

Министерство образования и науки Республики Казахстан  
Карагандинский государственный технический университет

Утверждаю  
Первый проректор  
\_\_\_\_\_ Исагулов А.З.  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2009г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
ПРЕПОДАВАТЕЛЯ**

по дисциплине SPOGK 5201 – «Современные проблемы в области геодезии и картографии»

для магистрантов специальностей - 6M071100 «Геодезия» и  
6M074100 «Картография»

Факультет Горный

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии

Караганда 2010 г.

## Предисловие

Программа обучения по дисциплине для магистранта (syllabus) разработана:  
к.т.н., профессором Низаметдиновым Ф. К. и к.т.н Долгоносовым В.Н.

Обсуждена на заседании кафедры « Маркшейдерского дела и геодезии»

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

(подпись)

Одобрена методическим бюро Горного института

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010\_ г.

Председатель \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

(подпись)

## 1 Рабочая учебная программа

### 1.1 Сведения о преподавателях и контактная информация

Низаметдинов Ф. К. – д. т. н., профессор.

Долгоносов Виктор Николаевич, к. т. н, доцент.

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии находится в 2 корпусе КарГТУ (г. Караганда, Б.Мира, 56), корпус 2, аудитория 406, контактный телефон 56-26-27, дом. 43-09-62, факс 43-67-97, электронный адрес vdolgonosov@hotmail.ru.

### 1.2 Трудоемкость дисциплины

Семестр	Количество кредитов	Вид занятий					СРМ, часов	Итого, часов	Форма контроля
		количество контактных часов			СРМП часов	всего часов			
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия					
1	2	30	-	-	30	60	60	120	Экзамен

### 1.3 Характеристика дисциплины

Дисциплина «Современные проблемы в области геодезии и картографии» является государственной компонентой цикла базовых дисциплин специальности – «Геодезия и картография». Знание основных понятий и определений курса необходимо при составлении технических проектов и для организации картографо-геодезических работ, при определении стоимости производства работ, нормировании труда и заработной платы; дисциплина играет важную роль и значение при подготовке магистров.

### 1.4 Цель дисциплины

Целью данной дисциплины является изучение всех основных проблем современной геодезической науки и тех новых задач, которые предстоит решать в области геодезии с учетом современных научных и технических достижений.

### 1.5 Задачи дисциплины

Задачи изучения дисциплины: достижение профессиональной подготовленности магистров к решению задач, соответствующих его квалификации, согласно требованиям государственного общеобразовательного стандарта образования.

Дисциплина «Современные проблемы в области геодезии и картографии», являясь одной из базовых дисциплин, играет важную роль и значение при подготовке магистров.

В результате изучения данной дисциплины магистры должны:

Изучить: современные проблемы в области геодезии и картографии.

уметь: рассчитывать необходимые величины и оптимизировать их на базе ЭВМ анализировать массивы нормативных, статистических и других данных.

иметь представление:

– о предметной, мировоззренческой и методологической специфике естественных и технических наук;

– о проблеме уточнения системы координат ПЗ-90;

– о совершенствовании моделей движения полусуточных ИСЗ.

знать:

– современные технологии и методы геодезических измерений, астрономических наблюдений и гравиметрических определений;

– характеристику чисел Лява;

– предназначение осей Тиссерана;

– главные оси инерции;

– географические оси;

– виды высот.

Приобрести практические навыки:

-в использовании сетевого программного обеспечения, в построении модели исследуемых процессов.

## 1.6 Пререквизиты

Для изучения данной дисциплины необходимо усвоение следующих дисциплин (с указанием разделов (тем)):

Наименование дисциплины	Наименование разделов (тем)
Высшая геодезия	Спутниковые методы при создании и модернизации опорных геодезических сетей. Решение геодезических задач на эллипсоиде вращения. Фундаментальные геодезические постоянные.
Геодезическая астрономия	Связь между разными системами измерения времени. Суточное движение светил. Теоретические основы методов геодезической астрономии. Определение параметров вращения Земли.
Космическая геодезия	Теоретические основы использования наблюдений ИСЗ и других небесных тел для решения задач геодезии. Глобальные навигационные спутниковые системы, их использование для решения фундаментальных и прикладных задач геодезии.
Гравиметрия	Гравитационные поля Земли и планет. Аномалии силы тяжести. Использование гравиметрических данных при

## 1.7 Постреквизиты

Знания, полученные при изучении дисциплины «Современные проблемы в области геодезии и картографии» используются при освоении следующих дисциплин:

1. «Современные технологии в геодезии и картографии»
2. «Экономика и управление геодезическим и картографическим производством»
3. «Спутниковые методы в геодезии»

## 1.8 Содержание дисциплины

### 1.8.1 Содержание дисциплины по видам занятий и их трудоемкость

Наименование раздела, (темы)	Трудоемкость по видам занятий, час				
	лекции	практические	лабораторные	СРМП	СРМ
1	2	3	4	5	6
<b>1 семестр</b>					
1 Предметная, мировоззренческая и методологическая специфика естественных и технических наук	2			4	2
2 Постановка задачи определения фигуры Земли и её гравитационного поля в единой геоцентрической системе координат	2			4	2
3 Спутниковые методы определения фигуры Земли, её гравитационного поля, движения полюсов и неравномерностей суточного вращения	2			4	2
4 Астрономо-гравиметрические методы	2			4	2
5 Проблема уточнения системы координат ПЗ-90 и связанных с ней фундаментальных постоянных; уточнение параметров связи систем ПЗ-90 и WGS-84	2			4	2
6 Совершенствование моделей движения искусственных спутников Земли, входящих в спутниковые навигационные системы	2			4	2
7 Геодинамические эффекты	2			4	2

8 Проблемы глобальной тектоники	2			4	2
9 Земные приливы	2			4	2
1	2	3	4	5	6
10 Упругие деформации и числа Лява	2			4	2
11 Выбор референц-систем с учетом геодинамических эффектов	2			4	2
12 Оси Тиссерана	2			4	2
13 Главные оси инерции	2			4	2
14 Географические оси	2			4	2
15 Проблема высот в геодезии	2			4	2
ИТОГО:	30			60	30

### 1.9 Список основной литературы

1. Бровар В. В., Магницкий В. А., Шимбирев Б. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1961.
2. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли. – М.: Физматлит, 2002.
3. Микиша А. М. Космические методы в геодезии. – М.: Знание, 1983.
4. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцев Н.В. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993.
5. Харисов В. Н., Перов А. И., Болдин В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998.
6. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990.
7. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли. – М.: Геодезиздат, 1960.
8. Масевич А. Г., Тативян С. К. Спутниковая геодезия: достижения и задачи. – М.: Знание, 1981.

### 1.10 Список дополнительной литературы

9. Панарин А.Ф. Стратегия неустойчивости в XXI веке. М.: Алгоритм, 2003.
10. Семенов В.С. Уроки XX века и путь в XXI (социально-философский анализ и прогноз). – М.: Алгоритм, 2000.
11. Степин В.С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс – Традиция, 2000.
12. Каверин Н. Г. Традиции и революции в истории науки. – М.: Наука, 2001.
13. Горохов В.Г. Концепции современного естествознания и техники. – М.: Наука, 2000.

14. Жонголович И. Н. Внешнее гравитационное поле Земли и фундаментальные постоянные, связанные с ним. – М.: Труды института теоретической астрономии, 1952.
15. Жаров В.Е. Сферическая астрономия. – М.: Наука, 2006.
16. Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 10, 2004.
17. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1963.
18. Kovalevsky J., Seidelman P.K. Fundamentals of astrometry. – Cambridge University Press, 2004.
19. Одуан К., Гино Б. Измерение времени, основы GPS. – М.: Техносфера, 2002.
20. Изотов А. А. Астрономо-геодезические методы изучения геодинамических проблем. – М.: Земля и Вселенная, 1975, № 4.
21. Микиша А. М. Космос – Земле. – М.: Земля и Вселенная, 1977, № 3.
22. Микиша А. М. Как изучают гравитационные поля Земли и Луны. – М.: Земля и Вселенная, 1977, № 2.
23. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Тренд, 2000.
24. Мориц Г. Р. Современная физическая геодезия. – М.: Недра, 1983.
25. Липкин И.А. Спутниковые навигационные системы. М.: Вузовская книга, 2001.
26. Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment. Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). Rockwell Int. Corp. 1987.
27. Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2001.
28. Баранов В.Н., Бойко Е.Г. Космическая геодезия. – М., Недра, 1989.
29. Бугаевский Л.М. Математическая картография. – М., Златоуст, 1998.
30. Галазин В.Ф., Базлов Ю.А. Совместное использование GPS и Глонасс. – М.: Доклад Международной конференции, 1997.
31. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978.
32. Складов Г. Н. Статья. – США, Nature, №3, 1998.
33. Огородова Л.В. Высшая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006.

### 1.11 Критерии оценки знаний магистрантов

Экзаменационная оценка по дисциплине определяется как сумма максимальных показателей успеваемости по рубежным контролям (до 60%) и итоговой аттестации (экзамен) (до 40%) и составляет значение до 100% в соответствии с таблицей.

Оценка по буквенной системе	Цифровые эквиваленты буквенной оценки	Процентное содержание усвоенных знаний	Оценка по традиционной системе
1	2	3	4
A	4,0	95-100	Отлично
A-	3,67	90-94	

B+	3,33	85-89	Хорошо
B	3,0	80-84	
B-	2,67	75-79	
C+	2,33	70-74	Удовлетворительно
C	2,0	65-69	
C-	1,67	60-64	
D+	1,33	55-59	
D-	1,0	50-54	
F	0	30-49	Неудовлетворительно

Оценка «А» (отлично) выставляется в том случае, если магистр в течение семестра показал отличные знания по всем программным вопросам дисциплины, а также по темам самостоятельной работы, регулярно сдавал рубежные задания, проявлял самостоятельность в изучении теоретических и прикладных вопросов по основной программе изучаемой дисциплины, а также по внепрограммным вопросам.

Оценка «А-» (отлично) предполагает отличное знание основных законов и процессов, понятий, способность к обобщению теоретических вопросов дисциплины, регулярную сдачу рубежных заданий по аудиторной и самостоятельной работе.

Оценка «В+» (хорошо) выставляется в том случае, если магистр показал хорошие и отличные знания по вопросам дисциплины, регулярно сдавал семестровые задания в основном на «отлично» и некоторые на «хорошо».

Оценка «В» (хорошо) выставляется в том случае, если магистр показал хорошие знания по вопросам, раскрывающим основное содержание конкретной темы дисциплины, а также темы самостоятельной работы, регулярно сдавал семестровые задания на «хорошо» и «отлично».

Оценка «В-» (хорошо) выставляется магистру в том случае, если он хорошо ориентируется в теоретических и прикладных вопросах дисциплины как по аудиторным, так и по темам СРМ, но нерегулярно сдавал в семестре рубежные задания и имел случаи пересдачи семестровых заданий по дисциплине.

Оценка «С+» (удовлетворительно) выставляется магистру в том случае, если он владеет вопросами понятийного характера по всем видам аудиторных занятий и СРМ, может раскрыть содержание отдельных модулей дисциплины, сдает на «хорошо» и «удовлетворительно» семестровые задания.

Оценка «С» (удовлетворительно) выставляется магистру в том случае, если он владеет вопросами понятийного характера по всем видам аудиторных занятий и СРМ, может раскрыть содержание отдельных модулей дисциплины, сдает на «удовлетворительно» семестровые задания.

Оценка «С-» (удовлетворительно) выставляется магистру в том случае, если магистр в течение семестра регулярно сдавал семестровые задания, но по вопросам аудиторных занятий и СРМ владеет только общими понятиями и

может объяснить только отдельные закономерности и их понимание в рамках конкретной темы.

Оценка «D+» (удовлетворительно) выставляется магистру в том случае, если он нерегулярно сдавал семестровые задания, по вопросам аудиторных занятий и СРМ владеет только общими понятиями и может объяснить только отдельные закономерности и их понимание в рамках конкретной темы.

Оценка «D-» (удовлетворительно) выставляется магистру в том случае, если он нерегулярно сдавал семестровые задания, по вопросам аудиторных занятий и СРМ владеет минимальным объемом знаний, а также допускал пропуски занятий.

Оценка «F» (неудовлетворительно) выставляется тогда, когда магистр практически не владеет минимальным теоретическим и практическим материалом аудиторных занятий и СРМ по дисциплине, нерегулярно посещает занятия и не сдает вовремя семестровые задания.

Рубежный контроль проводится на 7,14-й неделях обучения и складывается исходя из следующих видов контроля:

Вид контроля	% от содержания	Академический период обучения, неделя															Итого, %
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Посещаемость лекций	0,71	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	10
Контр. задания к СРМ по лекциям	1,25	*	*	*		*	*	*		*	*	*	*	*	*		15
Опрос, выполнение заданий по темам СРМП	1,07	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	15
Тестовый модуль	10							*							*		20
Всего по аттестации								30							30		60
Экзамен	40																40
Всего																	100

## 1.12 Политика и процедуры

При изучении дисциплины «Современные проблемы в области геодезии и картографии» прошу соблюдать следующие правила:

1. Не опаздывать на занятия.

2. Не пропускать занятия без уважительной причины, в случае болезни прошу предоставлять справку, в других случаях – объяснительную записку или разрешение с деканата.
3. Обрабатывать пропущенные занятия независимо от причины пропусков.
4. Активно участвовать в учебном процессе.
5. Быть терпимыми, открытыми, откровенными и доброжелательными к сокурсникам и преподавателям.

