнейший суброй Хетакагчан простирается в север-северозападном направлении преимущественно в междуречье Бахапчи и Хетакагчана на расстояние более 20, а, возможно, и 30 км. В него, по-видимому, следует включать и менее многочисленные дислокации правобережья Хетакагчана. Суброй Озерный протягивается в виде узкой полосы северовосточного простирания длиной около 22 км вдоль верхних отрезков руч. Комар и Озерный. Суброй Дренаж простирается не менее чем на 18 км вдоль одноименного ручья также северо-восточной ориентировки. При этом крупнейший суброй Хетакагчан пересекается с тремя остальными суброями: Увязка, Озерный и Дренаж. С включением сейсмоструктур, расположенных в местах пересечений суброев, в единую Хетакагчанскую сейсмотектоническую зону длина этой непрерывной цепи тектонических, гравитационно-тектонических и маркирующих их гравитационных дислокаций достигает 40 км. В целом Бахапчинский рой представляется тектонически единым образованием; сформированным на однородном субстрате; пространственно изометричным и компактным; имеющим общие четкие границы с фоном; внутренне связанным единой системой многочисленных, большей частью коротких (до 2 км) разрывов. Разделение его на суброи оправдывается удобством изучения и описания. Группирование гравитационных дислокаций вдоль указанных протяженных суброев, вероятно, связано с линейно распределяющейся по площади повышенной трещиноватостью и привязанностью к ней повышенного обвального потенциала. Причем в ряде случаев тектоническая обусловленность обвального потенциала преобладает над геоморфологической.

В качестве примера этого можно привести формирование сейсмоструктуры Орангутан в суброе Дренаж (рис. 39, 68). Его дислокации жестко «привязаны» к хорошо выраженному в рельефе разлому, совпадающему частью длины с долиной руч. Дренаж. Он рассекает также водоразделы и склоны, не согласуясь с уже сложившимся рельефом южной периферии Бахапчинских гор. На него «нанизаны» сейсмотектонические расщелины, разломы, малые обвалы. В месте пересечения им выположенного низкогорного водораздела руч. Перевальный и Правый Рабочий зияет провальная циркоподобная структура Орангутан, интерпретируемая в качестве палеосейсмоблока ОРАНГУТАН-1. Полевые исследования подтвердили наличие в ее бортах сбросовых сместителей. При этом также был выявлен веерный, очень сильно распластанный и потому незаметный даже на аэроснимках обвал-поток Орангутан-12 (Д-УП-h<sub>2</sub>VI), очевидно, связанный с подвижкой сейсмоблока. Такие крупные дислокации явно аномальны для низкогорного округловершинного рельефа с недостаточно высоким обвальным потенциалом.



Рис. 68. Сейсмоструктура Орангутан в Бахапчинском рое, включающая палеосейсмоблок ОРАНГУТАН-1 (*O-1*) и крупный веерный обвал Орангутан-12 (*O-12*), прикрывший собой большую часть поверхности сейсмоблока

Особого внимания заслуживает северный выступ Бахапчинского роя (рис. 69), в первоначально установленных его границах [Важенин и др., 1997], простирающийся вдоль низовий Бахапчи. Под низкогорными бортами долины Бахапчи обнаружено несколько малых обвальных тел объемами до 1 млн м<sup>3</sup>. Причем практически все крутые склоны относительной высотой 100-150 м осложнены здесь камнепадными кулуарами с формирующимися под ними обвально-осыпными конусами выноса. И почти на всех из них при полевом обследовании довелось наблюдать «живьем» процессы малообъемных обрушений (десятки и сотни кубометров). Кроме того, ночью с 8-го на 9-е августа 1 991 г. на правобережье Бахапчи вблизи устья руч. Алмазный произошло обрушение, судя по силе сотрясения грунта, объемом в десятки тысяч кубометров. Эти факты представляются как резкая геоморфологическая (геодинамическая) аномалия и, возможно обусловлены реакцией земной коры на увеличение нагрузки, вызванной заполнением недалекого отсюда водохранилища Колымской ГЭС. Не исключается также влияние на повышение активности обвально-осыпных процессов весьма сухой и жаркой погоды в течение всего лета 1 991 г., обусловившей повышенную глубину сезонной протайки многолетнемерзлых скальных горных пород.

Дислокации северного выступа роя Бахапча протягиваются в виде узкой полосы длиной 34 км, не выходя за пределы долины р. Бахапча, и хотя не «привязаны» непосредственно к крупному, хорошо выраженному в рельефе Умарскому разлому длиной более 100 км, но, пожалуй, находятся в зоне его влияния. Эти дислокации отличаются по всем параметрам (величине, типу, характеру размещения) от дислокаций Бахапчинских гор. Кроме того, они обособлены пространственно и тектонически. Это дает основания для выделения их в самостоятельный рой Умара. Из-за отсутствия достаточно длинных и выраженных в рельефе молодых или сейсмически активизированных разломов определение магнитуды роя Умара по их длине не представляется возможным. Магнитуда его, вычисленная по величине площади (34 км<sup>2</sup>, при ширине около 1 км), составила 6,7. Возраст, оцениваемый по признакам постсейсмической адаптации литосборов, – не менее сотен – первых тысяч лет.

Магнитуда роя Бахапча, рассчитанная по длине непрерывной Хетакагчанской зоны сейсмогенных разломов (около 40 км), маркируемых многочисленными гравитационными дислокациями, равняется 7,3, а по величине площади роя (800 км<sup>2</sup>) – 7,4. Возраст роя, определенный суммированием дендрохронологической и радиоуглеродной датировок, выполненных по образцам кедрового стланика с поверхности обвала Сфинкс-150, превышает 750 лет. Возраст его по признакам постсейсмической адаптации литосборов оценивается не менее чем в 800-1 000 лет. В некоторых местах роя отмечаются редкие случаи налегания малых обвалов на крупные, что может интерпретироваться либо в качестве следов еще одного, но существенно менее сильного сейсмического события в пределах Бахапчинского роя, либо в качестве реакции обвалообразования на сильное, более позднее землетрясение в ближних окрестностях Бахапчинских гор, например, в низовьях Бахапчи, при котором возник рой Умара.



Рис. 69. Рой палеосейсмодислокаций Умара



Рис. 70. Рой палеосейсмодислокаций Колыма. 3-0,2 - предполагаемый палеосейсмоблок ЗОРЬКА-0,2

Глубина очага древнего землетрясения, вызвавшего формирование крупного роя Бахапча при учете высокой магнитуды, сравнительно равномерного распределения дислокаций по всей площади роя и наличия, наряду с этим, крупнейших сейсмоструктур в его составе, оценивается как средняя – около 15-20 км. Глубина очага землетрясения для Умарского роя, определяемая на основе незначительности гравитационных дислокаций и практически полного отсутствия значимых тектонических, в сочетании с большой протяженностью роя оценивается как превосходящая среднюю – более 15-20 км. Это согласуется с положением роя в зоне Умарского глубинного разлома.

Рой Колыма (рис. 1, 70) выявлен в 1 990-91 гг. по аэроснимкам и изучен пока только дистанционно [Важенин, 1997; Важенин и др., 1997]. Он содержит несколько обвалов и оползней объемами до 1 млн м<sup>3</sup>, сбросовые уступы, некрупные расщелины и сейсмоблоки. Все эти дислокации «нанизаны» на систему молодых коротких (до 2,5-3 км) разломов, расположенных в виде веера длиной около 95 км, расширяющегося к востоку от 6 до 35 км. Подобно этому к востоку возрастает амплитуда врезанных меандр Колымы, что, очевидно, не случайно, а закономерно. Врезание Больших Колымских меандр в низкогорную перемычку между Тасканской и Сеймчано-Буюндинской впадинами обусловлено продолжающимся формированием зоны разломов – одной из целой серии оперяющих по отношению к крупнейшему региональному и сейсмически активному разлому Улахан (рис. 71). Рой Колыма, по-видимому, одновременно с размещением в Арманско-Бахапчинской зоне входит и в состав субпояса палеосейсмодислокаций Черского.

Низкогорность территории роя, и вследствие этого невысокий обвальный потенциал, повышают значимость некрупных колымских дислокаций. Они заслуживают внимания также в связи с ведущимся в его пределах строительством Усть-Среднеканской ГЭС. Колымский рой выделяется из всех описанных в данной работе максимальной длиной зоны разрывов (95 км) и максимальной площадью (2 375 км<sup>2</sup>), а этим определяется и рекордная для региона величина вычисленной по ним магнитуды 7,6. С ним здесь способны конкурировать лишь еще менее изученные крупные рои Тас-Кыстабыт, Гижига, Чуткавар. Равность дислокаций по величине и их довольно равномерное распределение по большой площади роя могут служить основаниями для предположения о большой глубине (не менее 15-20 км) очага древнего землетрясения, вызвавшего их возникновение. Это также согласуется с тектоническим положением в зоне Таскано-Колымского разлома, оперяющего по отношению к крупнейшему глубинному разлому Улахан.



Рис. 71. Зоны землетрясений с интенсивностью 8 баллов и более в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского:1-4 – эпицентры современных землетрясений (по Б.М.Козьмину [1984]) энергетических классов: 1 – 12-го, 2 – 13-го, 3 – 14-го, 4 – 15-го и более; 5 – рои палеосейсмодислокаций(контуры роев изображены в масштабе карты); 6 – крупные разломы, хорошо выраженные в рельефе, дешифрированные на мелкомасштабных космоснимках; 7 – названия крупнейших систем разломов, выраженных в рельефе на мелкомасштабных космоснимках; 8 – границы зон с интенсивностью возможных землетрясений менее и более 8 баллов (штрихи направлены в сторону уменьшения интенсивности): более (*a*) и менее (*б*) достоверные; 9 – Янская зона палеосейсмодислокаций; 10 – Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмодислокаций; 11 – «окна» слабой и средней сейсмичности (менее 8 баллов) в пределах сейсмического пояса Черского: *И* – Инское, *B* – Верхнеколымское, *Б* – Буюндинское

# 5.1.4. Янская зона палеосейсмодислокаций

Дислокации Янской зоны палеосейсмодислокаций (рис. 1), целиком входящей в состав Североохотоморского пояса, несмотря на поперечное по отношению к нему расположение, группируются в шесть роев: Правый Рог, Верхний Янычан, Нижний Янычан, Налтай, Нараули, Молдот. Они выявлены в 1 994 г. и изучены пока только по аэроснимкам. Отсутствие при тотальном палеосейсмогеологическом исследовании региона спектрозональных стереокосмоснимков на бассейн Яны не обеспечило полную реализацию преимуществ новой методики для обнаружения и изучения здесь сейсмодислокаций, но, в то же время, высокая ее производительность и приобретенный опыт позволили выделить время для довольно трудоемкого обследования по аэроснимкам сравнительно небольших участков сейсмического пояса, на которые нет кондиционных космоснимков.

1 KM

Рой Верхний Янычан (рис. 1, 72). В этом рое обнаружена и изучена по аэроснимкам наиболее интересная структура в Янской зоне – палеосейсмоблок ЛИХОЙ-32 [Важенин, 1996 б]. Он отличается от других сейсмоблоков не только значительной величиной (с поперечником около 3,8 км), но и

почти идеальной округлой формой контура, что наряду с другими морфологическими особенностями позволяет квалифицировать его в качестве кольцевой вулканотектонической морфоструктуры. Лишь внешний контур ее маркируется большим количеством, главным образом малых гравитационных дислокаций. На их фоне выделяется рассеченный суффозионнокрупный обвал Лихой-6, эрозионным каньоном.

Рис. 72. Рой палеосейсмодислокаций Верхний Янычан в Северном Приохотье: Л-6 – обвал Лихой-6; Л-32 – палеосейсмоблок ЛИХОЙ-32

Рои Молдот и Нараули отличаются крупными и довольно многочисленными гравитационными дислокациями типа обвалов-потоков.