### 1.13 Учебно-методическая обеспеченность дисциплины

Ф.И.О автора	Наименование учебно-методической литературы	Издательств о, год издания	Количество экземпляров	
			в биб- лиотеке	на кафедре
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
Бровар В. В., и другие	Теория фигуры Земли	М.: Недра, 1961	2	1
Сидоренков Н.С.	Физика неустойчивостей вращения Земли	М.: Физматлит, 2002	2	-
Микиша А. М.	Космические методы в геодезии	М.: Знание, 1983	1	1
Шебшаевич В.С. и другие	Сетевые спутниковые радионавигационные системы	М.: Радио и связь, 1993	1	1
Харисов В. Н. и другие	Глобальная спутниковая радионавигационная система ГлоНАСС	М.: ИПРЖР, 1998	1	-
Казаринов Ю.М.	Радиотехнические системы	М.: Высшая школа, 1990	1	1
Молоденский М.С. и другие	Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли	М.: Геодезиздат, 1960	2	1
Масевич А. Г. и другие	Спутниковая геодезия: достижения и задачи	М.: Знание, 1981	3	1
<b>Дополнительная литература</b>				
Панарин А.Ф.	Стратегия неустойчивости в XXI веке	М.: Алгоритм, 2003	5	-

Семенов В.С.	Уроки XX века и путь в XXI	М.: Алгоритм, 2003	6	-
Степин В.С.	Теоретическое знание	М.: Прогресс – Традиция, 2000	2	-
Каверин Н. Г.	Традиции и революции в истории науки	М.: Наука, 2001	1	-
Горохов В.Г.	Концепции современного естествознания и техники	М.: Наука, 2000	10	-
Жонголович И. Н.	Внешнее гравитационное поле Земли и фундаментальные постоянные, связанные с ним	М.: Труды института теоретической астрономии, 1952	2	1
Жаров В.Е.	Сферическая астрономия	М.: Наука, 2006	3	1
	Труды Института прикладной астрономии РАН	вып. 10, 2004	1	-
Грушинский Н. П.	Теория фигуры Земли	М.: Недра, 1963	4	1
Kovalevsky J., Seidelman P.K.	Fundamentals of astrometry	Cambridge University Press, 2004	-	-
Одуан К., Гино Б	Измерение времени, основы GPS	М.: Техносфера, 2002	1	-
Изотов А. А.	Астрономо-геодезические методы изучения геодинамических проблем	М.: Земля и Вселенная, 1975, № 4	2	1
Микиша А. М.	Космос – Земле	М.: Земля и Вселенная, 1977, № 3	1	-
Микиша А. М.	Как изучают гравитационные поля Земли и Луны	М.: Земля и Вселенная, 1977, № 2	1	-

Соловьев Ю.А.	Системы спутниковой навигации	М.: Эко-Тренд, 2000	1	-
Мориц Г. Р.	Современная физическая геодезия	М.: Недра, 1983	2	1
Липкин И.А.	Спутниковые навигационные системы	М.: Вузовская книга, 2001	1	1
	Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment. Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200)	Rockwell Int. Corp. 1987	-	-
Пантелеев В.Л.	Физика Земли и планет	М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2001	1	1
Баранов В.Н., Бойко Е.Г.	Космическая геодезия	М., Недра, 1989	3	1
Бугаевский Л.М.	Математическая картография	М., Златоуст, 1998	2	1
Галазин В.Ф., Базлов Ю.А.	Совместное использование GPS и Глонасс	М.: Доклад Международной конференции, 1997	-	-
Пеллинен Л.П.	Высшая геодезия	М.: Недра, 1978	2	1
Скляр Г. Н.	Статья	США, Nature, №3, 1998	-	-
Огородова Л.В.	Высшая геодезия	М.: Геодезкарти здат, 2006	2	-

## 2 График выполнения и сдачи заданий по дисциплине

Вид контроля	Цель и содержание задания	Рекомендуемая литература	Продолжительность выполнения	Форма контроля	Срок сдачи
1	2	3	4	5	6
Выполнен.п. практич. работы №1	Код спутников GPS	[1-7]	2 - неделя	текущий	3-я неделя

Выполнен. практич. работы №2	Код спутников ГЛОНАСС	[1-7, 8]	3-4 неделя	текущий	5-я неделя
Выполнен. практич. работы №3	Преобразование координат	[1-7, 14]	5 - неделя	текущий	6 -я неделя
К.Р.№1	Методы преобразование координат	[1-11] конспект	1 контактный час	Рубежный	7-я неделя
Выполнен. практич. работы №4	Время в спутниковых радионавигационных системах	[1-8, 15]	7 -8 недели	текущий	9 неделя
Выполнен. практич. работы № 5	Орбитальное движение спутников GPS	[1-8, 15]	8 - 9 недели	текущий	10 неделя
Выполнен. практич. работы № 6	Орбитальное движение спутников ГЛОНАСС	[1-11]	10 - 11 недели	текущий	12-я неделя
Выполнен. практич. работы № 7	Решение навигационной задачи	[ 1-11]	12-14 неделя	текущий	14-я неделя
К.Р.№2 (тема 7)	Навигационной задачи	[ 1-11], конспект лекций	1 контактный час	рубежный	14-я неделя
Экзамен	Проверка усвоения материала дисциплины	Весь перечень основной и дополнительной литературы	2 контактных часов	Итоговый	В период сессии

### 3 Конспекты лекций

#### Тема 1 Предметная, мировоззренческая и методологическая специфика естественных и технических наук – 2 часа

##### План лекции

1. Современные концепции философии естествознания и техники
2. Природа научного познания
3. Научно-техническая революция

Естествознание как наука изучает все процессы и явления, происходившие и происходящие в реальном объективном мире, географической оболочке,

космическом пространстве. Это раздел науки, основанный на воспроизводимой эмпирической проверке (проверке на практике) гипотез и создание теорий, описывающих природные явления и процессы.

Предмет естествознания – факты и явления, которые воспринимаются нашими органами чувств. Задача ученых обобщить эти явления и создать теоретическую модель, включающую законы, управляющие явлениями природы. Естествознание изучает факты и явления из области философии, астрофизики, геологии, психологии, генетики, эволюции. Естествознание подразделяется на комплекс наук, каждая из которых имеет объект своего исследования.

Естествознание подразделяется на:

- фундаментальные науки;
- прикладные науки;
- естественные науки;
- технические науки;
- социальные науки;
- гуманитарные науки.

К фундаментальным наукам относятся химия, физика, астрономия.

Прикладные науки изучают фундаментальные науки с практическим применением, внедрением в жизнь теоретических открытий. К прикладным наукам относятся металлургия, физика полупроводников и др.

Естественные науки изучают процессы и явления девственной природы. Делятся на геологию, географию, биологию.

К техническим наукам относятся науки, изучающие созданные человеком приборы и предметы. К ним относятся информатика, кибернетика, синергетика.

Социальные науки – это науки, изучающие правила и структуру общества, и объекты, живущие по его законам. К ним относятся социология, антропология, археология, обществоведение.

К гуманитарным относятся науки, изучающие сущность, строение и духовное состояние человека. К ним относятся философия (любовь к мудрости), история, этика, эстетика, культурология.

Наука – это сложное многогранное общественное явление. Вне общества наука не может ни возникнуть, ни развиваться. Но наука появляется тогда, когда для этого создаются особые объективные условия: четкий социальный запрос на объект знания; социальная возможность выделения отдельной группы людей, чьей главной задачей становится ответ на этот вопрос; начинавшееся разделение труда внутри этой группы; накопление знаний; навыков, познавательных приемов, которые и подготавливают процесс распространения и нового вида знания – объективных общезначимых истин науки.

Познавательное отношение человека к миру осуществляется в различных формах: в форме обыденного познания, познания художественного, религиозного, наконец, в форме научного познания. Первые три области познания рассматриваются в отличие от науки как вненаучные формы. Научное познание выросло из познания обыденного, но в настоящее время эти две формы познания довольно далеко отстоят друг от друга.

Роль и место науки как социального института отчетливо видны в ее социальных функциях. Главные из них – культурно-мировоззренческая функция, функция непосредственной производительной силы, функция социальная.

В науке отчетливо просматривается ее членение на две большие группы наук – наук естественных и технических, ориентированных на исследование и преобразование процессов природы, и общественных, исследующих изменение и развитие социальных объектов. Социальное познание отличается рядом особенностей, связанных и со спецификой объектов познания, и со своеобразием позиции самого исследователя.

Что же касается архитектуры здания науки, структуры научного познания, то в нем выделяются два уровня – эмпирический и теоретический. Эти уровни не следует смешивать со сторонами познания вообще – чувственным отражением и рациональным познанием. Дело в том, что в первом случае имеются в виду различные типы познавательной деятельности ученых, а во втором – речь идет о типах психической деятельности индивида в процессе познания вообще, причем оба эти типа находят применение и на эмпирическом, и на теоретическом уровнях научного познания.

Сами уровни научного познания различаются по ряду параметров: по предмету исследования. Эмпирическое исследование ориентировано на явления, теоретическое – на сущность; по средствам и инструментам познания; по методам исследования. На эмпирическом уровне это наблюдение, эксперимент, на теоретическом – системный подход, идеализация и т.д.

Интегративные тенденции в познании оказывают воздействие и на стиль мышления, свойственный представителям каждой группы наук, что порождает, с одной стороны, дифференциацию стилей мышления, с другой – сопровождается их интеграцией, формированием современного общенаучного стиля мышления. В рамках естественнонаучного стиля творческого мышления уже выделяют своего рода более узкие «стили» – экологический, космический, кибернетический, вероятностный и другие.

В современных условиях становятся необходимыми исследования также гуманитарного и технического стиля мышления. Специфику, отличие стиля мышления естествоиспытателей, гуманитариев и представителей технических наук признают многие исследователи. Особенности стиля мышления представителей упомянутых трех групп наук обусловлены, конечно, объективно реальными отличиями предметов этих наук, в значительной степени формирующих специфику познавательных средств и процедур, установку и стиль творческого мышления ученых.

Отмечая специфику, а значит, и различие в стиле мышления специалистов трех групп современной науки, важно выделить и исследовать то общее, что их объединяет, что составляет основу сближения и «увязки» различных стилей мышления. А это означает обращение к тем сторонам и характеристикам образа мышления, которые могут «стыковаться» и не просто способствовать переводу с языка одной науки на другой (хотя и это в условиях углубления

специализации и резкой дифференциации очень важно), но и быть источником, «генератором» нового научного знания.

Возникновение общенаучного знания, общенаучных средств познания органически связано с процессом интеграции науки, и эти явления не могут быть поняты сколько-нибудь адекватно в отрыве от тех кардинальных изменений в механизме развития интегративных тенденций науки, которые характерны для условий научно-технической революции.

Сам термин «научно-техническая революция» носит интегративный характер, ибо в ходе НТР впервые в истории человеческой цивилизации революционные процессы в науке и в технике, ранее происходившие автономно, слились в единую целостную систему.

Развертывание НТР, возникновение ее новых направлений на рубеже тысячелетий привело к интенсификации интеграционных процессов в науке, что особенно рельефно проявляется в результатах научного знания, воплощающих в себе синтез достижений отдельных отраслей науки, теорий, принципов, понятий и других форм и средств познания.

Интегративные процессы характерны для всех видов, уровней и компонентов научной деятельности: средств и познавательных процедур (операций), целей и результатов. Они захватывают как технические средства и операции в познании, так и теоретические приемы, методы и процедуры научного исследования, порождая новые формы и виды научной деятельности, полностью направленные на становление целостности всей науки, примером чего являются информационные технологии, которые приводят к обобщающим результатам как в виде адекватных концептуально-теоретических систем, так и в форме овеществленных в материальных производительных силах достижений науки.

Одним из наиболее ярких свидетельств интеграции науки является достижение какими-то элементами научного знания или средствами познания такого статуса, когда они приобретают эвристическое значение в масштабе многих отраслей знания, а в ряде случаев и в масштабах всей науки, то есть становятся общенаучными.

Современная ситуация заключается в том, что наука достигла необходимого уровня в развитии интегративных процессов: возрастание взаимосвязи общественных, естественных и технических наук представляет собой ту основу, на которой формируются и приобретают общенаучный статус многие понятия и иные компоненты научного знания.

Итак, возрастающее единство научного знания проявляется в становлении общенаучного знания, а само оно – и результат действия интегративных тенденций в познании, и предпосылка дальнейшего их укрепления и развития. Иными словами, между общенаучным знанием и интеграцией науки существует отношение обоюдной детерминации.

Рекомендуемая литература

1. Панарин А.Ф. Стратегия нестабильности в XXI веке. – М.: Алгоритм, 2003. – с. 24-26
2. Семенов В.С. Уроки XX века и путь в XXI (социально-философский анализ и прогноз). – М.: Алгоритм, 2000. – с. 114-118
3. Степин В.С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс – Традиция, 2000. – с. 200-206
4. Каверин Н. Г. Традиции и революции в истории науки. – М.: Наука, 2001. – с. 78-81
5. Горохов В.Г. Концепции современного естествознания и техники. – М.: Наука, 2000. – с. 32-33

Контрольные задания для СРМ (темы 1) [9, 10, 11, 12, 13]

1. Ознакомится с современными концепциями философии науки.
2. Изучить основные направления геодезической науки на современном этапе.
3. Рассмотреть вопросы, связанные научно-технической революцией.

## **Тема 2 Постановка задачи определения фигуры Земли и её гравитационного поля в единой геоцентрической системе координат – 2 часа**

План лекции

1. Фигура Земли
2. Гравитационное поле Земли
3. Определение фигуры Земли в геоцентрической системе координат

Под фигурой планеты можно понимать:

- фигуру её физической поверхности (геометрическая фигура);
- фигуру эквипотенциальной поверхности (геоид, селеноид, ареоид и т.п.)
- динамическую фигуру планеты, которой является центральный эллипсоид инерции.

Реальная фигура планеты, естественно, отличается от эллипсоидальной. Физическая поверхность Земли, да и любой планеты настолько сложна, что она не поддаётся строгому математическому описанию. Наиболее наглядное представление – карта высот этой поверхности над уровнем моря или геоида – поверхности равного потенциала тяжести, проходящая через начало отсчёта высот. Эта поверхность близка к невозмущённой поверхности водной глади океанов и сообщающихся с ними морей. Однако, из-за различия температуры и солёности, атмосферного давления и т.п. поверхность водной глади не совпадает строго с геоидом, а отклоняется приблизительно в пределах одного метра. Например, в зоне Панамского канала разность уровней Тихого и Атлантического океанов составляет 62 см.

Для построения карты высот нужно поверхность уровня океанов продолжить под континенты. Сделать это не просто: необходимо знать распределение плотностей горных пород. Эта трудность была преодолена М.С. Молоденским: вместо геоида он предложил строить квазигеоид, что не требует знания внутреннего строения земной коры.

Появление спутников и новых возможностей исследования гравитационного поля существенно расширило круг задач теории фигуры Земли. Появилось новое направление в высшей геодезии – космическая геодезия. Если раньше триангуляция развёртывалась на физической поверхности Земли, то сейчас она стала трехмерной. Космические триангуляционные пункты – пункты слежения за геодезическими спутниками. Движение спутников, как известно, определяется как движение по некоторой орбите вокруг центра масс. Поэтому за начало системы отсчёта берут центр масс. Кроме того, необходимо знать расположение этих пунктов относительно тела отсчета, которым служит общий земной эллипсоид. Взаимное расположение пунктов задают геодезическими координатами  $B$ ,  $L$ ,  $H$ , соответственно, широтой, долготой и высотой. Фундаментальной задачей является определение центра общего земного эллипсоида относительно центра масс.

В доспутниковую эпоху геодезические работы вполне удовлетворяла привязка к эллипсоиду, аппроксимирующему исследуемую территорию. Советский геодезист Ф.М. Красовский получил параметры эллипсоида для Советского Союза с началом отсчета высот по Кронштадтскому футштоку. Сжатие эллипсоида Красовского равно 1:298,3. Эта величина значительно отличалась от сжатия общего земного эллипсоида принятого в то время и полученного по гравиметрическим данным. Авторы давали разные оценки сжатия от 1:296,6 до 1:297,4. Первое же определение сжатия по спутниковым данным дало величину, практически совпадающую со сжатием эллипсоида Красовского. Точность определения существенно возросла. Генеральная Ассамблея МАС в 1976 году для сжатия Земли утвердила значение 1:298,2570.

Спутниковые альтиметрические исследования дали прямые измерения топографии водной глади поверхности океанов, которая совпадает с геоидом с точностью  $\pm 1$  м. Сами альтиметрические наблюдения достигли точности нескольких сантиметров. Появилась необходимость с такой же точностью строить и теорию движения спутников и определять поверхность геоида.

Поверхность, всюду перпендикулярная направлениям силы тяжести, называется уровенной поверхностью. Уровенные поверхности можно проводить на разных высотах; все они являются замкнутыми и почти параллельны одна другой. Уровенная поверхность, совпадающая с невозмущенной поверхностью мирового океана и мысленно продолженная под материи, называется основной уровенной поверхностью или поверхностью геоида.

Если бы Земля была идеальным шаром и состояла из концентрических слоев различной плотности, имеющих постоянную плотность внутри каждого слоя, то все уровенные поверхности имели бы строго сферическую форму, а направления силы тяжести совпадали бы с радиусами сфер. В реальной Земле направления силы тяжести зависят от распределения масс различной плотности

внутри Земли, поэтому поверхность геоида имеет сложную форму, не поддающуюся точному математическому описанию, и не может быть определена только из наземных измерений.

В настоящее время при изучении физической поверхности Земли роль вспомогательной поверхности выполняет поверхность квазигеоида, которая может быть точно определена относительно поверхности эллипсоида по результатам астрономических, геодезических и гравиметрических измерений. На территории морей и океанов поверхность квазигеоида совпадает с поверхностью геоида, а на суше она отклоняется от него в пределах двух метров.

За действительную поверхность Земли принимают на суше ее физическую поверхность, на территории морей и океанов – их невозмущенную поверхность.

Что значит изучить действительную поверхность Земли? Это значит определить положение любой ее точки в принятой системе координат. В геодезии системы координат задают на поверхности эллипсоида вращения, потому что из простых математических поверхностей она ближе всего подходит к поверхности Земли; поверхность этого эллипсоида называется еще поверхностью относимости. Эллипсоид вращения принятых размеров, определенным образом ориентированный в теле Земли, на поверхность которого относятся геодезические сети при их вычислении, называется референц-эллипсоидом.

Для территории нашей страны принят эллипсоид Красовского: большая полуось  $a = 6378245$  м, малая полуось  $b = 6356863$  м, полярное сжатие:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}$$

Применяемые в разных странах референц-эллипсоиды могут иметь неодинаковые размеры; существует и общеземной эллипсоид, размеры которого утверждают Международные геодезические организации. Так, в системе WGS-84 (World Geodetic System) эти размеры суть большая полуось  $a = 6\,378\,137.0$  м, полярное сжатие:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.2566} = 0.003352810665$$

Для многих задач геодезии поверхностью относимости может служить сфера, которая в математическом отношении еще проще, чем поверхность эллипсоида вращения, а для некоторых задач небольшой участок сферы или эллипсоида можно считать плоским.

Гравитационное поле Земли, поле силы тяжести; силовое поле, обусловленное притяжением (тяготением) Земли и центробежной силой, вызванной её суточным вращением. Зависит также (незначительно) от притяжения Луны, Солнца и других небесных тел и масс земной атмосферы.

Гравитационное поле Земли характеризуется силой тяжести, потенциалом силы тяжести и различными производными от него.

Для решения практических задач потенциал земного притяжения представляется в виде ряда

$$V(\rho, \varphi, \lambda) = \frac{GE}{\rho} \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{a}{\rho} \right)^n P_{nm}(\sin \varphi) \cdot (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \right],$$

где  $V$  – геоцентрическое расстояние;

$\varphi$  и  $\lambda$  – географическая широта и долгота точки, в которой рассматривается потенциал;

$P_{nm}$  – присоединённые функции Лежандра;

$GE$  – произведение постоянной тяготения на массу Земли ( $398603 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$ ),

$a$  – большая полуось Земли;

$C_{nm}$  и  $S_{nm}$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от фигуры Земли и внутреннего распределения масс в ней.

Существуют другие, менее распространённые, формулы, учитывающие небольшое долготное изменение  $\gamma$ , а также асимметрию Северного и Южного полушарий. Ведётся подготовка к переходу к единой новой формуле с учётом уточнённого абсолютного значения силы тяжести. С помощью формул распределения нормальной силы тяжести, зная высоты пунктов наблюдений, а также строение окружающего рельефа и плотности слагающих его пород, вычисляют аномалии силы тяжести, которые применяются для решения большинства задач гравиметрии.

Коэффициенты (умноженные на  $10^6$ ) разложения потенциала земного притяжения в ряд по сферическим функциям, определённые по наблюдениям движения искусственных спутников Земли (по данным Смитсоновской астрофизической обсерватории, США) приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Коэффициенты разложения земного потенциала

m	0	1	2	3	4	5
$C_{2m}$	□ 108 2,63	□	2,41	□	□	□
$S_{2m}$	□	□	□ 1,3 6	□	□	□
$C_{3m}$	2,54	1,97	0,89	0,69	□	□
$S_{3m}$	□	0,26	□ 0,6 3	1,43	□	□
$C_{4m}$	1,59	□ 0,5 3	0,33	0,99	□ 0,0 8	□
$S_{4m}$	□	□ 0,4 9	0,71	□ 0,1 5	0,34	□
$C_{4m}$	0,23	□ 0,0 5	0,61	□ 0,4 3	□ 0,2 7	0,13

$S_{5m}$	$\square$	$\square 0,1$	$\square 0,3$	$\square 0,0$	0,08	$\square 0,6$
		0	5	9		0

### Рекомендуемая литература

1. Бровар В. В., Магницкий В. А., Шимбирев Б. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1961. – с. 3-5
2. Жонголович И. Н. Внешнее гравитационное поле Земли и фундаментальные постоянные, связанные с ним. – М.: Труды института теоретической астрономии, 1952. – с. 10-18
3. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1963. – с.112-115
4. Микиша А. М. Космос – Земле. – М.: Земля и Вселенная, 1977, № 3. – с. 28-30

Контрольные задания для СРМ (темы 2) [1, 14, 17, 21]

1. Изучить основные величины, характеризующие форму Земли.
2. Рассмотреть вопросы, связанные с гравитационным полем Земли.
3. Изучить системы координат, применяемые в геодезии.

### **Тема 3 Спутниковые методы определения фигуры Земли, её гравитационного поля, движения полюсов и неравномерностей суточного вращения – 2 часа**

#### План лекции

1. Из истории космической геодезии
2. Методика выполнения спутниковых измерений (статические, динамические и кинематические; дифференциальный метод)
3. Сутки как период вращения Земли вокруг оси

Запуски искусственных спутников Земли (ИСЗ) и первые же опыты использования их в геодезических целях сильно изменили взгляды и представления геодезистов о самом предмете геодезии и ее проблемах. Старые научные и практические задачи геодезии, которые издавна являлись для нее традиционными, предстали перед геодезистами в новом содержании и в более широком значении. Появились новые методы измерений, и в десятки раз

увеличилась точность измерений. Вскрылись глубокие и обширные связи геодезии (ее задач и проблем) с другими науками о космическом пространстве и о Земле.

Но не надо думать, что только запуск первого ИСЗ привел к рождению космической геодезии. У Земли есть естественный спутник Луна, и идея использовать ее как реперную точку для геодезических целей обсуждалась еще в XVII веке. Тогда же была высказана мысль о том, что сжатие Земли можно определить, изучая возмущения в движении Луны, вызванные притяжением Земли. Однако все эти идеи оставались идеями до 1957 года, когда запуск ИСЗ привел к появлению рабочих методов сначала спутниковой, а потом и космической геодезии.

Традиционными методами классической геодезии решается основная задача геодезии – изучение фигуры Земли и гравитационного поля нашей планеты с помощью измерений, производимых на поверхности Земли. Методы космической геодезии позволили взглянуть на Землю из космоса и начать измерять ее, оторвавшись от земной поверхности. Сразу видна масштабная, качественная разница этих двух подходов: поднявшись на сотни, а порой и на тысячи километров над поверхностью Земли, человек как бы вырос и получил возможность измерять длинные линии на Земле (линии порядка сотен и тысяч километров) с небывало высокой точностью.

Но дело не только в масштабах и точности измерений. С выходом в космос геодезия изменилась, если можно так выразиться, морально: расширился круг решаемых ею задач. Сейчас геодезия решает (в основном методами космической геодезии) такие проблемы, как изучение лунно-солнечных приливов (в том числе в земной коре), движение полюсов Земли, изменение скорости вращения Земли. Мы вплотную подошли к тому времени, когда основные проблемы геодезии, геокинематики и геодинамики будут успешно решаться с помощью методов космической геодезии.

Бурное развитие космической геодезии, среди методов которой сейчас обсуждаются и испытываются такие, как лазерная локация Луны, системы «спутник – спутник» или длиннобазисная радиоинтерферометрия (в частности, использование наблюдений квазаров в геодезических целях), не только не отодвинуло в тень старые классические наземные методы, но, наоборот, дало им как бы второе дыхание. Особенно ярко это удивительное сочетание классических наземных и космических методов проявляется при изучении гравитационного поля Земли.

Космическая геодезия – это не только совокупность нетрадиционных космических методов, позволяющих решать научные и практические задачи геодезии как науки о Земле! Космическая геодезия – это не только научная дисциплина, использующая естественные и искусственные космические объекты для решения геодезических задач. Мы стоим на пороге постановки и решения основной задачи космической геодезии (как самостоятельной научной дисциплины): создание единой координатной основы для работы в Солнечной системе. Это значит, что космическая геодезия, начав с глобального изучения

Земли, как одной из планет, в перспективе поможет человечеству выйти на уровень освоения всей Солнечной системы.

Геодезия как научная дисциплина была подготовлена к использованию космических объектов для решения своих научных и практических задач. Это связано с тем, что геодезия даже в далекие времена геоцентрического взгляда на мир была наукой, которая несла в себе идею отношения к Земле как к планете Солнечной системы. Идея глобального изучения Земли созрела в древние века задолго до торжества коперниканского учения. Вот почему геодезия, одна из древнейших наук о Земле, получила с выходом человечества в космос возможность развития тех идей и методов, которые давно зрели в ее недрах.

Диапазон параметров спутниковых орбит и характеристик самих спутников чрезвычайно велик. ИСЗ движутся по орбитам с наклонами от  $0^\circ$  (экваториальные) до  $90^\circ$  и более (околополярные орбиты). Эксцентриситеты спутниковых орбит колеблются от 0 (круговые орбиты) примерно до 0,975 (сильно вытянутые эллипсы). ИСЗ имели периоды обращения вокруг Земли от 80 мин до 24 ч, а, следовательно, высоты их орбит над поверхностью Земли колеблются от 200 до 35000 км.

Что касается самих ИСЗ, то их характеристики различаются в зависимости от целей запуска и от соответствующей этим целям научной аппаратуры, размещенной на борту. Были ИСЗ, напоминающие по форме причудливых насекомых (из-за далеко разнесенных солнечных батарей и другого оборудования), были спутники-баллоны, например «Эхо-2», имевший массу 256 кг при диаметре 41,2 м (числовое значение очень важного параметра – отношения площади среднего сечения к массе – у этого спутника равнялось примерно  $50 \text{ см}^2/\text{г}$ ), а были ИСЗ, похожие на старинные пушечные ядра: при большой массе они имели очень малые размеры (например, величина этого же параметра у спутника «Лагос» составляет всего  $0,07 \text{ см}^2/\text{г}$ ).