# 5.1.5. Момо-Охотский субпояс палеосейсмодислокаций

Он отличается от двух других субпоясов меньшей выраженностью в виде линейной структуры. Большая часть его роев простирается в север-северо-восточном направлении и находится в пределах Охотского срединного массива (рис. 1, 71). Момо-Охотский субпояс «целит» в поперечные к субпоясу Черского (и входящие в него) две группы роев: Елау, Тирехтях, Гармычан и Делянкир, Дарпирчик, Дарпир, Нючага, Арга-Тас. При этом существует обширный его гипотетичный отрезок в верховьях Индигирки, где нет палеосейсмодислокаций или они пока не обнаружены. Отсутствие их здесь объясняется отчасти пробелами в обеспеченности космоснимками, а также малой величиной обвального потенциала в пределах Верхненерской впадины и ее пологих бортов в Нерском плоскогорье. Вместе с тем этот разрыв сплошности субпояса компенсируется в некоторой мере непрерывностью Момо-Охотской системы разломов (рис. 71) и попаданием на них эпицентров сильных современных землетрясений – Артыкского 1 971 г. (9 баллов) и Аян-Юряхского 1 970 г. (7 баллов).

Почти все предполагаемые палеосейсмодислокации Момо-Охотского субпояса выявлены автором по космоснимкам в разное время начиная с 1 987 г. Некоторые рои рекогносцировочно изучались и аэрофотометодами [Важенин, 1996 б] (разд. 2.9.). Две гравитационные дислокации роя Американ (рис. 1) в бассейне одноименной реки описаны Г.С.Ананьевым с соавторами [1988] в качестве результатов расседания междуречий при возможном влиянии умеренной сейсмической активности. Для генетической и сейсмологической интерпретации дислокаций субпояса требуется их более обстоятельное изучение.

# 5.2. Закономерности строения и размещения палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского

Появление обильной палеосейсмогеологической информации, полученной в результате применения новой методики, обусловило возникновение возможности выявления неизвестных ранее и дополнительного обоснования старых закономерностей строения и пространственного размещения палеосейсмодислокаций. Выявление и описание таких закономерностей представляет собой достаточно крупную самостоятельную работу и по объему выходит за рамки данной публикации. Здесь приводятся наиболее важные и в значительной мере готовые ее разделы.

К числу известных закономерностей относится морфологическое подобие палеосейсмодислокаций сейсмодислокациям современных сильных землетрясений. Выполненные исследования позволили дополнить представление о подобии древних и современных сейсмодислокаций внесением поправки на возраст палеосейсмодислокаций, пропорционально которому различия между ними увеличиваются в процессе постгенетической эволюции дислокаций в системе сейсмически активизированных литосборов (разд. 2.7., 2.8.). При этом отмечается более высокая стабильность характеристик крупных гравитационных дислокаций сравнительно с тектоническими, что обусловлено их частым залеганием на консервативных в отношении денудации и аккумуляции элементах рельефа, а также крупными размерами, обеспечивающими им существенное и весьма специфическое влияние на ход процессов постсейсмической адаптации литосборов. Особенности вариации геометрической формы гравитационных дислокаций изложены в разделах 2.7.1., 2.7.2.

Обычное комплексирование дислокаций разных морфологических типов в составе роев описано в разделе 2.5. Одной из важнейших закономерностей в пространственном размещении палеосейсмодислокаций представляется наблюдающееся наличие нескольких уровней (вариантов) их группирования (рис. 1): 1) дислокации всех морфологических типов и вся их совокупность группируются в виде более чем 60 плотных компактных роев; 2) большая часть роев выстраивается в два протяженных субпояса палеосейсмодислокаций – Черского и Североохотоморский; 3) меньшая часть роев ориентирована в виде двух менее протяженных зон палеосейсмодислокаций – Арманско-Бахапчинской и Янской; 4) вся совокупность роев группируется еще и в качестве довольно изометричных суперроев – Туостах (7 роев), Черского (20), Колымский (3), Шелихова (4), Тауйский (15), Охотский (14); 5) в составе роев допускается выделение дифференцированных в пространстве и/или времени суброев; 6) в пределах роев и суброев возможно также вычленение пространственно обособленных и весьма компактных микророев и сейсмоструктур.

Факт размещения около 80% роев палеосейсмодислокаций в контурах и особенно на контактах позднемезозойских интрузивов отмечен в разделах 2.7., 2.9.

Рои палеосейсмодислокаций располагаются на изученной территории только в пределах сейсмического пояса Черского [Важенин и др., 1997]. При этом пояса, зоны и суперрои палеосейсмодислокаций, с одной стороны, и рои современных сильных землетрясений с энергетическим классом не менее 12 – с другой, являются взаимно дополнительными друг к другу в пространственном размещении (рис. 71). Они, к тому же, хорошо совпадают по географическому положению с системами четко выраженных в рельефе и дешифрированных только по мелкомасштабному космоснимку (обеспечивающему высокий уровень естественной генерализации) крупнейших разломов: Черского, Североохотоморской и Момо-Охотской. Пространственное совпадение трех компонентов (палеосейсмодислокаций, эпицентров современных сильных землетрясений и систем крупнейших разломов), по-видимому, не случайно и указывает расположение на местности наиболее подвижных и сейсмически активных участков земной коры в регионе.

Субпояс Черского служит выражением в повышенной сейсмической активности, проводимой здесь границы двух литосферных плит: Евразийской и Североамериканской. Североохотоморский сейсмоактивный субпояс с прилегающим континентальным шельфом, вероятно, маркирует край Охотоморской литосферной плиты. Момо-Охотский субпояс, по-видимому, служит третьей границей почти треугольного Колымского блока, «выкалывающегося» на стыке трех упомянутых более крупных плит. Интересно то, что довольно обширные внутренние пространства «Колымского треугольника» (или точнее сектора) являются существенно менее сейсмичными по сравнению с краевыми и представлены тремя средне и слабо сейсмичными «окнами» (Инское, Верхнеколымское, Буюндинское), в пределах которых нет палеосейсмодислокаций и эпицентров современных землетрясений за исключением единственного – 12 класса. Эти три «окна» разделены двумя зонами палеосейсмодислокаций – Арманско-Бахапчинской и Янской, где доминируют древние эпицентры, а в Арманско-Бахапчинской зоне современных эпицентров сильных и средних землетрясений нет вовсе.

Суперрои палеосейсмодислокаций юго-восточной половины сейсмического пояса Черского располагаются и, по-видимому, не случайно, на пересечениях субпоясов и зон землетрясений с интенсивностью 8 балов и более: суперрой Черского – на пересечении субпоясов Черского и Момо-Охотского; суперрой Шелихова – на стыке субпоясов Черского и Североохотоморского; Тауйский суперрой – на пересечении Североохотоморского субпояса с Янской и Арманско-Бахапчинской зонами; Охотский суперрой означает стык Североохотоморского и Момо-Охотского субпоясов. Пространственная стыковка сейсмических поясов Черского и Байкальского (рис. 73) в хр. Джугджур (где известен протяженный рой мощных сбросообвалов и тектонических палеосейсмодислокаций [Алексеев и др., 1975]), а также сходство по энергетическим параметрам палеосейсмодислокаций и по оценкам повторяемости разрушительных землетрясений в этих поясах (разд. 6.2.) дают новые основания для объединения их (вслед за В.П.Солоненко [1968] и М.Д.Алексеевым с соавторами [1975]) в протяженный сегмент Евразийского сейсмического пояса (который можно назвать Восточносибирским), с образованием в итоге еще более крупного планетарного Циркумевразийского сейсмического пояса [Vazhenin, 1994 *b*]. При этом возможность соединения сейсмического пояса Черского встык с Алеутским глубоководным желобом, поперек структур Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, залива Шелихова и Камчатского п-ова, менее обеспечена фактическим материалом и базируется главным образом на геометрических построениях.



Рис. 73. Соединение в Северо-Западном Приохотье сейсмического пояса Черского с Байкальской и Олекмо-Становой сейсмическими зонами с образованием замкнутого (подобно Тихоокеанскому и другим сейсмическим поясам) Циркумевразийского сейсмического пояса: 1 – Циркумевразийский сейсмический пояс; 2 – Евразийский сейсмический пояс; 3 – сейсмический пояс Черского; 4 – Байкальский сейсмический пояс; 3-4 – Восточносибирский сегмент Циркумевразийского сейсмического пояса; 1-5 – сейсмические пояса с магнитудой землетрясений не менее 5 (по С.Л.Соловьеву [1986])

## 5.3. Сейсмологическая интерпретация палеосейсмодислокаций в сейсмическом поясе Черского

Сейсмологическая интерпретация палеосейсмодислокаций базируется на генетической интерпретации отдельных дислокаций и каждого роя. Результаты генетической интерпретации представ-

лены при описании наиболее изученных роев палеосейсмодислокаций региона в разделе 5.1., а для некоторых сейсмоструктур они также излагались в разделе 2.13.

Сейсмологическая интерпретация может выполняться на нескольких таксономических уровнях: отдельных дислокаций, суброев, роев, зон, субпоясов, поясов. Для нижних рангов, вплоть до уровня роев, она представлена в разделе 5.1. При этом определялось положение границ каждого роя; по длине зон сейсмогенных разрывов и по величине площади роев с использованием известных формул вычислялись магнитуды древних землетрясений; по характеру распределения величины дислокаций в пределах роев и их соотношению с величиной площади роев оценивалась глубина очагов землетрясений; по данным дендрохронологического и радиоуглеродного датирования определялся минимальный возраст крупнейших гравитационных дислокаций; дополнительная оценка возраста дислокаций и сейсмических событий выполнялась на основе анализа признаков постсейсмической адаптации обвальных литосборов. Полученные результаты сейсмологической интерпретации изученной совокупности роев составляют внутренне не противоречивую систему, характеризующую уровень голоценовой сейсмичности региона.

Величина магнитуды древних разрушительных землетрясений, запечатлевшихся в выявленных и изученных палеосейсмодислокациях региона, изменяется в пределах 6,5-7,6 (табл. 5).

Таблица 5

N⁰	Рой палеосейсмодислокаций	L, км	М <sub>дл</sub>	S, км <sup>2</sup>	Мпл
1	Тирехтях	16	6,9	276	7,1
2	Елау	15	6,9	105	6,9
3	Нючага	9	6,6	60	6,8
4	Дарпир	45	7,3	675	7,3
5	Дарпирчик	13	6,8	52	6,8
6	Молиджак	6	6,5	18	6,5
7	Туманы	15	6,9	144	7,0
8	Чинганджа	24	7,1	330	7,2
9	Дукча	26	7,1	156	7,0
10	Гертнера	11	6,7	-	-
11	Сиглан	16	6,9	126	7,0
12	Дёл-Урэкчэн <sup>8</sup>	15	6,9	288	7,1
13	Финальный	15	6,9	90	6,9
14	Аган	7	6,5	28	6,6
15	Дондычан	-	-	17	6,5
16	Светлый	-	-	114	6,9
17	Хурэндя	-	-	80	6,9
18	Бахапча	40	7,3	800	7,4
19	Умара	-	-	34	6,7
20	Колыма	100	7,6	2 375	7,6

Магнитуды роев палеосейсмодислокаций осевой зоны юго-восточной половины сейсмического пояса Черского, вычисленные с использованием известных формул (разд. 2.11.), по длине (L) зон сейсмогенных разрывов – М<sub>дл</sub> и по величине площади (S) роев палеосейсмодислокаций – М<sub>пл</sub>

При этом на диапазон М=6,8-7,0 (с вычислением магнитуды по величине площади роя, обеспечивающей более представительные данные) приходится половина сильнейших сейсмических событий. Землетрясения в диапазонах с М=6,5-6,7 и М=7,1-7,3 составляют от общего их количества около 22 и 17 %, соответственно. Сильнейшие землетрясения с М=7,4-7,6 наиболее редки – 11%. Результаты определения магнитуд по длине зон сейсмогенных разрывов несколько менее представительны, но в целом мало отличаются от полученных по величине площади роев.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Рой Дёл-Урэкчэн интерпретируется неоднозначно: либо как отдельный крупный рой, либо в качестве серии соседних менее крупных роев – Финальный, Аган и Дондычан (разд. 5.1.). При сейсмологической интерпретации использован второй вариант.