Какой же вклад в развитие геодезии и других наук о Земле внесли наблюдения ИСЗ и иных космических объектов, искусственных и естественных? Принято делить методы решения геодезических задач с использованием космических средств на геометрические и динамические. Это деление связано со следующими соображениями. Если используется метод, в котором космический объект интересует нас только как визирная цель, то есть точка с известными координатами, то этот метод относится к геометрическим. Если же в метод входит изучение и использование параметров, характеризующих движение космического объекта (а это движение происходит в гравитационном поле Земли и, стало быть, на нем отражаются свойства этого поля), то он относится к динамическим.

#### *Геометрические методы спутниковой геодезии*

Простейшим геометрическим построением, полученным с помощью ИСЗ, является треугольник, который образуется в результате одновременного (синхронного) наблюдения ИСЗ с двух станций. Данный треугольник А (станция-1) С (спутник) В (станция-2) является основным элементом всех спутниковых геометрических построений. Это, по сути дела, треугольник классической триангуляции, одна из вершин которого поднята в космическое

пространство. Способы решения такого треугольника значительно облегчены тем, что он всегда плоский. Правда, такое «облегчение» сводится на нет огромным количеством наблюдательного материала: спутников много, и наблюдаются они регулярно. Остается в спутниковой триангуляции проблема, которая была основной и в наземной триангуляции, – измерение базиса. Но прибавляется проблема, специфическая для космических методов: синхронизация наблюдений спутника с разных станций.

Кроме спутниковой триангуляции, которая строится на основе только угловых измерений, были применены и такие построения, как спутниковая трилатерация – пространственное построение с использованием только измерений расстояний. Основным инструментом спутниковой трилатерации является лазерный дальномер. Метод же, основанный на совместном применении лазерного дальномера и фотографического метода, который называется «фотолазер», заключается в том, что одновременно измеряется дальность до спутника и направление на него. Таким образом, мы имеем в этом случае так называемый полный топоцентрический радиус-вектор спутника.

Геометрическими методами были созданы геодезические построения огромной протяженности. Так, в середине 70-х годов был построен космический наземный базис Тромсё (Норвегия) – Хоэнпайсенберг (ФРГ) – Катания (Италия, остров Сицилия) длиной более 3500 км. Точность его очень высока – от  $10^{-6}$  до  $3 \cdot 10^{-7}$  (это относительная точность, она показывает, что каждый километр измеряется в среднем точнее 1 мм, а хорда длиной 1000 км измеряется точнее 1 м). Была создана Мировая триангуляционная сеть, состоящая из 45 пунктов наблюдений, для которой средняя ошибка в положении пункта не превышала 4,5 м. В рамках этой сети были определены положения 158 пунктов различных спутниковых сетей. Тогда же была завершена работа по созданию Западноевропейской триангуляционной сети, включающей 27 станций (позже было присоединено еще 4 станции).

Чтобы представить себе масштабы этих работ, подумаем вот о чем: каждый пункт Мировой триангуляционной сети это не традиционный геодезический сигнал, а, маленькая (а иногда и солидная) обсерватория, на которой размещены камеры для фотографирования ИСЗ, на фоне звезд, лазерный дальномер, доплеровская или иная радиотехническая аппаратура. На этой станции обязательно есть аппаратура службы времени, чтобы регистрировать моменты времени, которые необходимы для приведения результатов наблюдений на разных станциях на одно и то же положение ИСЗ в пространстве и на один и тот же физический момент времени. И конечно, эти станции должны быть обеспечены всем необходимым для использования в будущих исследованиях, связанных с изучением Земли как планеты. При этом возникает проблема получения масштаба спутниковой триангуляции. Масштаб задается линией (на поверхности Земли и в пространстве), построенной с такой же высокой относительной точностью, с какой проводились угловые измерения. Следовательно, масштаб задается базисом, и было предложено использовать дальности до ИСЗ, измеренные с помощью лазера, в качестве таких базисных линий.

Но в реальных проектах совместных наземно-космических сетей масштаб решено задавать созданием наземного высокоточного базиса. А наиболее перспективным для укрепления наземных астрономо-геодезических сетей является включение дальностей до ИСЗ, измеренных лазерными дальномерами, в совместную обработку с присоединением пунктов, координаты которых измерены высокоточным доплеровским методом. Общая же тенденция космической геодезии в настоящее время – это развитие динамических методов.

#### *Динамические методы спутниковой геодезии*

Прежде чем говорить о динамическом методе спутниковой геодезии, мы должны познакомиться с теорией движения ИСЗ в гравитационном поле Земли.

Движение ИСЗ в пространстве определяется действующими на него силами, которые по своему характеру делятся на два типа: гравитационные и негравитационные. К негравитационным относят такие, как торможение ИСЗ атмосферой Земли, давление солнечной радиации, воздействие электромагнитного поля Земли. Очевидно, что для большинства ИСЗ главными силами, определяющими их движение, являются гравитационные. Поэтому мы будем считать негравитационные силы возмущающими (малыми) по сравнению с силой притяжения Земли – основной гравитационной силой, определяющей движение ИСЗ. Кроме нее, на движение ИСЗ, конечно, воздействуют и другие гравитационные силы: притяжение Луны, Солнца, планет, силы приливного воздействия. Но эти возмущающие силы тоже очень малы по сравнению с притяжением Земли.

Таким образом, силой, определяющей движение ИСЗ, является сила притяжения Земли, а все остальные силы (гравитационные и негравитационные) малы по сравнению с ней и могут рассматриваться лишь как возмущающие движение, обусловленное притяжением Земли.

Движение ИСЗ происходит по эллипсу, один из фокусов которого совпадает с центром масс Земли (в эту точку мы поместим начало координат). Ближайшая к началу координат точка эллипса называется перигеем, наиболее удаленная от него – апогеем. Форма и размеры эллипса определяются двумя элементами: большой полуосью  $a$  и эксцентриситетом  $e$ . Плоскость орбиты ИСЗ пересекает плоскость земного экватора по линии, проходящей через начало координат, – эта линия называется линией узлов. Положение плоскости орбиты ИСЗ в пространстве неизменно и определяется относительно плоскости земного экватора двумя углами: долготой восходящего узла  $\Omega$  и углом взаимного наклона этих двух плоскостей  $i$ . Долгота  $\omega$  есть угол между направлением из центра Земли на точку весеннего равноденствия и направлением линии узлов. Расположение эллипса орбиты ИСЗ в орбитальной плоскости характеризуется углом между большой осью эллипса (эта линия, соединяющая перигей и апогей и проходящая через начало координат, называется линией апсид) и линией узлов (угловое расстояние перигея от узла –  $\omega$ ). Перечисленные пять независимых кеплеровых элементов характеризуют геометрию невозмущенной орбиты (рисунок 1). Шестой элемент определяет собственно движение ИСЗ по орбите. Обычно это или момент прохождения спутником точки перигея  $\tau$ , или

значение угловой координаты ИСЗ на заданный момент времени (обычно это начальный момент).

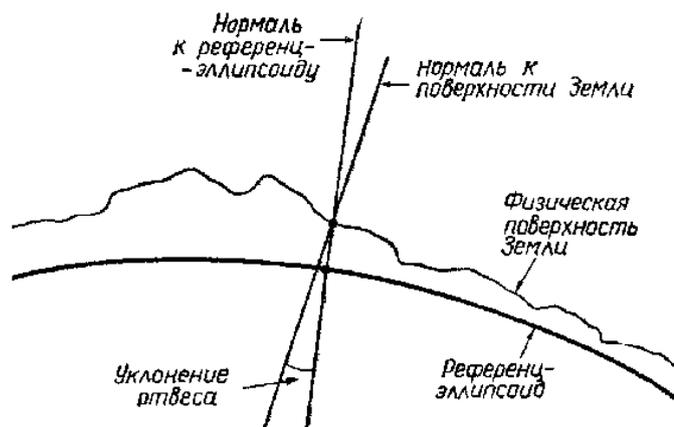


Рисунок 1 – Геометрия движения ИСЗ

Методы небесной механики помогли выяснить, что элементы спутниковых орбит испытывают вековые и периодические возмущения. Вековыми называются возмущения, пропорциональные времени. Они вызываются зональными гармониками геопотенциала и имеются у элементов  $\omega$ ,  $\Omega$  и  $\tau$ . Остальные элементы испытывают только периодические возмущения двух периодов: короткопериодические с периодом, примерно равным периоду обращения ИСЗ, и долгопериодические с периодами порядка суток. Амплитуды периодических возмущений малы, а вековые возмущения могут достигать заметных величин. Так, у геодезических ИСЗ в системе «Транзит» вековой уход линии апсид (т. е. изменение элемента  $\omega$ ), вызванный влиянием полярного сжатия, составляет около  $3^\circ$  за сутки.

Теперь становится понятной основная идея динамического метода спутниковой геодезии. Сравнивая наблюдаемые и предвычисленные по аналитической (или численной) теории положения ИСЗ в пространстве, геодезисты относят получающиеся расхождения за счет неточного знания гармонических коэффициентов геопотенциала. Набрав достаточно много результатов наблюдений и составив соответствующие уравнения, можно обрабатывать их методом наименьших квадратов и получать уточненные значения гармонических коэффициентов. Эти уточненные значения дают возможность все точнее предвычислять положения ИСЗ на орбите, получать все меньшие невязки с наблюдениями и все более уточнять значения коэффициентов геопотенциала.

#### *Новые методы космической геодезии*

Рассмотренные нами методы спутниковой геодезии (геометрические и динамические) стали для нее традиционными. Но развитие космической геодезии, особенно в последние годы, продолжалось. Усовершенствование лазерной и радиотехнической аппаратуры, установка на ИСЗ уголкового отражателя, доставка и установка их на поверхности Луны, запуск КА к далеким объектам Солнечной системы – все эти и другие факторы бурного

развития космической техники и методов слежения за космическими объектами увеличили возможности космической геодезии.

*Использование методов космической геодезии для решения задач геодинамики*

Бурное развитие и совершенствование геодезических средств и методов наблюдений, как классических, так (в особенности) и новых космических, о которых мы попытались рассказать, привели к развитию научных исследований, связанных с изучением геодинамических явлений. На стыке геодезии, геофизики, астрономии и океанологии появился новый раздел науки о Земле – геодинамика. Содержание геодинамики было сформулировано М. С. Молоденским в 1958 году следующим образом: изучение изменений поверхности Земли и ее гравитационного поля со временем (собственно, эту часть исследований можно назвать геокинематикой) и исследование сил, вызывающих эти изменения.

В сложный комплекс геодинамических проблем входит изучение таких явлений, как движение полюсов Земли, неравномерность вращения Земли, изменения во времени геопотенциала, земные и океанические приливы, эффекты общей теории относительности. Все перечисленные проблемы глобальные – они относятся к планете в целом. Но есть еще крупномасштабные, региональные и локальные геодинамические явления, которые связаны с процессами, происходящими в земной коре и в верхней мантии. Это движение так называемых литосферных плит, движения земной коры, приводящие к изменению положений пунктов наблюдений на земной поверхности, а также вариации величины и направления силы тяжести,

Создание сети опорных пунктов на земной поверхности, положения которых были бы определены в единой системе координат, и необходимое для установления этой единой геоцентрической системы координат знание фигуры, размеров и гравитационного поля Земли – составляют основную задачу геодезии. Эта задача в настоящее время решается не только по результатам наземных астрономо-геодезических и гравиметрических работ, но и методами космической геодезии.

До сих пор основная задача геодезии решалась в предположении, что фигура, размеры и гравитационное поле Земли не претерпевают никаких изменений с течением времени. Предполагаемые на основе геолого-геофизических воззрений движения отдельных участков земной коры до недавнего времени лежали за пределами интересов и возможностей геодезии, так как точность геодезических методов в прошлом была ниже величины этих движений. Однако прогресс геодезической измерительной техники и внедрение в геодезическую практику новых методов решения основной задачи геодезии (в основном методов космической геодезии) уже привели к тому, что создались условия для изучения геодинамических явлений.

Явление, которое обычно называется движением полюсов, есть перемещение оси вращения Земли в теле планеты относительно ее полярной оси инерции. На возможность такого движения, вызванного несовпадением этих осей, указал еще Л. Эйлер в 1758 году. Американский ученый Чандлер,

обработав результаты наблюдений за широтами нескольких обсерваторий, охватившие около 200 лет, нашел, что движение Северного полюса описывается в основном суммой периодических движений – с годовым периодом и с периодом 428 суток (так называемый «чандлеров период»). Наблюдаемая амплитуда движения Северного полюса достигает 0,4", или 12 м.

Причиной всех этих движений является, с одной стороны, указанное различие (несовпадение) осей Земли и отличие Земли от твердого тела, а с другой – притяжение Земли Луной, планетами и Солнцем. Современные астрономические методы позволяют определить положение полюсов с точностью около 3 м на интервале пяти суток. С 1969 года ведутся регулярные определения координат полюса по доплеровским наблюдениям навигационных ИСЗ системы «Транзит» (США). Их обработка дала признаки векового смещения Северного полюса в направлении Гренландии со скоростью от 10 до 20 см в год.