Эти новые еще не публиковавшиеся оценки магнитуд голоценовых разрушительных землетрясений юго-восточной половины сейсмического пояса Черского принципиально не меняют представление о его уровне сейсмичности, они только значительно повышают его сейсмостатистическую обеспеченность. Полученная по палеосейсмогеологическим данным максимальная величина магнитуды – 7,6 – не на много (на 0,5 единицы М) отличается от инструментально зарегистрированной магнитуды Артыкского землетрясения 1 971 г. – 7,1. Причем оно приходится на диапазон М=6,9-7,1, составляющий более 44% от всех зафиксированных в палеосейсмодислокациях разрушительных землетрясений региона. Это позволяет расценивать Артыкское землетрясение – сильнейшее из инструментально зарегистрированных в регионе – не как уникальное событие, а в качестве сравнительно обыденного явления на фоне голоценовой сейсмической активности. Так же квалифицируется и второе из двух разрушительных современных землетрясений региона – Ямское 1 851 г. (М=6,5-6,8, разд. 5.1).

Снижение числа разрушительных сейсмических событий в изученной выборке в сторону высоких энергий является отражением известного закона повторяемости землетрясений (рис. 74). Резкое убывание доли землетрясений в направлении меньших энергий объясняется естественным уменьшением вероятности возникновения крупных сейсмодислокаций с приближением к «критическому» для их образования значению магнитуды – 6,5. Дополнительно их доля убывает благодаря снижению чувствительности тотальной палеосейсмогеологической методики, «настроенной» на крупные гравитационные дислокации в качестве индикаторов. То есть реальное число голоценовых сейсмических событий с магнитудами в диапазоне 6,5-6,7 было значительно большим, чем полученное по изложенным палеосейсмогеологическим данным, и существенно большим, чем приходящееся на самый представительный в данной выборке диапазон М=6,8-7,0.

Рис. 74. Распределение количества голоценовых разрушительных землетрясений по магнитуде для осевой зоны юго-восточной половины сейсмического пояса Черского: 1а, б – в диапазоне магнитуд 6,5-7,6, вычисленных по палеосейсмодислокациям; 1а в палеосейсмогеологически представительном диапазоне с *M*=6,8-7,6; палеосейсмогеологически 16 в непредставительном диапазоне с М менее 6,8; 2 палеосейсмологическая реконструкция разрушительных сейсмических событий посредством экстраполяции в палеосейсмогеологически непредставительном диапазоне c M=5,9-6,7

Экстраполяцией по графику повторяемости разрушительных голоценовых землетрясений, построенному по палеосейсмогеологическим данным (рис. 74), можно оценить число разрушительных землетрясений в диапазоне М=6,5-6,7. Оно составляет около 22 событий, против четырех, выявленных по



палеосейсмодислокациям в данном диапазоне. При этом общее количество землетрясений, «реконструированных» по лучше изученным палеосейсмодислокациям, не превышает 20. Число сейсмических событий в палеосейсмогеологически представительном диапазоне (с магнитудами не менее 6,8), согласующемся с законом повторяемости землетрясений, равно 14. Сумма событий, полученных по представительной части палеосейсмодислокаций (14) и определенных экстраполяцией по графику повторяемости (22) составляет 36. Это число ровно в два раза больше выборки изученных палеосейсмодислокаций с имеющимися значениями магнитуд, полученных по величине площади роев. Вычисленный коэффициент (2) отношения числа всех сейсмических событий в диапазоне не менее 6,5 к числу палеосейсмодислокаций, является, по-видимому, величиной более-менее постоянной, и его можно использовать для оценки общего числа разрушительных землетрясений. Поскольку в сейсмологической интерпретации осевой зоны юго-восточной половины сейсмического пояса Черского не использовались еще шесть расположенных в ее пределах, но недостаточно изученных роев палеосейсмодислокаций, и один рой не имеет оценки магнитуды по величине площади, их совокупность увеличится еще на семь штук и достигнет 25. При умножении этого числа на коэффициент 2 получим количество разрушительных голоценовых землетрясений в характеризуемой осевой зоне – 50.

Может оказаться полезным для палеосейсмологических реконструкций еще один коэффициент, определяемый из отношения числа землетрясений в диапазоне М=6,5-6,7 (получаемого экстраполяцией по графику повторяемости) к числу событий палеосейсмогеологически представительного диапазона – не менее 6,8. Для осевой зоны он приблизительно равен 1,6 (22:14=1,57) и, вероятно, также мало изменяется для достаточно крупных выборок.

Необходимо учитывать то, что приведенные сведения по голоценовой высокоэнергетической сейсмичности ввиду незавершенности дистанционного изучения и полевой заверки выявленных роев палеосейсмодислокаций, носят предварительный характер. Сейсмически интерпретировано в данной работе лишь 20 роев палеосейсмодислокаций из приблизительно 70, выявленных в юговосточной половине сейсмического пояса Черского. Однако все 20 роев приходятся на осевую зону пояса, простирающуюся на 800 км в северо-западном направлении и имеющую ширину до 250-300 км. В пределах ее только шесть роев не изучены в достаточной мере для выполнения их сейсмологической интерпретации. Таким образом представленные данные максимально полно на сегодня освещают «разрушительную» составляющую голоценовой сейсмичности именно этой зоны, в которую входят самые густонаселенные и экономически освоенные районы Магаданской области. Эту характеристику можно, с достаточно высокой степенью уверенности в ее справедливости, распространить и на остальные части региона с выявленными и дистанционно изученными роями палеосейсмодислокаций. Но для повышения ее достоверности следует выполнить довольно объемную работу по доизучению большинства труднодоступных роев, по выявлению новых (пропущенных при поиске) и по их сейсмологической интерпретации.

50 разрушительных землетрясений отмеченной осевой зоны приходятся на десятитысячелетний голоценовый отрезок времени. То есть в течение голоцена такие землетрясения происходили в среднем один раз в 200 лет для всей зоны в целом. Площадь ее составляет 200 тыс.км<sup>2</sup> (800×250 км). Тогда повторяемость разрушительных голоценовых землетрясений в пределах зоны, отнесенная к каждому из 200 ее участков площадью в 1 тыс.км<sup>2</sup>, будет равна одному событию в 40 тыс.лет.

При этом необходимо учитывать то, что полученные оценки повторяемости являются усредненными. Так, два современных разрушительных землетрясения в осевой зоне – Ямское и Артыкское – произошли с меньшим перерывом – всего в 120 лет. Кроме того, рои палеосейсмодислокаций размещаются в пределах этой зоны, как и во всем регионе, весьма неравномерно. В некоторых местах их нет совсем, в других они группируются в виде суперроев, субпоясов и зон (рис. 1). Так же неравномерно, как уже отмечалось, дополняя картину пространственного распределения палеосейсмодислокаций, располагаются в регионе и эпицентры современных сильных и средних землетрясений с энергетическим классом не ниже 12 (рис. 71). Более слабые землетрясения исключены из данного анализа из-за значительной несопоставимости по энергии с сейсмическими событиями, вызывающими образование сейсмодислокаций, и высокой хаотичности их размещения, затрудняющей выявление закономерностей. Положение и конфигурация осевой зоны, в которой произведено почти полное изучение роев палеосейсмодислокаций, определены в достаточной мере случайно и связаны с транспортной доступностью объектов изучения.

Значительное число выявленных и частично изученных роев палеосейсмодислокаций в сочетании с данными по современным сильным и средним землетрясениям позволяет выполнить дифференциацию региона на участки, где были и не были разрушительные землетрясения с интенсивностью 8 баллов и более. Помимо этой информации при таком районировании по «разрушительной» составляющей сейсмичности использовались крупнейшие в регионе протяженные системы разломов, дешифрирующихся на мелкомасштабных (около 1:2 500 000) космоснимках (рис. 71). Высокий уровень естественной генерализации, свойственный этим снимкам, позволяет выделять только наиболее крупные, хорошо выраженные в рельефе, долгоживущие и, по-видимому, периодически сейсмически активизирующиеся разломы, стыкующиеся по-разному в виде протяженных систем. Именно эти системы, а не отдельные разломы, даже самые крупные, являются одноранговыми по отношению к субпоясам палеосейсмодислокаций, которые формируются в результате пространственного группирования роев.

Систему разломов Черского протяженностью более 800 км составляет разлом Улахан с оперяющими его однотипными и расположенными кулисообразно друг к другу разломами длиной главным образом по 50-100 км. Североохотоморская система разломов, простирающаяся на расстояние около 850 км, состоит из нескольких, не вполне стыкующихся между собой серий субпараллельных разломов длиной, большей частью, до 200-300 км. Момо-Охотская система протяженностью до 500 км также состоит из нескольких серий субпараллельных длиной по 50-100 км, но дальше отстоящих друг от друга разломов. Эти разломы не всегда совпадают с выделяемыми чисто геологическими методами – по смещению маркирующих горизонтов.

При анализе пространственного размещения трех компонентов (систем разломов, роев палеосейсмодислокаций и эпицентров современных землетрясений с энергетическим классом не ниже 12) на основе которых производится районирование, наблюдается уже отмеченное их неплохое совпадение в пределах протяженных субпоясов палеосейсмодислокаций: Черского, Североохотоморского и Момо-Охотского (рис. 71). Вместе с этим в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского выделяются довольно обширные слабосейсмичные «окна»: Инское, Верхнеколымское и Буюндинское, внутри которых совершенно нет палеосейсмодислокаций и даже эпицентров более-менее значимых современных землетрясений, за исключением одного 12-го класса. Эти «окна» разделяются двумя сравнительно короткими (до 350 км) и узкими (около 50 км) зонами с аномально высокой концентрацией роев палеосейсмодислокаций: Арманско-Бахапчинской и Янской.

Наилучшее совпадение трех указанных компонентов и критериев районирования наблюдается в пределах субпояса Черского. Здесь некоторые рои и даже крупнейшие сейсмоструктуры жестко «привязаны» к разломам (разд. 5.1.). На участках снижения величины обвального потенциала и слабой обеспеченности космоснимками в горном обрамлении Сеймчано-Буюндинской впадины пробелы в размещении палеосейсмодислокаций на оси субпояса удачно заполняются серией эпицентров современных 6-7-балльных сеймчанских и купкинских землетрясений 1 970-х гг. Слабее такая связь проявляется в Североохотоморском субпоясе. Здесь, например, значительная часть длины единой Нялоп-Ямской зоны разломов (разд. 5.1.) находится в пределах слабосейсмичных Инского и Буюндинского «окон» и лишь в некоторых местах, на пересечениях ее с Янской и Арманско-Бахапчинской зонами, маркирована роями палеосейсмодислокаций. На участке пониженного обвального потенциала Момо-Охотского субпояса при пересечении им Верхненерской впадины и Нерского плоскогорья дефицит палеосейсмогеологической информации восполняется наличием непрерывной цепочки разломов и расположением здесь эпицентров сильных современных землетрясений: Артыкского 1 971 г. (9 баллов) и Аян-Юряхского 1 970 г. (7 баллов). Недостаток палеосейсмогеологических данных на северо-западном фланге Янской зоны, обусловленный слабой обеспеченностью космоснимками, компенсируется размещением здесь эпицентров современных землетрясений, в том числе 7-балльного Кулинского 1 972 г. В пределах Янской и Арманско-Бахапчинской зон палеосейсмодислокаций не дешифрируются и не наблюдаются на местности разломы, которые были бы выражены в рельефе и совпадали бы по простиранию и рангу с этими зонами. Кроме того, в Арманско-Бахапчинской зоне нет эпицентров современных землетрясений не ниже 12-го энергетического класса.