Изучение региональных и локальных геодинамических явлений имеет большое народнохозяйственное значение. Движение блоков земной коры, изменения уровня поверхностей морей и океанов, техногенные явления – установление характера и периодичности этих явлений чрезвычайно важно для предсказания сейсмической активности (землетрясения), при поиске полезных ископаемых, при проектировании крупных сооружений. Упомянутые такие глобальные геодинамические явления, как земные приливы или эффекты общей теории относительности, приводящие к изменению абсолютной гравитационной постоянной, а также тончайшие исследования, посвященные вариациям силы тяжести, остаются за рамками нашего рассказа: очень сложны в этих случаях теоретические соображения, а главное, очень невелик уровень достигнутого уверенного знания.

С целью изучения движения полюсов следует на всех геодинамических станциях выполнять регулярные астрономические наблюдения для определения их географических широт и долгот классическими методами. Для этих наблюдений необходимо применять однотипные инструменты и использовать единый высокоточный каталог звездных положений. Для слежения за изменениями направления отвесных линий на геодинамических станциях полезно выполнять периодические высокоточные измерения силы тяжести в пределах некоторого радиуса вокруг каждой станции.

Для изучения движения полюсов и независимого от предыдущих способов определения движений станций можно применить метод лазерной локации Луны, если некоторые обсерватории, входящие в сеть геодинамических станций, будут оснащены необходимой для этого аппаратурой.

#### *Перспективы развития космических методов геодезии*

В заключении приведем некоторые соображения, связанные с перспективами развития космической геодезии. Дело в том, что в настоящее время исследователи довольно ясно представляют себе, как применять существующие космические средства и методы для решения основных задач геодезии и геодинамики. По-прежнему остается основной задачей геодезии определение размеров, фигуры и гравитационного поля Земли. Будет

продолжена работа по уточнению и развитию больших региональных и глобальных триангуляционных сетей. В этой работе существенную роль играет установление единой общеземной системы координат для высокоточных измерений, а на первом этапе – определение взаимного положения начал и ориентировки осей различных систем геодезических координат.

Бытующее до сих пор мнение, что началом общеземной системы координат должен быть центр масс Земли, может измениться. Проблема определения положения центра масс в теле Земли оказалась гораздо сложнее, чем предполагали ранее: в точной постановке речь должна идти о центре масс системы Земля – Луна. Создание новой аппаратуры позволит с большей точностью изучать такие тонкие геодинамические эффекты, относящиеся именно к системе Земля – Луна, как движение полюсов Земли, вариации скорости вращения Земли, земные приливы. Продолжится изучение смещений континентальных плит, несомненно будет осуществлен один из проектов глобальной службы слежения за движением материков. Продолжатся тончайшие, на пределе точности (несколько микроГал), исследования вариаций силы тяжести.

Дать определение такому употреблению слова «сутки» сложно. Причин тому много.

Во-первых, ось вращения Земли, или, выражаясь научно, вектор её угловой скорости, не сохраняет постоянного направления в пространстве. Это явление носит название прецессии и нутации. Во-вторых, сама Земля не сохраняет постоянной ориентировки относительно вектора её угловой скорости. Это явление называется движением полюсов. Поэтому радиус-вектор (отрезок от центра Земли до точки на поверхности) наблюдателя на поверхности Земли не вернётся через один оборот (и вообще никогда) к прежнему направлению. В-третьих, скорость вращения Земли, то есть абсолютная величина вектора угловой скорости, тоже не остаётся постоянной. Так что, строго говоря, определённого периода вращения Земли не существует. Но с определённой степенью точности, несколько миллисекунд, можно говорить о периоде

Период вращения Земли не остаётся постоянным. Причин для этого много. Это и сезонные изменения в распределении температуры и давления воздуха по земному шару, и внутренние процессы, и внешние воздействия. Различают вековое замедление, декадные (в течение десятилетий) неравномерности, сезонные и внезапные. На рисунке 2 приведен график, показывающий изменение продолжительности суток в 1700-2000 гг. и в 2000-2006 гг. На рисунке 2 прослеживается тенденция к увеличению суток. График показывает отличие периода вращения Земли от 86400 с (секунд СИ), в миллисекундах и основан на материалах Международной службы вращения Земли и опорных систем (International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS).

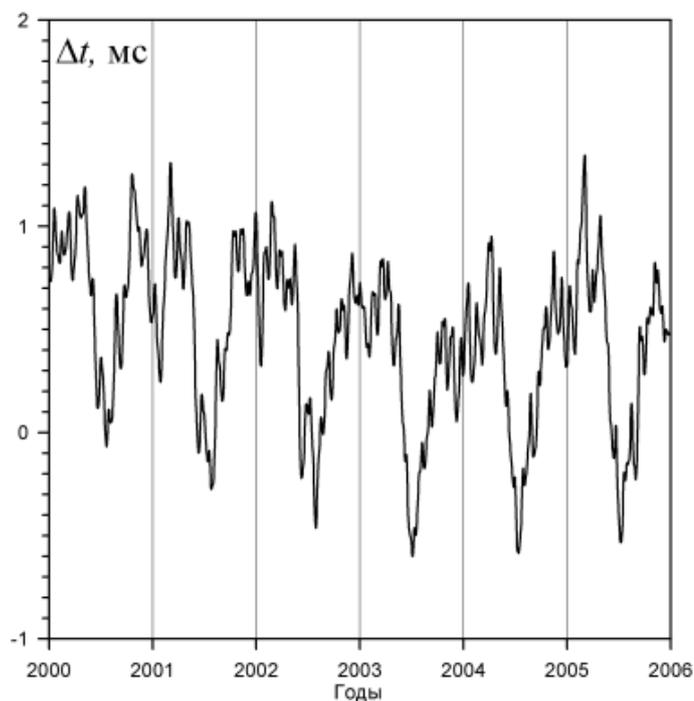


Рисунок 2 – Изменение длительности суток в 2000-2006 гг.

Радиотелескопы (рисунок 3) используются для исследования вращения Земли.

Изучение неравномерности вращения Земли очень важно для практики и интересно с научной точки зрения. Например, спутниковая навигация невозможна без знания вращения Земли. А его особенности несут информацию о внутреннем строении Земли. Эта сложная проблема ждёт своих исследователей.



Рисунок 3 – Радиотелескоп недалеко от Калязина

Рекомендуемая литература

1. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Физматлит, 2002. – с. 118-121
2. Микиша А. М. Космические методы в геодезии. – М.: Знание, 1983. – с. 31-40
3. Жаров В.Е. Сферическая астрономия. – М.: Наука, 2006. – с. 8-9
4. Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 10, 2004. – с. 15-16
5. Kovalevsky J., Seidelman P.K. Fundamentals of astrometry. – Cambridge University Press, 2004. – с. 18-19
6. Одуан К., Гино Б. Измерение времени, основы GPS. – М.: Техносфера, 2002. – с. 200-203

Контрольные задания для СРМ (темы 3) [2, 3, 15, 16, 18, 19]

1. Изучить историю космической геодезии.
2. Рассмотреть методику выполнения спутниковых измерений.
3. Рассмотреть вопросы, связанные с движением Земли вокруг своей оси.

#### **Тема 4 Астрономо-гравиметрические методы – 2 часа**

План лекции

1. Измерение силы тяжести
2. Гравитационное поле Земли
3. Астрономические методы

Геодезическая теория и практика в значительной степени сосредоточены на измерении силы тяжести.

Наиболее распространенный прибор для измерения силы тяжести – гравиметр, используемый для относительных измерений, то есть разности значений силы тяжести в двух пунктах. Основным элементом гравиметра является горизонтальное коромысло, на одном конце которого размещен груз, а на другом находится опора, относительно оси которой коромысло может поворачиваться под действием наклонно расположенной пружины. Один конец пружины крепится к коромыслу вблизи точки размещения груза, второй – к жесткому элементу корпуса прибора. Если в каком-либо пункте указатель шкалы прибора, связанный с положением груза, стоит на нуле, то в другом пункте в связи с изменением силы тяжести (и, соответственно, положения груза) показание на шкале прибора будет отличаться от нуля. Это показание шкалы и определяет разность значений силы тяжести между двумя пунктами. Достоинствами таких гравиметров являются малые размеры и высокая точность (до 0,02 мГал).

Для получения действительного значения ускорения силы тяжести в любом пункте относительные измерения в заданном пункте связывают с данными абсолютных измерений силы тяжести в этом пункте с помощью

баллистического гравиметра, в котором измеряется время падения тела под действием силы тяжести.

Расстояние, пройденное этим телом в процессе падения, измеряется лазерным интерферометром, а время падения – высокоточным электронным устройством. Точность измерения баллистическими гравиметрами достигает 0,01 мГал. Для проведения абсолютных измерений силы тяжести требуется большое количество вспомогательного оборудования, поэтому их нецелесообразно проводить при обычных геодезических съемках. Большинство баллистических гравиметров размещается в стационарных лабораториях, однако существуют и транспортабельные устройства, имеющие приемлемые уровни точности измерения.

Международная гравиметрическая стандартная сеть по состоянию на 1971 год включала 10 гравиметрических станций для абсолютных измерений и 1854 пункта для относительных измерений силы тяжести. Эта сеть является основой для проведения большого количества региональных гравиметрических съемок с точностью от 0,1 до 0,2 мГал. Хотя статические гравиметры позволяют получить наиболее точные значения, их использование в полевых условиях требует значительных затрат труда и времени. Применение гравиметров на подвижных основаниях затруднено главным образом тем, что прибор не способен ощутить разницу между ускорением силы тяжести и возникающим при этом инерционным (кинематическим) возмущающим ускорением (например, вследствие вертикальных перегрузок при движении автомобиля, корабля или самолета).

Тем не менее существуют подобные системы, способные обеспечить точность гравиметрических измерений порядка нескольких миллигал. В них используются усовершенствованные наземные гравиметры либо комплекты акселерометров, измеряющих величину ускорения по всем направлениям. Кинематическая составляющая ускорения вычитается из общего значения, для чего система осуществляет постоянное дифференцирование пройденного расстояния по времени, а полученные скорости после последующего дифференцирования дают искомые значения ускорений. Кроме того, появляется возможность ввести поправки на действие таких редко учитываемых факторов, как ускорение Кориолиса и центростремительное ускорение. Для успешного функционирования транспортабельных гравиметрических устройств необходимо использовать высокоточные современные системы навигации.

В аэрогравиметрических съемках обычно используются бортовые радиолокационные системы с радиолокационными или лазерными альтиметрами (высотомерами). Для достижения необходимой точности учитываются также данные, полученные со спутниковой системы GPS. При измерении градиента силы тяжести (величины изменения ускорения силы тяжести на очень малых расстояниях) обычно пренебрегают учетом положения и ускорения самого аппарата-носителя, однако при этом используются более сложные измерительные приборы.

Гравитационное поле Земли принято разделять на две части: нормальное гравитационное поле и остаточное аномальное поле. В физической геодезии

оперируют в основном с аномальным гравитационным полем. Основное преимущество такого подхода состоит в том, что аномальное поле гораздо слабее действительного гравитационного поля Земли и поэтому его характеристики легче определить. Нормальное гравитационное поле характеризуется четырьмя параметрами:

- общей массой Земли;
- формой и размерами эллипсоида, наиболее близко соответствующего геоиду в глобальном масштабе;
- скоростью вращения Земли.

Его определение вытекает из условия, что поверхность эллипсоида – это уровенная поверхность в нормальном гравитационном поле, а поверхность геоида представляет собой уровенную поверхность в действительном гравитационном поле (нормальное поле объясняет также существование негравитационной, центробежной, силы, которая возникает вследствие вращения Земли вокруг своей оси). При этом предполагается, что центр нормального эллипсоида (или референц-эллипсоида) совпадает с центром масс Земли. В любой точке разность высот геоида и референц-эллипсоида, называемая ондуляцией геоида, прямо пропорциональна возмущающему потенциалу (потенциал силы тяжести – одна из важнейших характеристик гравитационного поля Земли). Таким образом, определение аномального гравитационного поля (путем гравиметрических измерений) позволяет определить положение поверхности геоида по отношению к эллипсоиду и отсюда – форму Земли. Если нам известна форма геоида, то известно и направление силы тяжести, которое в каждой точке перпендикулярно к поверхности геоида. Следовательно, можно найти уклонение отвесной линии, то есть угол между направлением силы тяжести и перпендикуляром к поверхности эллипсоида.

Ирландский математик Дж. Стокс в 1849 первым решил геодезическую краевую задачу при условии, что ускорение силы тяжести известно в любой точке поверхности геоида (рассматриваемой в данном случае как граничная поверхность). Однако определить силу тяжести на всей земной поверхности очень нелегко, а измерять силу тяжести на поверхности геоида на суше вообще невозможно. Единственно возможное решение состоит в том, чтобы рассчитать ускорение силы тяжести для геоида, используя данные измерений на земной поверхности и вводя поправку за аномалию высоты. Этот метод требует также учета гравитационного воздействия масс земной коры, находящихся между топографической поверхностью и поверхностью геоида.

В конце 1950-х годов советский геодезист М. С. Молоденский нашел решение, пригодное для любой произвольной поверхности (в том числе топографической); эта поверхность может быть описана по гравиметрическим данным. Хотя это решение также приближенное, оно представляет шаг вперед, так как не требует знания плотностной структуры верхней части земной коры, как это требовалось в решении Стокса. В обоих случаях величина ускорения силы тяжести вблизи той точки, где должна быть определена поверхность геоида, оказывает гораздо более сильное влияние, чем в более удаленных

областях. Отсюда следует, что требования к точности измерений силы тяжести в глобальном масштабе могут быть не столь строгими.

Астрономические методы навигации основаны на определении положения известных небесных светил относительно выбранной системы координат. Эти методы реализуются при помощи астрономических оптических и оптико-электронных навигационных приборов. Для астронавигационных приборов характерны автономность измерения, ограничиваемая только видимостью небесных светил (в приземной области), и высокая точность определения координат места, не зависящая от длительности, дальности, высоты и скорости движения.