В наиболее изученную и сейсмологически предварительно интерпретированную осевую зону юго-восточной половины сейсмического пояса Черского, как это видно на схеме (рис. 71), попадают разные элементы его строения: часть субпояса Черского, часть Североохотоморского субпояса, вся Арманско-Бахапчинская зона, полностью Буюндинское слабосейсмичное «окно», большая часть Верхнеколымского «окна». Такая интерпретация произведена для осевой зоны в целом – без учета ее довольно резких внутренних различий. Это напоминает ситуацию, при которой в реке со средней глубиной полметра утонул трактор. Имеющиеся на сегодня данные изучения роев позволяют приступить к выполнению сейсмологической интерпретации территории с учетом ее пространственной сейсмологической дифференциации. Так, Арманско-Бахапчинская зона площадью 17 500 км<sup>2</sup> со-

держит 11 известных к настоящему времени и большей частью изученных и сейсмологически интерпретированных роя палеосейсмодислокаций. Число голоценовых разрушительных землетрясений в ее пределах (22) просто получить с использованием коэффициента (2) на основе количества палеосейсмодислокаций (11).

Из этого следует, что за десятитысячелетний голоценовый период разрушительные землетрясения с магнитудой не менее 6,5 происходили в Арманско-Бахапчинской зоне не реже одного раза в 455 лет. На каждом участке площадью в 1 тыс.км<sup>2</sup> в пределах зоны такие катаклизмы случались не реже одного раза за 7 955 лет. Такая величина периода между разрушительными землетрясениями в пределах Арманско-Бахапчинской зоны, отнесенная к каждому из его участков площадью в 1 тыс.км<sup>2</sup>, сравнима по продолжительности с голоценом. Это может вызвать некоторые сомнения в достоверности полученного результата, поскольку для, так сказать, сейсмического срабатывания всех участков потребуется около 140 тыс.лет. Это можно удовлетворительно объяснить тем, что за голоценовое время успели сработать далеко не все элементарные участки. Причем в результате 11 сильнейших голоценовых сейсмических событий возникли, сохранились в рельефе и были обнаружены и изучены рои палеосейсмодислокаций. Остальные 11 землетрясений класса разрушительных либо не оставили после себя заметных следов в рельефе, попав на участки с пониженным обвальным потенциалом, либо их дислокации исчезли в результате постсейсмической эволюции, либо были стерты или завуалированы еще более сильными последующими землетрясениями, попавшими в их плейстосейстовые области, либо были пропущены при поиске из-за незначительности размеров и неудовлетворительной обеспеченности дистанционными материалами. Все эти «либо» обусловливают оценку полученной повторяемости как минимальной величины, то есть разрушительные землетрясения на каждом участке площадью в 1 тыс.км<sup>2</sup> в пределах Арманско-Бахапчинской зоны происходят в среднем не реже одного раза за 7 955 лет. При этом на смежных территориях в пределах соседних слабосейсмичных Верхнеколымского и Буюндинского «окон» таких землетрясений в голоцене не было вовсе или было очень мало, но следы их пока не обнаружены.

Границы зон разрушительных землетрясений дифференцированы на схеме на более и менее достоверные. Первые из них разделяют участки с имеющейся информацией о наличии и отсутствии палеосейсмодислокаций и современных эпицентров по ту и другую стороны границы. К более достоверным преимущественно относятся также случаи совпадения границ с разломами, которые, вероятно, могут фиксировать тектонические разделы зон с разной сейсмичностью. Менее достоверные границы проведены там, где ощущается дефицит информации о палеосейсмодислокациях вследствие недостаточной обеспеченности участков территории качественными космо- и аэроснимками (границы первого рода) и в местах малоконтрастного рельефа с пониженным обвальным потенциалом (границы второго рода), не способствующим формированию крупных сейсмодислокаций.

При этом малая достоверность границы заключается не в том, что она либо есть, либо ее нет, а в том, что при условии наличия, местоположение ее не вполне надежно определено, то есть она может быть сдвинута в ту или иную сторону. Менее достоверные границы второго рода проведены большей частью, например, по северным выступам Инского и Верхнеколымского «окон». Менее достоверный характер границы в бассейнах pp. Сугой и Балыгычан обусловлен регистрацией в низовьях Балыгычана серии многочисленных слабых землетрясений, использованных в качестве основания для существенного повышения оценки уровня сейсмичности этой территории с применением традиционной методики сейсмического районирования. Поводом для квалификации западной границы юго-восточной половины сейсмического пояса Черского в качестве менее достоверной послужила слабая обеспеченность доступными для использования космоснимками территории западнее этого рубежа. Она наверняка должна располагаться значительно дальше к западу – уже хотя бы на основании наличия там эпицентров сильных современных землетрясений Юдомского 1 971 г. (7 баллов) и Сетте-Дабанского 1 951 г. (7-8 баллов).

Следует отметить, что полученная схема сейсмического районирования (рис. 71) по «разрушительной» составляющей сейсмичности построена на иных (палеосейсмогеологических) основаниях, нежели традиционные, стандартные. На два-три порядка более высокая ретроспективность палеосейсмогеологической информации сравнительно с инструментальной и высочайшая степень временной (или историко-геологической) генерализации сейсмических событий обеспечивают максимальное использование положительных качеств охарактеризованного (разд. 1.2.) принципа сейсмологического прецедента. То есть сейсмостатистическая обеспеченность прогноза сильнейших, наиболее важных с точки зрения сейсмической безопасности и наиболее трудно прогнозируемых традиционными методами землетрясений повышается многократно. Из современных землетрясений в разряд разрушительных с М не менее 6,5 попадают всего два – Ямское и Артыкское. Палеосейсмогеологические исследования добавляют в каталог еще около 70, выявленных по палеосейсмодислокациям таких событий, а с учетом экстраполяции в палеосейсмогеологически непредставительный диапазон (М=6,5-6,8) еще больше – около 140.

При таком количестве разрушительных землетрясений повторяемость их за голоцен в пределах всей изученной площади (около 700 тыс.км<sup>2</sup>) юго-восточной половины сейсмического пояса Черского оценивается не реже одного события за 71 год. Для каждого участка площадью 1 тыс.км<sup>2</sup> в этом регионе повторяемость составит около одного разрушительного землетрясения за 50 тыс.лет. Эта величина получилась близкой к таковой для осевой зоны обследованного региона – 1/40 тыс.лет. Она также является показателем средней повторяемости на обширной территории, внутренне весьма неоднородной по пространственному размещению палеосейсмодислокаций и сильных современных землетрясений. Для ее дифференцированной и максимально достоверной сейсмологической характеристики необходимы, как уже отмечалось, дополнительные исследования.

Несмотря на то, что более-менее обстоятельные описание, генетическая и сейсмологическая интерпретация палеосейсмодислокаций Северо-Востока России излагаются автором впервые в данной работе, имеются уже опубликованные сведения с иной их оценкой [Смирнов, 1988; Smirnov, 1992; Смирнов, Глушкова, 1996; Смирнов и др., 1998; Ващилов и др., 1996]. Так, В.Н.Смирнов [Smirnov, 1992], ссылаясь на наличие в выделенной им Ланково-Омолонской зоне разломов эпицентра Ямского землетрясения 1 851 г. (с магнитудой 6,5-6,9; разд. 5.1.), а также тектонических и гравитационных дислокаций в Туманском хребте (рои Туманы и Чинганджа с магнитудами, определенными по палеосейсмодислокациям 7,0 и 7,2; разд. 5.1.), делает неожиданный вывод о возможности здесь землетрясений с магнитудой вплоть до 9 («with a magnitude up to 9,0»). Тот же автор в тезисах 1 988 г. утверждает (но «предположительно»), что в хр. Туманском 100-150 лет тому назад в результате Ямского землетрясения 1 851 г. возник «крупный район сейсмодислокаций» (рои Туманы и Чинганджа). Полевая заверка в 1 987 г. роев Туманы и Чинганджа позволила оценить их возраст в несколько тыс. лет (не менее 2 тыс.; разд. 2.10., 5.1.).

Ю.Я.Ващилов с соавторами [1996], проанализировав недостаточно обстоятельные описания палеосейсмодислокаций автора за 1 985-1 992 гг. и признав в общем высокую вероятность сейсмогенности крупных гравитационных дислокаций, вместе с тем пришли к выводу о аномально большом количестве обвалов на Северо-Востоке России и попытались объяснить это наличием в регионе многолетнемерзлых горных пород и сезонным оттаиванием и промерзанием их в деятельном слое. Надо отметить, что мощность деятельного слоя в регионе обычно не превышает 1-1,5 м. При этом глубина захвата коренных пород склона (как бы вгрызания процесса обваливания в склон) при возникновении крупных обвалов (объемами более 1 млн м<sup>3</sup>, которые только и используются в качестве объектов-индикаторов) составляет не менее десятков и сотен метров, что, обычно, на два и даже на три порядка больше мощности деятельного слоя. Достаточно вспомнить, что объем в 1 млн м<sup>3</sup> имеет куб с ребром 100 м. То есть предположение о деятельном слое, как о существенном агенте обвальеной склоновой денудации не удовлетворяет принципам геометрической соразмерности и динамического соответствия (разд. 2.13.2., 2.13.3.). Описания морфологии крупных обвалов, приведенные в разделах 2.7., 5.1., также не дают оснований для подобных гипотез.

Представление о слишком большом количестве обвалов сформировалось, вероятно, на основе не реального их числа в разных регионах, а на дефиците таких данных. Так, до 1 980-х гг. можно было бы говорить о чрезвычайно малом количестве крупных обвалов на Северо-Востоке России, поскольку практически не было публикаций на эту тему. После тотального специализированного выявления обвалов по космоснимкам создалось впечатление, что их здесь «аномально много». В других регионах таких работ на больших площадях почти не производилось. То есть отсутствует само представление о нормальном количестве обвалов, а поэтому нет никакой возможности судить об отклонении от нормы в ту или иную сторону. Вместе с тем имеются, правда, достаточно разрозненные фрагментарные данные о наличии немалого количества обвалов на сравнительно небольших участках субрегионального ранга: в горах Средней Азии [Атлас..., 1968; Кучай, 1981; Никонов и др., 1983; Никонов, Шебалина, 1986; Федоренко, 1988; Чедия, Корженков, 1995], на Кавказе [Атлас..., 1963, Белоусов и др., 1993; Богачкин и др., 1993; Горшков, Жидков, 1998; Палеосейсмогеология..., 1979; Рогожин, Богачкин, 1993; Рогожин и др., 1990; Хромовских и др., 1977; Чигарев, Шивков, 1977, 1981; Попова, Левкович, 1981], на Алтае [Девяткин, 1965; Бутвиловский, 1993; Ивановский, 1993; Рогожин и др., 1998], в Монголо-Байкальском сейсмическом поясе [Гоби-Алтайское..., 1963; Хромовских, 1965; Живая тектоника..., 1966; Апродов, 1977; Геология..., 1985; Николаев, Семенов, 1995], на Камчатке и в Корякии [Камчатка..., 1974; Мелекесцев, Курбатов, 1997] и многие другие. При этом концентрация обвалов на единицу площади хорошо изученных участков не уступает таковой для сейсмического пояса Черского.

Краткий обзор палеосейсмодислокаций, выявленных разными исследователями преимущественно в северо-западной половине сейсмического пояса Черского, приводится в публикациях В.С.Имаева с соавторами [Имаев и др., 1990, 1995]. Фрагментарность и различное качество исходных данных затрудняют их сейсмологическую интерпретацию.

Обстоятельные описания и изображения серии сбросообвалов и других предполагаемых палеосейсмодислокаций северо-западного побережья Охотского моря на участке хр. Джугджур [Алексеев и др., 1975; Уфимцев, 1984, 1993] позволяют сделать предварительную сейсмологическую интерпретацию этого, по-видимому, единого Лантарь-Аянского роя длиной более 50 км. Магнитуда, вычисленная по длине палеоплейстосейстовой области, составляет 7,4, по величине площади роя (50 км<sup>2</sup>, вероятно, неполной) – 6,8. Возраст оценивается авторами по наличию зрелого леса на поверхности обвалов и по размыву морем их фронтальных уступов как голоценовый.

#### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

#### 6.1. Основные достоинства новой методики

В качестве важнейшего достоинства новой палеосейсмогеологической методики следует отметить повышение в десятки раз производительности поиска палеосейсмодислокаций, из чего следует: 1) возможность тотального и быстрого изучения крупных регионов, подобных Северо-Востоку России; 2) резкое повышение полноты выявления древних сильнейших сейсмических событий; 3) многократное увеличение объема каталога сильных землетрясений; 4) существенный рост ретроспективности в изучении сейсмичности территории; 5) равнозначность палеосейсмологической характеристики всех частей региона; 6) работоспособность методики в энергетическом диапазоне разрушительных и катастрофических землетрясений, недоступном в значительной мере инструментальным методам ввиду краткосрочности наблюдений при редкой повторяемости самых сильных сейсмических событий; 7) возможность выявления резкой дифференциации территории на участки, в переделах которых были и не были разрушительные землетрясения.

Важным достоинством новой методики является низкая стоимость ее реализации. Она складывается из затрат на содержание группы специалистов из нескольких человек, из стоимости пользования имеющимися фондами серийных, не специальных, а предназначенных для универсального народнохозяйственного и научного использования космо- и аэроснимков, из стоимости полевых заверочных работ, из стоимости весьма простой и дешевой дешифровочной аппаратуры и оргтехники. К числу неочевидных достоинств новой методики относится ее работоспособность и эффективность не только в малообжитых слабоисследованных регионах (разд. 5.1.), но и в таких, как например, Кавказ, где она может выполнить роль средства для ревизии каталога палеосейсмодислокаций, устранения фрагментарности информации и быстрого обследования имеющихся «белых пятен» [Белоусов и др., 1993].

Повышение производительности поиска палеосейсмодислокаций с применением «тотальной» методики в десятки раз по сравнению с традиционными методами не сопровождается точно таким же ростом производительности на всех последующих стадиях палеосейсмогеологических исследований. Но, тем не менее, первая решающая стадия влияет на заметное увеличение производительно-

сти последующих этапов и всего комплекса работ. Это осуществляется благодаря: 1) резкому (в десятки раз) снижению площади подлежащих дешифрированию аэроснимков, так, например суммарная площадь всех выявленных по космоснимкам роев палеосейсмодислокаций на Северо-Востоке России не превышает 2% общей площади региона; 2) рациональному планированию и проведению полевых заверок, обусловленному знанием уже на первых стадиях работ почти всей совокупности роев и возможности выделения из них крупнейших, первоочередных и транспортно доступных; 3) быстрой наработке опыта выявления, изучения и интерпретации дислокаций ввиду высокой обзорности космоснимков и возможности оперативного и неоднократного обследования всей площади региона и выработке представления о норме и аномалии в строении и размещении эрозионных и денудационных форм рельефа и коррелятных отложений; 4) высокой информативности специализированной технологии стереоскопической и панорамной фоторегистрации сейсмодислокаций (разд. 3.) и методики комплексного дешифрирования разномасштабных наземных, аэро- и космоснимков (разд. 4.).

Представляется совершенно необходимым для получения кондиционного конечного продукта палеосейсмогеологических исследований – результатов сейсмологической интерпретации палеосейсмодислокаций и территории – выполнение всей процедуры, предусмотренной методикой: выявление, изучение, генетическая и сейсмологическая интерпретация (разд. 1.-4.). Иные результаты не должны приниматься в расчет при палеосейсмологических реконструкциях и прогнозировании разрушительных землетрясений. Исключение могут составлять лишь данные авторов выявления и изучения палеосейсмодислокаций, реализовавших отмеченную процедуру, но еще недостаточно подробно опубликовавших имеющуюся информацию. В других случаях, даже при добротном исходном материале, результаты интерпретации получаются крайне неудовлетворительными, искажающими в ту или иную сторону картину реальной сейсмической опасности.

Одной из провозглашенных целей разработки новой методики было: «...максимальное приближение ее к уровню технологии, что исключало бы необходимость глубокого погружения палеосейсмогеологов в проблематику всех стыкующихся при синтезе и использовании новой методики научно-технических направлений» (Введение). Цель приближения к уровню технологии, пожалуй, можно считать достигнутой, однако требования к квалификации исследователей едва ли снижаются. Даже для того, чтобы применять в полной мере опыт, изложенный в данной работе, необходимы определенные усилия и некоторые знания и умения.

## 6.2. Разрушительные землетрясения и снижение возможного ущерба от них в регионе

Полученные с использованием новой методики данные по максимальной величине магнитуды землетрясений в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского (Mmax=7,6) и по повторяемости разрушительных землетрясений в расчете на 1 тыс.км<sup>2</sup> (одно событие за 40-50 тыс.лет; разд. 5.3.) не меняют в принципе сложившееся представление о ее среднем уровне сейсмичности. На их основании нельзя перевести территорию из разряда среднесейсмичных в высокосейсмичную. Только из этого утверждения (без привлечения других сведений) можно было бы сделать два вывода: 1) палеосейсмогеологические и инструментальные данные неплохо согласуются между собой; 2) нет необходимости каких-либо дополнительных действий по обеспечению сейсмической безопасности территории.

В качестве уточнения к первому выводу следует добавить, что все же требуется некоторая корректировка оценки уровня сейсмической опасности в сторону ее увеличения. Так, максимальная магнитуда повышается на 0,5 единицы М. Средняя повторяемость разрушительных землетрясений для участков в 1 тыс.км<sup>2</sup> с магнитудой не менее 6,5 возрастает с 1/481 тыс.лет (по оценке Б.М.Козьмина [1984] для части хр. Черского площадью 130 тыс.км<sup>2</sup>) до не реже 1/40 тыс.лет (для осевой зоны юго-восточной половины сейсмического пояса Черского площадью 200 тыс.км<sup>2</sup>, в которую частично входит хр. Черского; разд. 5.3.). Например, близкую величину повторяемости землетрясений 16-го энергетического класса – 1/45 тыс.лет – имеет достаточно высокосейсмичный район среднего течения р. Олёкма в Монголо-Байкальском сейсмическом поясе, где в середине XX века произошла серия 9-10-балльных землетрясений [Козьмин, 1984]. При этом, как отмечалось, наблюдается резкая неравномерность в размещении разрушительных землетрясений (рис. 71). В пределах Арманско-Бахапчинской зоны удельная повторяемость их максимальна – не реже 1/8 тыс.лет. В слабосейсмичных «окнах» (Инском, Верхнеколымском и Буюндинском) землетрясений с энергетическим классом свыше 12 не было вовсе.

В пределах Верхнеколымского слабосейсмичного «окна» располагаются Сусуманский, Ягоднинский и Тенькинский районы Магаданской области с наиболее развитой горнодобывающей промышленностью (рис. 71). На территории субпоясов Черского, Североохотоморского и Арманско-Бахапчинской зоны размещается г. Магадан с его жизненно важными объектами (торговый и рыбный порты, международный и местный аэропорты, Магаданская ТЭЦ, промышленные предприятия, базы снабжения), Колымский аффинажный завод, Карамкенский, Дукатский и Омсукчанский ГОКи с крупными инженерными сооружениями, районные центры (Ола, Палатка, Эвенск, Сеймчан) другие крупные поселки, значительные участки Основной Колымской и Тенькинской автотрасс, мощная Колымская ГЭС и строящаяся Усть-Среднеканская ГЭС. Все это уязвимо для разрушительных землетрясений.

Половина населения региона сосредоточена в областном центре г. Магадан. При этом жилой фонд города состоит в значительной мере из зданий, которые строились в соответствии со старыми СНиП без обеспечения достаточной сейсмостойкости. Выборочное обследование зданий центра города постройки 1 950-1 960-х гг. показало, что все они не соответствуют требованиям действующих норм даже для восприятия сейсмических нагрузок в 6 баллов [Горский и др., 1998; Даниелов, 1998; Поздняк, 1998]. Оценка технического состояния остальных зданий не выполнялась вовсе, и остается только догадываться о том, что даже здания, строившиеся с соблюдением (устаревших уже) требований сейсмостойкости, за счет износа при эксплуатации, мало отличаются в лучшую сторону от обследованных. Многие из них находятся в потенциально аварийном состоянии и не исключены деформации сооружений вплоть до обрушения. Не лучше обстоит дело с сейсмостойкостью домов и в других населенных пунктах области.

При этом полученная умеренная оценка повторяемости разрушительных землетрясений, а также малая плотность населения и слабая развитость инфраструктуры совершенно не гарантируют от попадания в один из практически полностью не готовых к сейсмической опасности населенных пунктов или крупных промышленных объектов эпицентра сильного землетрясения. Это определяется тем, что, во-первых, оценка повторяемости является предварительной, так как выполнена по, хотя и максимально на сегодня сейсмостатистически обоснованным, но еще неполным данным, и ее следует расценивать в качестве минимальной.

Во-вторых, это оценка средней повторяемости, а реальное распределение сильных землетрясений во времени отличается высокой неравномерностью, и их надежный прогноз по времени остается задачей не решенной в принципе. Так, небольшой участок в среднем течении р. Олёкма размером не более 100 км подвергся воздействию трех 9-10-балльных землетрясений на протяжении всего 9 лет: Нюкжинского 1 958 г. (М=6,5), Олёкминского 1 958 г. (М=6,4), Тас-Юряхского 1 967 г. (М=7,0). Других таких же сильных землетрясений там не отмечалось за все остальное намного более продолжительное время наблюдений [Козьмин, 1984].

В-третьих, при условии бесспорно неудовлетворительной сейсмостойкости зданий и сооружений в регионе к разряду землетрясений с разрушительным эффектом следует отнести не только те из них, которые являются таковыми по определению (с М не менее 6,5), но и гораздо более слабые и многочисленные с магнитудой 5,9-6,5, а то и еще ниже, способные вызывать сейсмические эффекты на поверхности интенсивностью 7-8 баллов. Причем свойственная для коровых землетрясений региона небольшая глубинность очагов, с одной стороны, обусловливает снижение величины площади поражения сильными сотрясениями, с другой – обеспечивает большие разрушения на поверхности сравнительно с равными по магнитуде глубокофокусными. В связи с этим уместно вспомнить, что лишь за короткий период инструментальных наблюдений в регионе произошло более 10 землетрясений 14-17-го энергетических классов с магнитудами от 5,2 до 7,1 и с интенсивностью 7-9 баллов. И только по счастливой случайности ни одно из них не пришлось на освоенные населенные места. Но это вовсе не означает, что так будет всегда. Сочетание среднего уровня сейсмической активности с очень высокой степенью неготовности к сильным землетрясениям инженерных сооружений, населения и властей региона можно квалифицировать как ситуацию с весьма высокой вероятностью сейсмического риска. То есть второй возможный вывод, приведенный в начале данного раздела, совершенно не верен. Как это не покажется парадоксальным, этот риск, пожалуй, значительно выше, чем на Камчатке, известной как максимально сейсмичный регион страны. Несмотря на то, что сейсмостанция Петропавловска-Камчатского ежедневно регистрирует в среднем около четырех землетрясений разной силы (из устного сообщения начальника отдела КОМСП ГС РАН А.В.Викулина), и большая часть из них местные, к счастью, их разрушительный эффект, так же как и в Магаданской области, еще ни разу не сопровождался существенным материальным ущербом и людскими жертвами. И в то же время на считавшемся до 1 995 г. среднесейсмичным (как и Магаданская область) Сахалине случилась уже Нефтегорская катастрофа.

Объясняется это двумя причинами. Первая из них – расположение очагов сильных коровых землетрясений на удалении около 50-150 км от восточного берега Камчатки; вторая – большая глубина (до 60 км и более) очагов землетрясений, эпицентры которых приходятся на побережье, что обусловлено привязанностью сейсмичности к наклонной в сторону континента сейсмофокальной зоне Курило-Камчатского глубоководного желоба. Так, Петропавловское землетрясение 1 971 г. с магнитудой равной 7 и с очагом на глубине 100 км вызвало сотрясение на поверхности с интенсивностью всего 7 баллов. Вторая причина – сейсмостойкость зданий. Она оказалась достаточной для того, чтобы выдержать воздействие указанного землетрясения. В Петропавловске-Камчатском нет совершенно несейсмостойких зданий, таких, какие были в Нефтегорске [Викулин и др., 1997] и имеются в Магадане [Горский и др., 1998]. А те из них, которые построены в соответствии с устаревшими нормами, активно и целенаправленно укрепляются, что делает честь сейсмологам и властям Камчатки, сделавшим правильный вывод из урока неожиданно сильного для Корякии Хаилинского землетрясения 1 991 г. с магнитудой 7 [Викулин, 1998; Викулин и др., 1997]. Это, пожалуй, первый случай в нашей стране, когда сейсмологи и власти крупного сейсмоактивного региона учатся на чужих, а не на своих ошибках, как это и подобает умным людям.

В Магадане, к сожалению, из нескольких возможных вариантов реагирования на новую информацию о более высоком уровне сейсмичности, чем считалось ранее, преобладает «стратегия страуса», зарывающего голову в песок. Ссылка только на отсутствие средств для проведения антисейсмических мероприятий представляется несостоятельной. Часть из них пригодна для реализации и без крупных финансовых затрат. В условиях наблюдающегося в последние годы сокращения численности населения Магадана и области и резкого снижения объемов строительства можно, не расходуя значительных средств, планомерно выводить из эксплуатации в первую очередь сейсмически неустойчивые здания и промышленные объекты, а при планировании стратегии экономического развития выбирать варианты размещения предприятий на основе знания пространственной дифференциации разрушительных землетрясений, обеспечиваемого палеосейсмогеологическими данными.

При определении стратегии реагирования на информацию о высокой степени сейсмологического риска в регионе встает вопрос о том, а стоит ли эта холодная, бесплодная окраина России затрат на обеспечение ее сейсмической безопасности? Данный вопрос рассматривался и обсуждался в последние годы на разных уровнях. Ответ на него получен однозначный – этот регион нужен России [Северо-Восток России..., 1998]. Наращивается добыча рудного золота, обеспеченная крупными запасами. Велики ресурсы серебра, олова, вольфрама, молибдена, полиметаллов, меди и др. Становятся реальными перспективы добычи нефти на Охотоморском шельфе и в палеозойских формациях Омулевского и Приколымского поднятий. Северная часть Охотского моря относится к наиболее высокопродуктивным акваториям Мирового океана. Здесь в больших количествах добываются лососи, сельдь, палтус, треска, навага, мойва, минтай, крабы, трубач, морские ежи, тюлени и др. Обычно недооценивается очень выгодное стратегическое положение территории, располагающейся в фокусе воздушных коммуникаций бурно развивающегося Азиатско-Тихоокеанского региона. В Магадане пересекаются кратчайшие авиатрассы, соединяющие Америку с Юго-Восточной Азией и Австралией, Европу и Ближний Восток с Океанией, Новой Зеландией, Гавайскими островами. Величину географического потенциала Магаданского аэроузла характеризует тот факт, что только в восточноазиатском и американском секторах Азиатско-Тихоокеанского региона проживает свыше 3 млрд чел., что составляет две трети всего населения Земли [Важенин, 1996 *a*, 1998 *a*].

Осуществляющийся в Магаданской обл. переход с россыпных на коренные месторождения золота, освоение других источников минерального сырья, строительство ГЭС, перспективы транспортного строительства требуют повышения уровня сейсмической защиты крупных долговременных капитальных сооружений и жилья.

В ту пору, когда были известны лишь единичные данные о сильнейших разрушительных землетрясениях в регионе, их можно было исключать из практики сейсмического районирования под предлогами случайности, редкости и статистической непредставительности. С применением палеосейсмогеологических методов количество реконструированных сильнейших сейсмических событий возросло на два порядка, что должно стать надежной базой для максимально достоверного прогноза наиболее опасных и трудно прогнозируемых разрушительных землетрясений, которые, как оказывается, являются вполне обычными компонентами сейсмического процесса не только в высокосейсмичных регионах, но и в среднесейсмичных. Катастрофы последних десятилетий на территории нашей страны убедительно продемонстрировали, что они реализуются именно в таких, считающихся среднесейсмичными регионах, где их не ждут.

2 октября 1 999 г., во время подготовки этой книги к изданию, в Дукчинских горах произошло землетрясение с интенсивностью 4 балла, которое ощущалось и в Магадане.

5 августа 2 000 г., когда эта работа уже завершалась, о. Сахалин потрясло очередное землетрясение из разряда разрушительных с магнитудой 7,1. Эпицентр его на этот раз, к счастью, пришелся на малолюдную горно-лесистую местность между гг. Макаров, Поронайск и Углегорск. Окрестности гг. Макаров и Поронайск были существенно менее сейсмически активными, чем ближайшее западное побережье острова в течение всего периода инструментальных наблюдений и поэтому на картах сейсмического районирования всех изданий (включая самую последнюю, построенную с учетом горького нефтегорского опыта) относились к не самым опасным частям Сахалина. Точно также и разрушительное Нефтегорское землетрясение 1 995 г. попало в область длительного сейсмического затишья с интенсивностью возможных землетрясений, оценивавшейся в разное время всего в 6 и 7 баллов.

При этом вблизи г. Макаров – севернее и западнее его – В.К.Кучаем и Г.В.Полуниным [1986] закартировано два (помимо прочих) роя, вероятно голоценовых, палеосейсмодислокаций с интенсивностью, оцениваемой в 9-11 баллов. Здесь же – у станции Заозерное (30 км к югу от г. Макаров) – возникла крупнейшая из обнаруженных на сегодня сейсмодислокаций Углегорского землетрясения 2 000 г.: оползень размером до 300 м. Палеосейсмогеологические данные В.К.Кучая и Г.В.Полунина по Восточно- и Западно-Сахалинским горам были отмечены как весьма важные факты Т.П.Белоусовым, А.А.Никоновым и В.И.Уломовым при описании последствий Нефтегорского землетрясения 1 995 г. [Нефтегорское..., 1995], но вопреки этому, в очередной раз проигнорированы при составлении схемы сейсмического районирования Сахалина, в которой в строгом соответствии с принципом сейсмологического прецедента – в его не лучшем варианте – использованы только статистически не репрезентативные инструментальные данные. Углегорское землетрясение, как и Нефтегорское, вновь показало ошибочность принципиальных основ современного сейсмического районирования, выполняемого без учета максимально сейсмостатистически представительной палеосейсмогеологической информации.

Подземная стихия снова напомнила о себе перед сдачей этой книги в печать, когда два землетрясения 5 и 7 января 2 001 г. на Североохотоморском шельфе отозвались в Магадане толчками интенсивностью до 5 баллов.

# ЛИТЕРАТУРА

Агаханяни О.Е. Сарез. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 112 с.

Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1983. 374 с. Алексеев М.Д., Онухов Ф.С., Уфимцев Г.Ф. Сбросообвалы на северо-западном побережье Охотского моря // Геол. и геофиз. 1975. № 8. С. 87-95. Ананьев Г.С., Ананьева Э.Г., Бодрова О.В. и др. Геоморфологический анализ областей древнего вулканизма (на примере Северного Приохотья). Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 235 с.

Апродов В.А. О неотектонике и сейсмодислокациях района Гоби-Алтайского землетрясения в МНР // Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования. Изд-во Моск. ун-та, 1977. С. 100-112.

Атлас Азербайджанской ССР. М.: ГУГК, 1963. 214 с.

Атлас Арктики. М.: ГУГК, 1985. 204 с.

Атлас Таджикской ССР. М.: ГУГК, 1968. 200 с.

Баррет Э., Куртис Л. Введение в космическое землеведение. М.: Прогресс, 1979.

368 c.

Барщевский Б.У., Иванов Б.Т. Объемная фотография. М.: Искусство, 1970. 110 с.

Белоусов Т.П., Веселов И.А., Никитин М.Ю., Никонов А.А. Палеосейсмодислокации Кавказа // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып.1. 1993. С. 265-272.

Белый В.Ф., Валпетер А.П., Мерзляков В.М. Сильное землетрясение Северо-Востока СССР // Природа. 1971. № 12. С. 64-67.

Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А. и др. Результаты совместного анализа наземной и аэрокосмической информации при изучении эпицентральных зон сильных землетрясений (на примере Рачинского землетрясения 1991 г.) // Геоморфология. 1993. № 4. С. 48-60.

Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдоналд Г.А., Скотт Р.Ф. Геологические стихии. М.: Мир, 1978. 440 с.

*Борсук О.А., Симонов Ю.Г.* Морфосистемы, их устройство и функционирование // Системные исследования природы. Вопросы географии. Сб. 104. М.: Мысль, 1977. С. 170-178.

*Бруевич П.Н., Кириленко В.С., Лысков Г.А.* Наземная фототопографическая съемка при инженерных изысканиях. М.: Недра, 1979. 254 с.

Бунимович Д.З. Практическая фотография. М.: Искусство, 1969. 336 с.

Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 252 с.

Важенин Б.П. Литосборный бассейн и некоторые другие взаимосвязанные с ним понятия и их свойства // Основные направления развития геоморфологической теории: Тез. докл. к XVII пленуму Геоморфологической комиссии АН СССР. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1982. С. 32-34.

Важенин Б.П. Литосборные бассейны и их свойства // Основные проблемы теоретической геоморфологии. Новосибирск: Наука, 1985 а. С. 63,64.

Важенин Б.П. Литосборный бассейн – средство анализа условий формирования россыпей // Концентрация и рассеяние полезных компонентов в аллювиальных россыпях: Тез. докл. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985 б. С. 67-69.

Важенин Б.П. Использование космических снимков в геологических исследованиях: Препринт. Ч. 1. Физико-технические основы космической съемки: Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1986. 44 с.

Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации в горах Черского и нагорьях Северного Приохотья // Всесоюз. школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1988 *а*. С. 26-28.

Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации Туманского хребта (Северное Приохотье) // Там же. 1988 б. С. 22-24.

Важенин Б.П. Геоморфологическое картирование с использованием аэрокосмической информации для сейсмогеологических исследований // Геоморфологическое строение и развитие зон перехода от континентов к океанам: Тез. докл. ХХ пленума Геоморфологической комиссии АН СССР. Владивосток: ТИГ ДВО АН СССР, 1989 а. С. 74, 75.

*Важенин Б.П.* Методика сейсмогеологических исследований Северо-Востока СССР // Там же. 1989 б. С. 19, 20.

Важенин Б.П. Сейсмогеологическое изучение и картографирование территории Северо-Востока СССР с применением аэрокосмической информации // Комплексное изучение и картографирование природных ресурсов Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических регионов с использованием материалов космических съемок. М.: ЦНИИГАиК, 1989 в. С. 65-74.

Важенин Б.П. Способ получения стереоскопических изображений: Авт.свидет. СССР № 1477129. 1989 г. (Приоритет от 15.04.1985.)

Важенин Б.П. О роли сейсмичности в формировании крупных горных обвалов // Тектонофизические аспекты разломообразования в литосфере: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1990. С. 128, 129.

*Важенин Б.П.* Цветостереоскопическая картография // Экологическое картографирование на современном этапе: Тез. докл. Х Всесоюз. конф. по тематическому картографированию. Кн. 1. Л.: Изд. ГО СССР, 1991. С. 33-35.

Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации в Примагаданье // Сейсмологические и петрофизические исследования на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992 а. С. 102-120.

Важенин Б.П. Палеосейсмодислокации в сейсмическом поясе Черского // Там же. 1992 б. С. 79-102.

Важенин Б.П. Арманско-Бахапчинская зона повышенного сейсмически обусловленного геоморфологического риска // Геоморфологический риск: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1993 а. С. 116-118.

Важенин Б.П. Земля: взгляд сверху // Наука в России. 1993 б. № 3-4. С. 104-110.

Важенин Б.П. Зоны повышенного сейсмически обусловленного геоморфологического риска на Северо-Востоке России // Геоморфологический риск: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1993 в. С. 114-116.

Важенин Б.П. О принципах выявления зон повышенного геоморфологического риска на основе поиска палеосейсмодислокаций с использованием аэрокосмической информации // Там же. 1993 г. С. 99-101.