Поскольку основная задача навигации заключается в проведении объекта по заданной траектории в заданное время, учет хода времени является обязательной составной частью навигационных измерений.

Положение светил на небе определяется аналогично тому, как определяется положение точки на земной поверхности, – долготой и широтой. Вводится вспомогательная небесная сфера с центром в центре Земли, и все светила проецируются на нее. Принимается, что все светила расположены на этой сфере, вращающейся вокруг Земли. Небесный экватор рассматривается как проекция земного экватора на небесную сферу, и точно так же получаются Северный и Южный полюсы мира – как проекции земных полюсов.

Поскольку небесная сфера равномерно вращается вокруг Земли с востока на запад, всякая задача астронавигации требует соотнесения часового угла наблюдаемого светила с нулевым, то есть гринвичским, меридианом на Земле.

Географические координаты места объекта можно определить, измерив высоты двух светил над горизонтом. Вычисления координат могут осуществляться оператором или автоматическими астронавигационными системами. Высота же светила измеряется секстантом.

Авиационные секстанты снабжаются искусственным горизонтом в виде жидкостного уровня (или гироскопа). После определения по шкале секстанта высоты светила над горизонтом вносятся небольшие поправки на погрешность градуировки прибора и на параллакс – отклоняющее действие земной атмосферы на проходящий сквозь нее свет. В авиационных секстантах предусматриваются автоматическая регистрация показания по завершении визирования, а также усреднение показаний в процессе быстрого многократного визирования.

Визированием небесного светила навигатор может определить лишь линию, проходящую через его местоположение. Чтобы определить свои координаты места, ему нужно визировать второе светило и установить вторую линию положения.

#### Рекомендуемая литература

1. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – с. 11-17
2. Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 10, 2004. – с. 15-16

3. Изотов А. А. Астрономо-геодезические методы изучения геодинамических проблем. – М.: Земля и Вселенная, 1975, № 4. – с. 154-158

4. Микиша А. М. Как изучают гравитационные поля Земли и Луны. – М.: Земля и Вселенная, 1977, № 2. – с. 52-58

Контрольные задания для СРМ (темы 4) [6, 16, 20, 22]

1. Изучить методы измерения силы тяжести.

2. Рассмотреть вопросы, связанные с гравитационным полем Земли.

3. Детально изучить астрономические методы, применяемые в геодезии.

## **Тема 5 Проблема уточнения системы координат ПЗ-90 и связанных с ней фундаментальных постоянных; уточнение параметров связи систем ПЗ-90 и WGS-84 – 2 часа**

План лекции

1. Параметры ПЗ-90

2. Параметры WGS-84

3. Пересчет из ПЗ-90 в WGS-84

Параметры Земли 1990 года ПЗ-90 были определены Топографической службой Вооруженных сил Российской Федерации.

Параметры ПЗ-90 включают:

– фундаментальные астрономические и геодезические постоянные;

– характеристики координатной основы (параметры земного эллипсоида, координаты пунктов, закрепляющих систему, параметры связи с другими системами координат);

– модели нормальных и аномальных гравитационных полей Земли, локальные характеристики гравитационного поля (высоты квазигеоида над общим земным эллипсоидом и аномалии силы тяжести).

Входящая в состав ПЗ-90 система координат иногда называется СГС-90 (Спутниковая геоцентрическая система 1990 года). Параметры Земли ПЗ-90 заменили предыдущие наборы ПЗ-77 и ПЗ-85.

Параметры Земли ПЗ-90 получены по результатам почти 30 миллионов фотографических, радиодальномерных, доплеровских, лазерных и альтиметрических измерений спутника Гео-ИК с привлечением радиотехнических и лазерных измерений дальностей до спутников систем ГЛОНАСС и «Эталон».

Начало координат ПЗ-90 расположено в центре масс Земли; Ось Z направлена на Условный полюс Земли, как определено в рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS); Ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и начального (нулевого) меридиана, установленного Международным бюро времени (ВН); Ось Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

В этой системе координат положение точки в пространстве определяется значениями координат X, Y, Z.

Геодезические координаты точки в системе координат ПЗ-90.02 относятся к эллипсоиду, значения большой полуоси и полярного сжатия которого даны в таблице 2.

Таблица 2 – Геодезические константы и параметры эллипсоида ПЗ 90

Угловая скорость вращения Земли	$7,292115 \cdot 10^{-5}$ радиан/с
Геоцентрическая константа гравитационного поля Земли с учетом атмосферы	$398\,600,4418 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$
Геоцентрическая константа гравитационного поля атмосферы Земли ( $f_{Ma}$ )	$0,35 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$
Скорость света	299 792 458 м/с
Большая полуось эллипсоида	6 378 136 м
Коэффициент сжатия эллипсоида	1/298,257839
Гравитационное ускорение на экваторе Земли	978 032,84 мгал
Поправка к гравитационному ускорению на уровне моря, обусловленная влиянием атмосферы Земли	0,87 мгал
Вторая зональная гармоника геопотенциала (J20)	$1082625,75 \cdot 10^{-9}$
Четвертая зональная гармоника геопотенциала (J40)	$(- 2370,89 \cdot 10^{-9})$
Шестая зональная гармоника геопотенциала (J60)	$6,08 \cdot 10^{-9}$
Восьмая зональная гармоника геопотенциала (J80)	$1,40 \cdot 10^{-11}$
Нормальный потенциал на поверхности общеземного эллипсоида (U0)	$62\,636\,861,4 \text{ м}^2/\text{с}^2$

Геодезическая широта В точки М определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора.

Геодезическая долгота L точки М определяется как угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через точку М. Положительное направление счета долгот – от нулевого меридиана к востоку от 0 до 360 градусов.

Геодезическая высота Н определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки М.

Фундаментальные геодезические константы и основные параметры общеземного эллипсоида, принятые в системе координат ПЗ-90.02 приведены в таблице 3.2.

Геометрические параметры общего земного эллипсоида приняты равными соответствующим параметрам уровенного эллипсоида вращения. При этом за уровенный эллипсоид вращения принята внешняя поверхность нормальной Земли, масса и угловая скорость вращения которой задаются равными массе и угловой скорости вращения Земли.

Созданная система геодезических параметров Земли «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) обеспечили требования к точности взаимного положения

пунктов наземного комплекса управления системой «ГЛОНАСС» (0,5 м) и расчёта эфемерид КА системы «ГЛОНАСС» на суточном интервале прогноза с предельными ошибками вдоль орбиты не более 15 м. Координаты пунктов НКУ были внедрены в баллистическое обеспечение «ГЛОНАСС» соответствующими директивами.

Постоянно растущие потребности практики и, в первую очередь, широкое использование навигационной и геодезической аппаратуры потребителя «ГЛОНАСС»/GPS привели к необходимости модернизации системы ПЗ-90. Первый этап (1990-1999гг.) связан с решением целевых задач по всему объёму информации КГК «Геоик». На втором этапе (с 2000 до 2004 годов) в обработку были включены измерения, выполненные на пунктах КГС с использованием аппаратуры потребителя «ГЛОНАСС»/GPS.

В 1999 году точность расчёта пятисуточных орбитальных дуг составила 0,5 м. В рамках обработки результатов измерений динамическим методом космической геодезии получена спутниковая модель ГПЗ до 50-ой степени и предназначенная для высокоточного расчёта орбит КА. В результате точность определения положения пунктов КГС в геоцентрической системе координат повысилась до 0,7 м, а их взаимного положения – до 0,3 м.

Второй этап завершён созданием модернизированной системы ПЗ-90 - ПЗ-90.02, введённой Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.06.07 года. ПЗ-90.02 является системой взаимосогласованных геодезических параметров, включающих фундаментальные геодезические постоянные, параметры общеземного эллипсоида, параметры гравитационного поля Земли, общеземную систему координат и параметры её связи с другими системами координат по состоянию на 1 января 2002 года.

В системе координат ПЗ-90.02 изменены долготная ориентировка и линейный масштаб. Они приближены к значениям, принятым в системе координат Международной земной сети (ITRF), поддерживаемой Международной службой вращения Земли (IERS). Внесённые изменения находятся в пределах оценок точности соответствующих параметров ПЗ-90. Условие согласования положения центра системы координат ПЗ-90.02 с другими общеземными системами координат не накладывалось, так как оно надёжно определено по измерениям КГК «Геоик».

Точность установления общеземной системы координат ПЗ-90.02 по отношению к центру масс Земли характеризуется средней квадратической погрешностью на уровне от 0,3 до 0,5 м, а взаимное положение пунктов КГС на территории России определяется с погрешностью от 2 до 3 см на расстояниях более 4000 км. В ходе модернизации КГС система координат ПЗ-90.02 была распространена на пункты сети Международной геодезической службы IGS, расположенные на территории России, а также были уточнены значения элементов трансформирования систем координат.

Выполнены работы по геодезической привязке измерительных средств НКУ «ГЛОНАСС» в системе координат ПЗ.90.02 и проведён анализ результатов этой привязки специалистами 4 ЦНИИ и 29 НИИ Минобороны России.

Ниже приведены параметры WGS-84:

$$\begin{aligned}
 a &= 6378,137 \text{ км} \\
 1/f &= 298,25722356 \\
 GM_3 &= 3,986004418 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2 \\
 J_2 &= 1,08263 \cdot 10^{-3} \\
 \Omega &= 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}
 \end{aligned}$$

Спутниковые системы определяют координаты в общеземных системах: GPS – в WGS-84, ГЛОНАСС – в ПЗ-90. Используют же координаты в референцной, например в СК-42, или местной системе. Возникает необходимость пересчета координат из одной системы в другую.

Общеземные геоцентрические координаты WGS-84 пересчитывают в геодезические широты  $B$ , долготы  $L$  и высоты  $H$ . Геодезические высоты трансформируют в ортометрические высоты  $H_g$ . По геодезическим широтам и долготам вычисляют плоские прямоугольные координаты, например, в проекции UTM. От вычисленных таким образом координат необходимо перейти к соответствующим координатам, применяемым в России. Переход может быть выполнен на любом этапе. Естественно в самом начале перейти от WGS-84 к ПЗ-90, затем на эллипсоид Красовского, вычислить геодезические координаты, нормальные высоты и плоские координаты Гаусса-Крюгера.

Взаимосвязь между WGS-84 и ПЗ-90 устанавливают при помощи формул Гельмерта:

$$R_{WGS} = \Delta R_O + (1+m)W R_{ПЗ},$$

$$R_{WGS} = (X_{WGS}, Y_{WGS}, Z_{WGS})^T, \Delta R_O = (\Delta X_O, \Delta Y_O, \Delta Z_O)^T,$$

$$R_{ПЗ} = (X_{ПЗ}, Y_{ПЗ}, Z_{ПЗ})^T,$$

где  $R_{WGS}$  и  $R_{ПЗ}$  – векторы в соответствующих координатных системах,

$\Delta R_O$  – вектор начала координатной системы ПЗ-90 в системе WGS-84;

$m$  – различие линейных масштабов в этих системах;

$W$  – матрица поворота координатных осей, зависит от трех малых углов  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ .

Обычно угловые параметры не превышают 1".

Таким образом, для пересчета координат надо знать семь параметров трансформирования:  $\Delta X_O$ ,  $\Delta Y_O$ ,  $\Delta Z_O$ ,  $m$ ,  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ . Их появление обусловлено точностью установки общеземных геодезических систем отсчета. Эти параметры многократно уточнялись.

Таблица 3 – Пересчет координат

Параметры	ПЗ-90 WGS-84
$\Delta X_O$ , м	-0,3
$\Delta Y_O$ , м	+2,2

$\Delta Z_0$ , м	+1,0
$m \cdot 10^6$	-0,06
$\omega_x''$	-0,05
$\omega_y''$	-0,01
$\omega_z''$	-0,07

### Рекомендуемая литература

1. Харисов В. Н., Перов А. И., Болдин В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998. – с. 131-137
2. Одуан К., Гино Б. Измерение времени, основы GPS. – М.: Техносфера, 2002. – с. 88-90
3. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Тренд, 2000. – с. 210-218
4. 30. Галазин В.Ф., Базлов Ю.А. Совместное использование GPS и Глонасс. – М.: Доклад Международной конференции, 1997. – с. 43-44

Контрольные задания для СРМ (темы 5) [5, 19, 23, 30]

1. Изучить параметры ПЗ-90.
2. Изучить параметры WGS-84.
3. Сравнить параметры ПЗ-90 и WGS-84.

### **Тема 6 Совершенствование моделей движения искусственных спутников Земли, входящих в спутниковые навигационные системы – 2 часа**

#### План лекции

1. Структура спутниковых радионавигационных систем
2. Параметры спутников ГЛОНАСС и GPS
3. Развитие спутниковой навигации

Структура, способы функционирования и требуемые характеристики подсистем спутниковых радионавигационных систем (СРНС) во многом зависят от заданного качества навигационного обеспечения и выбранной концепции навигационных измерений. Для достижения таких важнейших качеств, как непрерывность и высокая точность навигационных определений, в глобальной рабочей зоне в составе современной СРНС типа ГЛОНАСС и GPS функционируют три основные подсистемы (рисунок 4):

- космических аппаратов (ПКА), состоящая из навигационных ИСЗ (в дальнейшем ее называем сетью навигационных спутников (НС) или космическим сегментом);
- контроля и управления (ПКУ) (наземный командно-измерительный комплекс (КИК) или сегмент управления);
- аппаратура потребителей (АП) СРНС (приемоиндикаторы (ПИ) или сегмент потребителей). Разнообразие видов приемоиндикаторов СРНС обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Основной операцией, выполняемой в СРНС с помощью этих сегментов, является определение пространственных координат местоположения потребителей и времени, то есть пространственно-временных координат (ПВК).