*Важенин Б.П.* Сейсмически активизированные и иные литосборные бассейны // Генезис рельефа: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1995 *а*. С. 64-66.

Важенин Б.П. Сейсмоблоки как один из источников энергии рельефообразования // Там же. 1995 б. С. 67-69.

Важенин Б.П. Способ получения цветостереомодели: Патент РФ на изобретение № 2051399. 1995 в. (Приоритет от 2.10.1990.)

Важенин Б.П. Магадан – край света? // Воздушный транспорт. № 29-30(2316-2317). 1996 а.

Важенин Б.П. Сейсмоблоки как генераторы сейсмического излучения // Геофизические модели геологических процессов на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996 б. С. 34-51.

Важенин Б.П. Геолого-геоморфологический анализ при палеосейсмогеологических исследованиях в сейсмическом поясе Черского: Дисс. в виде науч. докл. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 60 с.

Важенин Б.П. Географический потенциал Магаданского аэроузла // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан: ОАО «Северовостокзолото», 1998 а. В 2 т. Т. 1. С. 55, 56.

*Важенин Б.П.* Некоторые принципы в сейсмическом районировании и палеосейсмогеологии (на примере Северо-Востока России) // Тихоокеан. геол. 1998 б. Т. 17. № 2. С. 28-41.

Важенин Б.П., Мишин С.В. О результатах натурного сейсмологического эксперимента // Развитие сейсмологических и геофизических исследований в Сибири и на Дальнем Востоке (памяти А.А.Трескова). Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1988. С. 46, 47. Важенин Б.П., Мишин С.В. Сейсмоблоки как генераторы сейсмически обусловленного геоморфологического риска // Геоморфологический риск: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1993. С. 101, 102.

*Важенин Б.П., Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В.* Землетрясения Магаданской области. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. 44 с.

Важенин Б.П., Смирнов В.Н. Результаты использования аэрокосмической информации при изучении неотектоники и сейсмичности Северного Приохотья // Использование аэрокосмической информации в геологии и смежных областях: Тез. докл. Всесоюз. совещ. М.: ГИН АН СССР, 1987. С. 37, 38.

Валюс Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 360 с.

Варнс Д.Дж. Движения склонов, типы и процессы // Оползни. Исследование и укрепление / Под ред. Р.Шустера и Р.Кризека. М.: Мир, 1981. С. 32-85.

Ващилов Ю.Я., Сахно О.В., Калинина Л.Ю. Геолого-геофизические условия возникновения землетрясений на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. 90 с.

Вендровский К.В., Жутовский Б.И. Фотолюбителю – туристу. М.: Искусство, 1961. 100 с.

Верещака Т.В., Подобедов Н.С. Полевая картография: Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1986. 351 с.

Визуальные методы дешифрирования / Т.В.Верещака, А.Т.Зверев, С.А.Сладкопевцев, С.С.Судакова. М.: Недра, 1990. 341 с.

Викторов С.В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М.: Недра, 1966. 120 с.

Викулин А.В. Природный риск Северной Камчатки // Тихоокеан. геол. 1998. Т. 17. № 2. С. 84-92.

Викулин А.В., Дроздюк В.Н., Семенец Н.В., Широков В.А. К землетрясению без риска. Петропавловск-Камчатский: Издательский Центр типографии СЭТО-СТ, 1997. 120 с.

Власенко В.И. Техника объемной фотографии. М.: Искусство, 1978. 104 с.

Войт Б. Механика регрессивного блокового скольжения на примере развития оползня Тернагейн-Хайтс, Анкоридж, Аляска // Науки о Земле / Сила тяжести и тектоника. Т. 66. М.: Мир, 1976. С. 116-140.

Волгин А.Г. Фотография. Из практики любителя. М.: Планета, 1988. 256 с.

*Геологическая* документация при геологосъемочных и поисковых работах / А.И.Бурдэ, А.А.Высоцкий, А.Н.Олейников и др. Л.: Недра, 1984. 271 с.

*Геология* и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование / Солоненко В.П., Николаев В.В., Семенов Р.М. и др. Новосибирск: Наука, 1985. 192 с.

*Гоби-Алтайское* землетрясение / Под ред. Н.А.Флоренсова и В.П.Солоненко. М.: Издво АН СССР, 1963. 391 с.

Гонин Г.Б. Космические съемки Земли. Л.: Недра, 1989. 252 с.

Горбатов В.А., Тамицкий Э.Д. Цветная фотография. М.: Легкая индустрия, 1972. 264

c.

Горбунов А.П. Каменные ледники. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 111 с.

Горский В.Ф., Зархин В.Б., Кухаренок Ф.А. Проблемы сейсмостойкости зданий и сооружений в Магадане // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан: ОАО «Северовостокзолото», 1998. В 2 т. Т. 1. С. 148, 149.

*Горшков Г.П.* Карта сейсмического районирования территории СССР // Прил. к Положению по строительству в сейсмоактивных районах (ПСП-101-51). М., 1951.

Горшков А.И., Жидков М.П. Распознавание крупных обвально-оползневых дислокаций в связи с проблемой сейсмической опасности // Физика Земли. 1998. № 3. С. 92-95.

*Губин И.Е.* Как уменьшить гибельные последствия землетрясений // Наука в СССР. 1990. № 4. С. 90-97.

Даниелов Э.Р. Сейсмозащита зданий для условий Магадана // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан: ОАО «Северовостокзолото», 1998. В 2 т. Т. 1. С. 147, 148.

*Девяткин Е.В.* Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. М.: Наука, 1965. 224 с.

*Дистанционное* зондирование: количественный подход / Ш.М.Дейвис, Д.А.Ландгребе, Т.Л.Филлипс и др. / Под ред. Ф.Свейна и Ш.Дейвис. Пер. с англ. М.: Недра, 1983. 415 с.

*Дмитриев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И.* Лесная авиация и аэрофотосъемка. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 366 с.

Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. М.: Мысль, 1989. 447 с.

Дыко Л.П. Беседы о фотомастерстве. 2-е изд. М.: Искусство, 1977. 275 с.

Дыко Л.П., Иофис Е.А. Фотография, ее техника и искусство. М.: Искусство, 1960. 496

c.

*Живая* тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья / Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А. и др. М.: Наука, 1966. 230 с.

Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических изображений. М.: Недра, 1980. 253 с.

Жидков М.П., Макаренко А.Г., Ранцман Е.Я. Биченагская сейсмогенная структура в Зангезурском хребте (Малый Кавказ) // Геоморфология. 1987. № 3. С. 44-48.

Ивановский Л.Н. Экзогенная литодинамика горных стран. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 160 с.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Активные разломы и сейсмотектоника Северо-Восточной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 140 с.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмодислокации в сейсмических поясах Якутии // Геотектоника. 1995. № 1. С. 79-92.

*Камчатка*, Курильские и Командорские острова (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока) / И.В.Мелекесцев, О.А.Брайцева, Э.Н.Эрлих и др. М.: Наука, 1974. 440 с.

Кац Я.Г., Рябухин А.Г. Космическая геология: Кн. для учащихся. М.: Просвещение, 1984. 80 с.

Кац Я.Г., Рябухин А.Г., Трофимов Д.М. Космические методы в геологии. М.: Изд-во Моск.ун-та, 1976. 246 с.

*Кац Я.Г., Тевелев А.В., Полетаев А.И.* Основы космической геологии: Учеб. пособ. М.: Недра, 1988. 235 с.

*Козьмин Б.М.* Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений. М.: Наука, 1984. 126 с.

Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник. М.: Наука, 1976. 720 с.

Корженков А.М., Омуралиев М. Формы рельефа, образовавшиеся при сильном Сусамырском землетрясении 1992 года в Северном Тянь-Шане // Геоморфологический риск: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1993. С. 105, 106.

*Красильщиков Я.С.* Основы фотографии и кинематографии при геологических работах: Учеб. пособ. для техникумов. 2-е изд. М.: Недра, 1979. 215 с.

*Кулаков А.П.* Морфотектоника и палеогеография материкового побережья Охотского и Японского морей в антропогене. М.: Наука, 1980. 176 с.

*Курушин Р.А., Демьянович М.Г., Кочетков В.М.* Макросейсмические последствия Оймяконского землетрясения // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 50-60.

Кучай В.К. Зонный орогенез и сейсмичность. М.: Наука, 1981. 160 с.

*Кучай В.К., Полунин Г.В.* Предельная интенсивность землетрясений Сахалина по палеосейсмогеологическим данным // Тихоокеан. геол. 1986. № 3. С. 112-114.

Кучко А.С. Аэрофотография (Основы и метрология). М.: Недра, 1974. 272 с.

*Кучко А.С.* Аэрофотография и специальные фотографические исследования. М.: Недра, 1988. 236 с.

*Куштин И.Ф., Бруевич П.Н., Лысков Г.А.* Справочник техника-фотограмметриста. М.: Недра, 1988. 320 с.

Лаврова Н.П. Космическая фотосъемка: Учеб. пособ. для вузов. М.: Недра, 1983. 288

*Лаврова Н.П., Стеценко А.Ф.* Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование. М.: Недра, 1981. 296 с.

c.

*Леонтьев О.К., Рычагов Г.И.* Общая геоморфология: Учеб. для студ. геогр. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 319 с.

*Лобанов А.Н.* Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1983. 224 с.

*Макаров С.А.* Крип Южного Прибайкалья и вызывающие его факторы // Экзогенные процессы и окружающая среда: Тез. докл. XIX пленума Геоморфол. комис. АН СССР. Казань: Изд. Казан. ун-та, 1988. С. 92.

Матиясевич Л.М. Введение в космическую фотографию. М.: Недра, 1989. 149 с.

Мелекесцев И.В., Курбатов А.В. Частота крупнейших палеосейсмических событий на северо-западном побережье и в Командорской котловине Берингова моря в позднем плейстоцене голоцене // Вулканол. и сейсмол. 1997. № 3. С. 3-11.

Михайлов В.Я. Фотография и аэрофотография. М.: Изд. геодез. и картограф. литературы, 1952. 372 с.

Мишин С.В. Элементы сейсмологии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. 166 с.

*Мишин С.В., Шарафутдинова Л.В.* Землетрясения Центральной Колымы и их связь с рельефом поверхности // Сейсмологические и петрофизические исследования на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. С. 67-78.

*Мокшанцев К.Б., Гусев Г.С., Козьмин Б.М., Третьяков Ф.Ф.* Сейсмичность, современные и древние поля напряжений Северо-Восточной Азии в связи с проблемой Момского рифта // Континентальный рифтогенез. М.: Сов. радио, 1977. С. 76-82.

*Мушкетов И.В., Орлов А.П.* Каталог землетрясений Российской империи. СПб., 1893. 582 с. (Зап. Рус. геогр. об-ва. Т. 26).

*Наземная* стереофотограмметрическая съемка горных разработок / А.П.Трунин, Е.Л.Аствацатуров, Д.П.Кораблев и др. М.: Недра, 1979. 160 с.

Нефтегорское землетрясение 27(28)05.1995 г. / Информационно-аналитический бюллетень. Экстренный выпуск, октябрь 1995 г. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. МЧС России, РАН, 1995. 235 с.

*Николаев В.В., Семенов Р.М.* Обвальные фации – индикатор сильных землетрясений // Генезис рельефа: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1995. С. 69-71.

Никонов А.А. Определение магнитуд и повторяемости землетрясений прошлого по сейсмодислокациям (на примере зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня) // ДАН СССР. 1980. Т. 250, № 2. С. 336-341.

*Никонов А.А.* Землетрясения...(Прошлое, современность, прогноз).М.: Знание, 1984. 192 с.

*Никонов А.А.* Реконструкция основных параметров древних сильных землетрясений Средней Азии на основе палеосейсмогеологического метода // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия. М., 1987. С. 72-91. (Вопр. инж. сейсмологии. Вып. 28).

*Никонов А.А.* Активные разломы и палеосейсмодислокации в эпицентральной области Спитакского землетрясения 7/ХП 1988 г. в Северной Армении // Современная геодинамика, активные разломы и сейсмическое районирование. М.: ГИН АН СССР, 1990. С. 21-23.