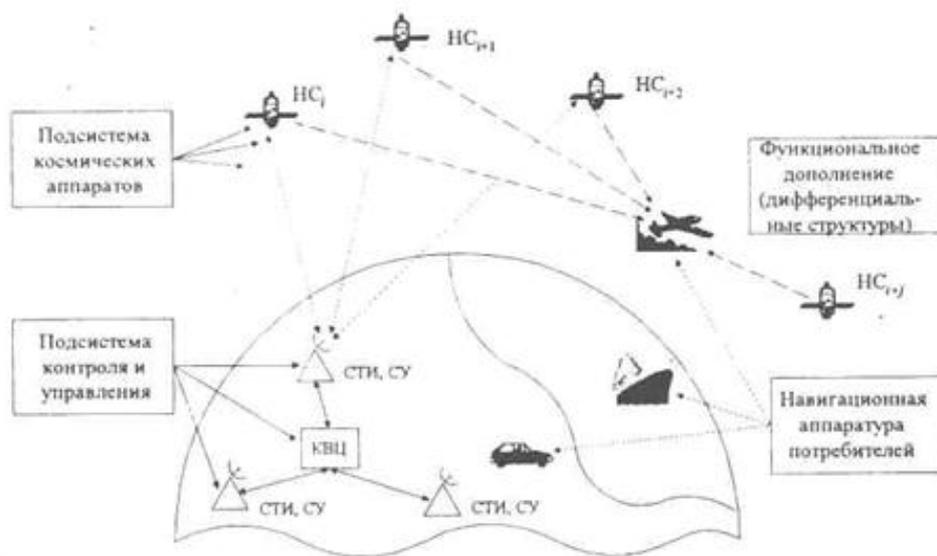
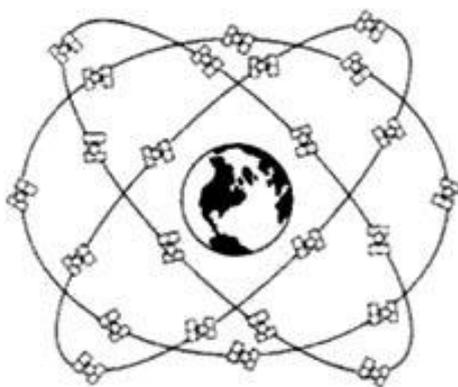


Рисунок 4 – Основные подсистемы ГЛОНАСС и GPS

В системе Глонасс в качестве радионавигационной опорной станции используются навигационные космические аппараты (НКА), вращающиеся по круговой геостационарной орбите на высоте около 19100 км (рисунок 5). Период обращения спутника вокруг Земли равен, в среднем, 11 часов 15 минут.

Сам спутник представляет собой герметический контейнер диаметром 1,35 м и длиной 7,84 м, внутри которого размещается различного рода аппаратура. Питание всех систем производится от солнечных батарей. Общая масса спутника – 1415 кг. В состав бортовой аппаратуры входят: бортовой навигационный передатчик, хронизатор (часы), бортовой управляющий комплекс, система ориентации и стабилизации и так далее.

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



Подсистема космических аппаратов GPS



Рисунок 5 – Космический сегмент систем ГЛОНАСС и GPS

Американская система GPS по своим функциональным возможностям аналогична системе Глонасс. Её основное назначение – высокоточное определение координат потребителя, составляющих вектора скорости, и привязка к системной шкале времени. Система GPS разработана для Министерства Обороны США и находится под его управлением.

Как и система Глонасс, GPS состоит из космического сегмента, наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей. Орбитальная группировка GPS состоит из 28 навигационных космических аппаратов. Все они находятся на круговых орбитах с периодом обращения вокруг Земли, равным 12 часам. Высота орбиты каждого спутника равна ~ 20000 км. НКА системы GPS проходили ряд усовершенствований, которые сказывались на их характеристиках в целом. В таблице 4 приведены краткие характеристики космических аппаратов, используемых в системе.

Таблица 4– Сравнительные характеристики систем ГЛОНАСС и GPS

Показатель	ГЛОНАСС	GPS
Число КА в полной орбитальной группировке	24	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число КА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты	64,8°	55°
Высота орбиты, км	19 130	20 180
Период обращения спутника	11 ч. 15 мин. 44 с	11 ч. 58 мин. 00 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84
Масса навигационного КА, кг	1450	1055

Мощность солнечных батарей, Вт	1250	450
Срок активного существования, лет	3	7,5
Средства вывода КА на орбиту	"Протон- К/ДМ"	Delta 2
Число КА, выводимых за один запуск	3	1
Космодром	Байконур (Казахстан)	Мыс Канаверел (Cape Canaveral)
Эталонное время	UTC (SU)	UTC (NO)
Метод доступа	FDMA	CDMA
Несущая частота:		
L1	1598,0625—1604,25	1575,42
L2	7/9 L1	60/77 L1
Поляризация	Правосторон няя	Правосто ронняя
Тип псевдошумовой последовательности	m- последовательность	код Голда
Число элементов кода:		
C/A	511	1023
P	51 1000	2,35x1014
Скорость кодирования, Мбит/с:		
C/A	0,511	1,023
P	5,11	10,23
Уровень внутрисистемных радиопомех, дБ	-48	-21,6

Структура навигационного сообщения

Скорость передачи, бит/с	50	50
Вид модуляции	BPSK (Манчестер)	BPSK NRZ
Длина суперкадра, мин.	2,5 (5 кадров)	12,5 (25 кадров)
Длина кадра, с	30 (15 строк)	30 (5 строк)
Длина строки, с	2	6

Общее направление модернизации обеих спутниковых систем GPS и Глонасс связано с повышением точности навигационных определений, улучшением сервиса, предоставляемого пользователям, повышением срока службы и надёжностью бортовой аппаратуры спутников, улучшением совместимости с другими радиотехническими системами и развитием дифференциальных подсистем. Общее направление развития систем GPS и Глонасс совпадает, но динамика и достигнутые результаты сильно отличаются.

Решение о модернизации системы GPS, связанное с передачей C/A-кода на частоте L2 (1222,7 МГц) и введением третьей несущей L3 (1176,45 МГц) на КА, которые будут запускаться с 2005 года. Сигнал на частоте L2 намечено использовать для гражданских нужд, не связанных непосредственно с опасностью для жизни людей. Предлагается начать реализацию этого решения с 2003 года. Третий гражданский сигнал на частоте L3 решено использовать для нужд гражданской авиации.

В числе действующих космических аппаратов (КА) в настоящее время находится одиннадцать спутников «ГЛОНАСС-М», (один запущен в 2003 году, два — в 2005, три – в 2006), имеющих гарантийный срок активного существования 7 лет. Эти спутники излучают, в отличие от аппаратов предыдущего поколения, уже по два сигнала для гражданских потребителей, что позволяет существенно повысить точность местоопределения.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации минимальная группировка из 18 спутников должна быть развёрнута в 2007 году. Полная группировка в составе 24-х спутников в соответствии с федеральной целевой программой «Глобальная навигационная система» должна быть развёрнута в 2010 году.

Спутники «ГЛОНАСС-М» в составе орбитальной группировки будут находиться, как минимум, до 2015 года. Лётные испытания негерметичных спутников нового поколения «ГЛОНАСС-К» с улучшенными характеристиками (увеличенным до 10 лет гарантийным сроком и третьей частотой L-диапазона для гражданских потребителей) должны начаться в 2009 году. Этот спутник будет вдвое легче своего предшественника (примерно 700 кг против 1415 кг у «Глонасс-М»)

В дальнейшем, после развёртывания орбитальной группировки из 24-х КА, для её поддержания потребуется делать по одному групповому пуску в год двух КА «ГЛОНАСС-К» на носителе «Союз», что существенно снизит эксплуатационные расходы.

29 ноября 2006 года министр обороны Сергей Иванов в ходе визита в РИРВ объявил о том, что система ГЛОНАСС в ближайшее время будет доступна и для гражданского использования.

18 мая 2007 года Президент РФ Владимир Путин подписал указ, согласно которому доступ к российской навигационной системе ГЛОНАСС будет предоставляться бесплатно и без ограничений как российским, так и иностранным потребителям.

### Рекомендуемая литература

1. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцев Н.В. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993. – с. 43-45

2. Харисов В. Н., Перов А. И., Болдин В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998. – с. 77-78

3. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – с. 88-90

4. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Тренд, 2000. – с. 113-120

5. Липкин И.А. Спутниковые навигационные системы. М.: Вузовская книга, 2001. – с. 25-29

6. Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment. Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). Rockwell Int. Corp. 1987. – с. 1-5

7. Галазин В.Ф., Базлов Ю.А. Совместное использование GPS и Глонасс. – М.: Доклад Международной конференции, 1997. – с. 15-20

Контрольные задания для СРМ (темы 6) [4, 5, 6, 23, 25, 26, 30]

1. Рассмотреть структуру спутниковых радионавигационных систем.

2. Изучить параметры спутников ГЛОНАСС и GPS.

3. Проследить за развитием спутниковой навигации.

### **Тема 7 Геодинамические эффекты – 2 часа**

#### План лекции

1. Понятие геодинамики

2. Геодинамические эффекты

3. Изменения магнитного поля Земли

Геодинамика – раздел науки о Земле, занимающийся определением и физическим объяснением изменений во времени взаимного положения точек земной поверхности и элементов гравитационного поля нашей планеты. Геодинамика близко соприкасается с астрономией, геодезией, геофизикой, океанологией.

Впервые термином «геодинамика» воспользовался итальянский астроном Дж. Скиапарелли в лекциях, прочитанных им в Петербургской академии наук в 1859 году. В 1911 году появилась монография английского геофизика А. Лява «Некоторые проблемы геодинамики». При различных гипотезах о механических свойствах Земли в ней рассматривались такие явления, как приливные деформации Земли, ее собственные колебания и другие.

Уже основатели геофизики У. Кельвин и Дж. Дарвин указывали на существование ряда сложных научных проблем, связанных с тем, что под действием притяжения Луны и Солнца изменяются форма и гравитационный потенциал Земли.

В начале XX века астрономические наблюдения привели к открытию изменчивости широт и долгот. Она объяснялась сложным внутренним строением Земли и перемещением масс как внутри нашей планеты, так и на ее поверхности (перемещения воздушных масс, тектонические движения, землетрясения).

В 50-х годах XX века благодаря применению в астрономических наблюдениях кварцевых, а затем атомных часов ученые установили неравномерность вращения Земли.

Так благодаря теоретическим исследованиям и наблюдениям с использованием все более и более точных измерительных приборов был открыт ряд геодинамических явлений. Но для того чтобы учитывать на практике эффекты, обусловленные этими явлениями, и таким образом повышать точность геофизических, астрономических, геодезических работ, нужно было сделать некоторые допущения о геометрической форме Земли, о распределении масс в ее теле, о ее жесткости, то есть нужно принять, как говорят ученые, ту или иную модель Земли.

Считая Землю твердым телом, вращающимся с постоянной угловой скоростью вокруг оси, фиксированной относительно Земли и проходящей через центр ее масс, можно построить прямоугольную систему координат с началом в центре масс и одной из осей, направленной вдоль оси вращения Земли. Фигура Земли, ее гравитационное поле и все построения в такой системе координат со временем не меняются. Если при определении положения точек на Земле за единицу измерений принять ее средний радиус, при определении силы тяжести – ее среднее значение на поверхности Земли, а при определении направлений – один радиан, то описанная модель обеспечит точность измерений порядка  $10^\circ$ .

С развитием современной техники абсолютных измерений силы тяжести, новых нетрадиционных средств изучения фигуры и гравитационного поля Земли (лазерная локация искусственных спутников Земли, доплеровские наблюдения спутников, радиоинтерферометрические наблюдения

внегалактических радиоисточников), при достаточно частых повторных измерениях точность определения абсолютных положений точек повысилась. На таком уровне точности появилась возможность усовершенствовать модель Земли и определять изменения положений точек земной поверхности и элементов гравитационного поля во времени.

При точности измерений от  $10^8$  до  $10^9$  в течение года могут быть зарегистрированы геодинамические эффекты, не превышающие нескольких сантиметров, нескольких микрогал и нескольких тысячных долей угловой секунды. Стало возможным зарегистрировать движение литосферных плит, изменение формы геоида, вариации гравитационного поля Земли, изменение положения центра масс Земли и ее осей инерции. Геодинамика продолжает заниматься также явлениями ранее изученными: движением полюсов Земли, приливными деформациями и неравномерностью вращения Земли и другими. Наибольшую амплитуду изменений ( $3 \cdot 10^6$  от радиуса Земли) имеет движение полюса, то есть перемещение в теле Земли оси ее вращения.

Эра космоса поставила вопрос о создании общеземной системы координат. Однако определить такую координатную систему крайне трудно, так как все элементарные объемы Земли находятся в постоянном движении относительно друг друга. Практическая задача геодинамики – определить и учесть эти движения, вычислить соответствующие поправки, чтобы обеспечить возможность представления наблюдений в рамках описанной выше простейшей модели твердой Земли.

Для решения геодинамических задач осуществляются запуски специальных астрометрических ИСЗ, организуются международные программы научных исследований.

Магнитное поле Земли, его напряженность, наклонение и склонение постоянно изменялись на протяжении всей ее истории. Периоды этих изменений самые различные: минуты, сутки (суточные вариации), сотни лет (вековые вариации), вариации основного спектра (период от 300 до 20 тысяч лет).

Самые сильные и глобальные изменения – инверсии магнитного поля, когда оно на протяжении геологической истории неоднократно изменяло полярность на прямую и обратную. Так на рисунке 6 хорошо видны изменения магнитного поля Земли произошедшие за 20 лет с 1980 по 2000 гг.