Никонов А.А. Терминология и классификация сейсмогенных нарушений рельефа // Геоморфология. 1995. № 1. С. 4-9.

*Никонов А.А., Ваков А.В., Веселов И.А.* Сейсмотектоника и землетрясения зоны сближения Памира и Тянь-Шаня. М.: Наука, 1983. 240 с.

Никонов А.А., Шебалина Т.Ю. Лихенометрический метод датирования сейсмодислокаций (методические аспекты и опыт использования в горах юга Средней Азии). М.: ИФЗ АН СССР, 1986. 185 с.

*Онухов Ф.С.* Неотектонические дислокации Северного и Северо-Западного Приохотья // Геология Дальнего Востока. Хабаровск, 1975. С. 72-79.

*Онухов Ф.С., Уфимцев Г.Ф.* Неотектоника района полуострова Кони (Северное Приохотье) // Структурный анализ дислокаций. Хабаровск, 1974. С. 272-291.

Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.

Пальшин Г.Б., Тржцинский Ю.Б., Филиппов В.М. Вопросы инженерной геоморфологии // Проблемы прикладной геоморфологии. М.: Наука, 1976. С. 66-84.

*Петрусевич М.Н.* Воздушная и наземная стереофотосъемка при геологических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1976. 263 с.

Планета Земля из Космоса. Фотоальбом / Составители Ю.П.Киенко, А.Д.Коваль. М.: Планета, 1987. 200 с.

Поздняк С.А. Обследование и анализ сейсмостойкости зданий старой застройки в Магадане // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан: ОАО «Северовостокзолото», 1998. В 2 т. Т. 1. С. 149, 150.

Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов. М.: Наука, 1989. 232 с.

Попова Е.В., Левкович Р.А. Поверхностные нарушения грунтов в эпицентральной зоне // Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1981. С. 77-92.

Редько А.В. Фотография: Учеб. пособ. М.: Легпромбытиздат, 1995. 304 с.

Рогожин Е.А. Нефтегорское землетрясение 27(28) мая 1995 г.: геологические проявления и тектоническая позиция очага // Нефтегорское землетрясение 27(28)05.1995 г. / Информационно-аналитический бюллетень. Экстренный выпуск, октябрь 1995 г. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. МЧС России, РАН, 1995. С. 80-94.

*Рогожин Е.А., Богачкин Б.М.* Природа сейсмической активизации Кавказа // Природа. 1993. № 4. С. 32-41.

Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В. и др. Новые данные о древних сильных землетрясениях Горного Алтая // Физика Земли. 1998. № 3. С. 75-81.

Рогожин А.Е., Рыбаков Л.Н., Богачкин Б.М. Сейсмодеформации земной поверхности при Спитакском землетрясении 1988 г. // Геоморфология. 1990. № 3. С. 8-19.

Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 223 с.

Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее» / Ответ. ред. В.И.Гончаров. Магадан: ОАО Северовостокзолото», 1998. В 2 т. Т. 1. 284 с. Т. 2. 220 с.

Сейсмическое районирование СССР / Под ред. С.В.Медведева. М.: Наука, 1968. 476 с.

*Сейсмическое* районирование территории СССР / Под ред. В.И.Бунэ и Г.П.Горшкова. М.: Наука, 1980. 307 с.

Симонов А.Г. Фотосъемка. 3-е изд. М.: Искусство, 1977. 144 с.

Симонов Ю.Г., Борсук О.А., Спасская И.И. Морфометрия речных бассейнов. Некоторые итоги и перспективы изучения // Новейшие методы геоморфологических исследований. М.: Наука, 1981. С. 39-53.

Смирнов В.Н. Неотектоника и сейсмогеология эпицентральных зон сильных землетрясений Охотско-Колымского региона // Всесоюз. школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1988. С. 28, 29.

Смирнов В.Н., Важенин Б.П. Сейсмогенные формы рельефа в хр. Туманском (Сев.Приохотье) // Количественная сейсмология и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 56, 57.

Смирнов В.Н., Глушкова О.Ю. Неотектоника и сейсмическая активность бассейна верхнего течения Колымы // Геофизические модели геологических процессов на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 122-134.

Смирнов В.Н., Глушкова О.Ю., Галанин А.А., Пахомов А.Ю. Сейсмические катастрофы или работа ледников? // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения: Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан, 1998. В 2 т. Т.2. С. 49,50.

Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Н.А.Логачева, В.С.Хромовских. М.: Недра, 1989. 287 с.

Соловьев С.Л. Землетрясения // Горная энциклопедия. Т. 2. М.: Сов. энциклопедия, 1986. С. 367-371.

Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам / Изв.АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 58-74.

Солоненко В.П. Палеосейсмогеологический метод // Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М.: Наука, 1966. С. 15-36.

Солоненко В.П. Живая тектоника, вулканы и сейсмогеология переходной зоны Прибайкальского и Якутского сейсмических поясов // Тектоника Советского Дальнего Востока и прилегающих акваторий. М.: Наука, 1968. С. 149-158.

Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. С. 3-16.

Солоненко В.П. Палеосейсмогеологический метод и инженерная сейсмогеология // Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования. М.: Издво Моск. ун-та, 1977. С. 113-118.

Солоненко В.П. Первые корреляционные зависмости между магнитудами землетрясений и длинами сейсмодислокаций // Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Н.А.Логачева, В.С.Хромовских. М.: Недра, 1989. С. 238-240.

Справочник фотографа / А.Б. Меледин, Ю.С. Журба, В.Г. Анцев и др. М.: Высшая школа, 1989. 288 с.

*Такранов Р.А., Шустерман А.С.* Геологическая фотодокументация горных выработок. М.: Недра, 1984. 112 с.

*Тамицкий Э.Д., Горбатов В.А.* Учебная книга по фотографии: Учеб. пособ. для сред. проф.-тех. училищ. М.: Легкая индустрия, 1976. 320 с.

*Тамицкий Э.Д., Горбатов В.А.* Цветная фотография. М.: Легкая индустрия, 1979. 278 с.

*Терехов М.И., Дылевский Е.Ф.* Геология хр. Арга-Тас: Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. 49 с.

*Уолкер Д*. Гиперскоп и псевдоскоп позволяют исследовать, как человек воспринимает глубину пространства // В мире науки. 1987. № 1. С. 90-95.

*Уфимцев Г.Ф.* Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск: Наука, 1984. 184 с.

*Уфимцев* Г.Ф. Сбросообвалы как вид дислокаций приповерхностных частей литосферы // Тихоокеан. геол. 1993. № 1. С. 31-38.

Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы и их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 214 с.

Флоренсов Н.А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Изв. СО АН СССР. Сер. геол. и геофиз. 1960. № 1. С. 74-90.

*Флоренсов Н.А.* К вопросу о прогнозе землетрясений // Гоби-Алтайское землетрясение. М.: Наука, 1963. С. 381-383.

Фомин А.В. Общий курс фотографии: Учеб. пособ. для сред. учеб. заведений. М.: Легкая индустрия, 1975. 312 с.

Фотокинотехника / Гл.ред. Е.А.Иофис. М.: Сов. энциклопедия, 1981. 447 с.

Хеймен Р. Светофильтры: Пер.с англ. М.: Мир, 1988. 216 с.

Хромовских В.С. Сейсмогеология Южного Прибайкалья. М.: Наука, 1965. 123 с.

*Хромовских В.С.* Сейсмотектоника Прибайкалья и Большого Кавказа (Сравнительный анализ): Автореф. дисс... докт. геол.-минерал. наук. Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1975. 65 с.

*Хромовских В.С.* Главные признаки и способы выявления сейсмодеформаций // Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Н.А.Логачева, В.С.Хромовских. М.: Недра, 1989. С. 229-235.

*Хромовских В.С., Никонов А.А.* По следам сильных землетрясений. М.: Наука, 1984. 144 с.

*Хромовских В.С., Обухова Л.Г.* Количественные соотношения между магнитудами и длинами зон видимых сейсмогенных разрывов по наиболее полной выборке сильных землетрясений мира // Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Н.А.Логачева, В.С.Хромовских. М.: Недра, 1989. С. 240-255.

*Хромовских В.С., Солоненко В.П., Жилкин В.М. и др.* Сейсмогенные структуры и некоторые закономерности сейсмотектонического развития Западного Кавказа // Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. С. 5-14.

Чедия О.К., Абдрахматов К.Е., Лемзин И.Н., Корженков А.М. Сейсмогравитационные процессы в Тянь-Шане в прошлом и будущем // Геоморфологический риск. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1993. С. 103, 104.

*Чедия О.К., Корженков А.М.* Сейсмогравитационный рельеф в горных областях // Генезис рельефа: Тез. докл. Иркут. геоморфол. семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1995. С. 62-64.

Чибисов К.В. Общая фотография. М.: Искусство, 1984. 446 с.

*Чигарев Н.В., Шивков Ф.С.* Сравнительный анализ сейсмодислокаций Дагестанского и Сарыкамышского землетрясений // Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического районирования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. С. 41-47.

*Чигарев Н.В., Шивков Ф.С.* Геоморфологический обзор поверхностных нарушений // Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1981. С. 69-77.

*Чипизубов А.В.* Выделение одноактных и одновозрастных палеосейсмодислокаций и определение по их масштабам магнитуд палеоземлетрясений // Геол. и геофиз. Новосибирск: Изд. СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1998. Т. 39. С. 386-398.

Шахрова М.М. Цветная фотография. Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1988. 231 с. Щепанский Г.В. Техника фотографии. М.: Искусство, 1987. 157 с.

Щепетов С.В. Позднемезозойские отложения Северного Приохотья (схемы распространения региональных и местных стратиграфических подразделений). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 12 с.

*Щукин И.С.* Четырехъязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М.: Сов. энциклопедия, 1979. 703 с.

Adams J. Earthquake-dammen lake in New Zealand // Geology. 1981. Vol. 9. P. 215-219.

Jacobs F. Immer wieder bebt die Erde. Berlin: Verlag Neues Leben, 1985. 258 S.

*Smirnov V.N.* Aktive faults and seismogenic structures in the Okhotsk-Kolyma region // ICAM Abstracts: Anchorage, Alaska, 1992. P. 56.

*Teicher G.* (Herausgeber). Handbuch der Fototechnik. Leipzig: VEB Fotokinoferlag, 1983. 828 S.

Vazhenin B.P. Presumed seismic dislocations from the 1851 Yama Earthquake, Northeast Russia // ICAM Abstracts: Magadan, 1994 a. P. 123.

Vazhenin B.P. Swarms of paleoseismic dislocations in Northeastern Russia // ICAM Abstracts: Magadan, 1994 b. P. 123, 124.

*Vazhenin B.P.* Some Seismic Soning Principles and Paleoseismogeology (Exemplified by the Russian Northeast) // Geol. of Pac. Ocean; Singapore: Overseas Publishers Association N.V. 2000. Vol. 15. P. 249-274.

Walker B. Earthquake. Alexandria, Virginia: Time-Life Books. 1982. 176 p.

Wurst W. Exakta – Kleinbildfotografie. Leipzig: VEB Fotokinoferlag, 1974. 440 S.

Wurst W. Fotobuch fur alle. Leipzig: VEB Fotokinoferlag, 1986. 232 S.

Научное издание

Важенин Борис Павлович

# ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Редактор Н.Н.Ахламова Техн. ред. Л.М.Русакова Корректор К.В.Стаховская Иллюстрации Б.П.Важенина Компьютерная верстка.Г.В.Дёминой

Изд. лиц. ПЛД N52-6 от 05.01.2000 г. Подписано к печати 09.01.2001 г. Формат 60×84/8. Бумага писчая № 1. Гарнитура «Таймс». Усл.п.л. 24,25. Уч.-изд. л., 25,12. Заказ 22. Тираж 200. Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН 685000. Магадан, ул. Портовая, 16 Отпечатано в Межинститутском полиграфическом отделе СВНЦ ДВО РАН. 685000. Магадан, Портовая, 16.