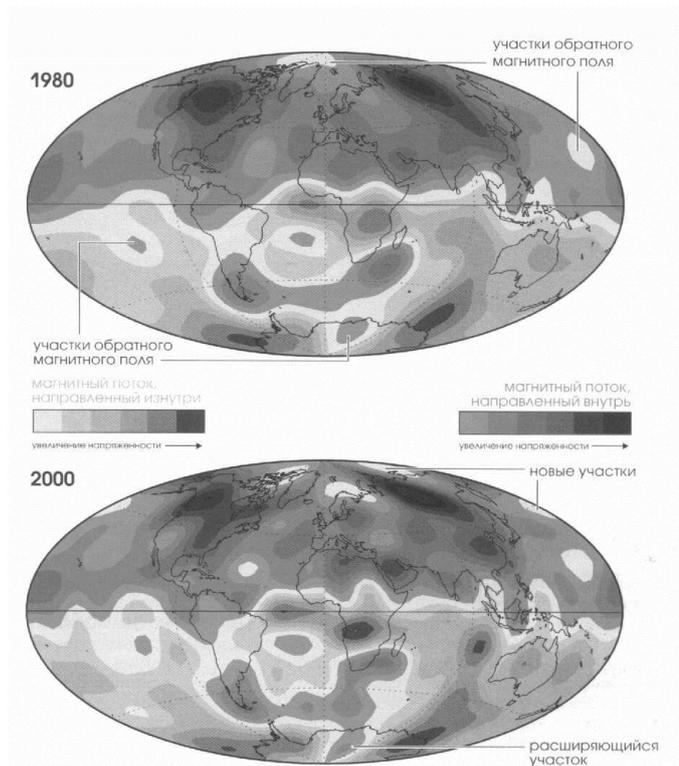


Рисунок 6 – Карты магнитного поля Земли на границе ядро-мантия, сделанные по измерениям со спутника

Изменения магнитного поля приводят к изменениям и в других геосферах, в частности, в большей степени в биосфере. Максимальные изменения соответствуют периодам инверсии. Систематические исследования инверсий позволили выявить связь между периодической сменой растительного и животного мира на Земле с циклическими изменениями магнитного поля. В моменты слабого магнитного поля в процессе инверсий, когда его напряженность уменьшается в 5-10 раз, Земля остается «беззащитной» перед космическим излучением, которое оказывает очень большое воздействие на биосферу.

#### Рекомендуемая литература

1. Изотов А. А. Астрономо-геодезические методы изучения геодинамических проблем. – М.: Земля и Вселенная, 1975, № 4. – с. 121-130
2. Микиша А. М. Космос – Земле. – М.: Земля и Вселенная, 1977, № 3. – с. 60-70
3. Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2001. – с. 85-93

#### Контрольные задания для СРМ (темы 7) [20, 21, 27]

1. Рассмотреть вопросы, связанные с понятием геодинамики.
2. Рассмотреть вопросы, касающиеся геодинамических эффектов.
3. Изучить характеристики магнитного поля Земли.

## Тема 8 Проблемы глобальной тектоники – 2 часа

### План лекции

1. Концепция Вегенера
2. Движения литосферных плит. Локальные движения вблизи границ литосферных плит
3. Международная геодинамическая служба IGS

В начале двадцатых годов XX века Альфред Вегенер выступил с гипотезой дрейфа континентов Земли – их перемещения по плотной подстилающей поверхности. Гипотеза предполагала существование в некие отдаленные времена единого континента. Она опиралась на солидные данные из области геологии, геофизики, палеонтологии, климатологии.

Начало изменения отношения к концепции дрейфа континентов связано с изучением геологии океанов. Здесь были: и открытие Срединно-Атлантического рифта (1956 год), и мировой системы срединно-океанических хребтов, и гигантских сдвигоподобных разломов, позже названных трансформными, и полосовых магнитных аномалий в глубоководной части океанов. А на континентах – повсеместное доказательство тектонических покровов в складчатых областях, палеомагнитные данные о изменении расположения материков относительно современной системы координат, находки тропической фауны в высоких широтах, не объяснимые климатическими изменениями. Наконец, математическое моделирование показало хорошее совпадение границ континентальных масс не только для Циркум-Атлантики, но и для остальных материков.

Результатом всего этого было появление (конец 60-х годов) концепции тектоники плит (именуемой также новой глобальной тектоникой). Предложенная сначала чисто умозрительно для решения частной задачи – распределения глубокофокусных и мелкофокусных землетрясений на поверхности Земли, – она сомкнулась с представлениями о дрейфе континентов, мгновенно обросла геологическими и геофизическими фактами и получила всеобщее.

Разумеется, современная тектоника плит очень далеко отошла от представлений Вегенера. Более того, изучение тех самых трансформных разломов, пограничных зон океан-континент, развитие концепции тектонических террейнов – блоков земной коры, испытавших тысячекилометровые перемещения за относительно краткие (геологически) промежутки времени, – размывают само представление о литосферных плитах как о (абсолютно) жестких фрагментах, пассивно дрейфующих под воздействием глубинных конвекционных потоков.

Источники напряжений в земной коре можно разделить на три группы:

1-я группа – это факторы, связанные с эндогенными, то есть внутренними, процессами, происходящими не только в земной коре, но также и в мантии

Земли. Именно эти процессы генерируют как глобальное поле напряжений Земли, так и тектонические движения в земной коре;

2-я группа источников напряжений связана с экзогенными факторами, такими, например, как покровные оледенения, нагрузка искусственных водохранилищ, эрозионная деятельность рек, откачка нефти, газа, воды с глубин в первые километры. В формировании глобального поля напряжений эта группа факторов играет меньшую роль;

3-я группа факторов связана с космическими источниками, например с ротационными силами Земли или силами, возникающими при быстром, практически скачкообразном изменении скорости вращения планеты, а также с приливным воздействием Луны.

Из всех перечисленных источников самый существенный вклад в общее поле напряжений вносят эндогенные процессы, которые и формируют поля напряжений разных рангов.

Наиболее важное значение имеет термогравитационная неустойчивость вещества мантии Земли до глубин 2900 км, в особенности астеносферного слоя, в котором вязкость на 2-3 порядка меньше, чем в вышележащих слоях верхней мантии и земной коры. Медленные движения вещества астеносферного слоя через вязкое трение передают усилия в вышележащую часть мантии и земную кору, то есть в литосферу, вызывая в ней напряжения и соответственно деформации. Напряжения могут возникать вследствие восходящих и нисходящих конвективных струй в мантии Земли, по некоторым предположениям образующих двухъярусную систему конвективных ячеек. Реальное существование подобных очень медленных струйных потоков в мантии Земли подтверждается различными данными, и в первую очередь сейсмотомографией – специальными сейсмическими методами, позволяющими благодаря тонким расчетам выявить неоднородности в мантии, то есть ее участки, обладающие различной плотностью, а следовательно, и температурой. Результаты сейсмотомографии подтверждаются и наблюдениями над силой тяжести, резкие аномалии которой выражены как раз в тех местах, где предполагается погружение или подъем вещества мантии. Например, такие узкие, но весьма контрастные положительные и отрицательные гравитационные аномальные зоны приурочены к глубоководным желобам и молодым горно-складчатым сооружениям в Андах, Индонезии, Алеутской, Курильской, Японской и других островных дугах.

В горных областях подобного типа гравитационные аномалии обычно положительны, что свидетельствует об избытке масс, которому должно отвечать увеличение давления на глубинах примерно от 50 до 100 км, что и является источником напряжений в литосфере и земной коре. Создаваемое давление значительно превышает нормальное литостатическое, то есть давление, вызванное весом вышележащих пород.

Усилия ученых сейчас направлены на составление специальных карт с показом на них ориентировки осей главных напряжений, кроме того, важно вычлениить составляющие разного ранга поля напряжений. Энергичная техногенная деятельность человека: создание огромных водохранилищ, откачка

колоссальных объемов газа, нефти, воды из земных недр, разработка глубоких карьеров – все это нарушает естественные поля напряжений и существующее динамическое равновесие в земной коре, особенно ее верхней части. Поэтому необходимо наблюдать за современными полями напряжений, в том числе и точными инструментальными методами.

Международная Служба Глобальных Навигационных Спутниковых Систем GNSS (The International GNSS Service, сокращённо IGS) начала функционировать в рабочем режиме с 1994 года. Она создавалась с целью снабжения различных научно-исследовательских организаций высокоточными данными спутниковых измерений. IGS, главным образом, предназначена для оказания помощи в изучении движения Земли, земной коры и протекающих в ней процессов, однако она нашла свое применение и в других областях науки.

В IGS входит более 200 сотрудничающих между собой организаций из более, чем 80 стран мира; глобальная сеть насчитывает более 370 станций, которые регистрируют и сохраняют «сырые» данные со спутников GPS и ГЛОНАСС. Помимо выполнения измерений IGS занимается определением и уточнением параметров Международной Земной Отсчетной Основы (ITRF), ее реализацией, определением точных эфемерид спутников GPS/ГЛОНАСС, поправок в часы приемников и спутников, исследованием вращения Земли и состояния различных слоёв атмосферы. Также IGS выполняет мониторинг движения и деформаций тектонических плит, отслеживание изменений среднего уровня моря, синхронизацию временных шкал и определение точных траекторий низкоорбитальных космических аппаратов.

В настоящее время IGS реализуется сетью из 379 пунктов - постоянно действующих базовых станций GPS/ГЛОНАСС (рисунок 7).

Архивы измерений с этих станций хранятся в четырёх международных и в шести региональных центрах сбора данных. Обработка производится в 10 вычислительных центрах. После обработки результаты сводятся воедино для создания «продукта» IGS. «Продукт» – это эфемериды спутников Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС), поправки в часы спутников и базовых станций, временная шкала IGS, координаты базовых станций, параметры вращения Земли, ионосферные и тропосферные поправки.

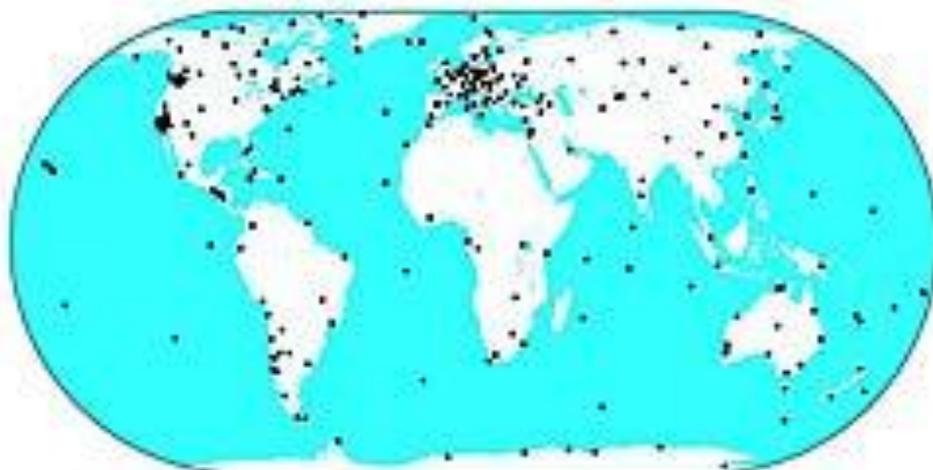


Рисунок 7 – Сеть базовых станций IGS

Служба IGS начала свою деятельность в 80-х годах, благодаря сотрудничеству нескольких учреждений – первых пользователей GPS в геодезии. К 1991 году, к объединению своих спутниковых определений для создания Международной Земной Отсчётной Основы (ITRF-91) приступили уже 70 организаций. О необходимости создания такой системы координат заявила Международная Ассоциация Геодезии (IAG) в свете быстро растущей популярности использования системы GPS для решения задач геодезии и геодинамики. Контроль за «построением» ITRF-91 осуществлял специально созданный комитет. В 1992 году была проведена демонстрация процесса построения ITRF. На тот момент сеть состояла из 42 постоянно действующих станций, достаточно равномерно распределённых по всему земному шару. Станции работали в демонстрационном режиме до момента, когда в 1994 году Международная Ассоциация Геодезии (International Association of Geodesy – IAG) официально утвердила Международную Геодинимическую Службу GPS.

Все больший интерес начали проявлять к «продукту IGS» различные организации, в том числе и несвязанные непосредственно со спутниковыми измерениями. В конце 90-х из названия Службы было убрано указание на геодинамику. А в 2005 году, принимая во внимание стремительную интеграцию с ГЛОНАСС, решением Управляющего Совета IGS изменила название на Международную Службу Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (Международная Служба GNSS).

IGS, наряду с другими организациями, занятыми в области геодезии и Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (GNSS), входит в состав Международного Комитета по Глобальным Навигационным Спутниковым Системам (ICG), учреждённого ООН в декабре 2005 года. Этот комитет действуют согласно рабочему плану, принятому в 2002 году. Согласно этому плану, IGS в нем занимается координированием взаимодействия отдельных служб в отрасли спутниковых систем, контролем за распространением информации, а также взаимодействует с государственными и местными властями и международными организациями.

В настоящее время для закладки геодезических знаков (рисунок 8) применяется бурение, используются знаки балочной конструкции, однако тип знака может варьироваться. При установке станции IGS учитывается ряд факторов: местоположение, тип геодезического знака и комплект геодезических приборов, которыми будет располагать станция. Для получения необходимой информации организации, планирующие установку станции, могут связаться с Центральным Бюро IGS.



Рисунок 8 – Знак, закрепляющий пункт IGS. Эфиопия (Африка)

Наземная геодезическая сеть – это сеть пунктов, для которых точно определены координаты и скорость их изменения; сеть реализует систему координат, позволяющую связывать во времени и пространстве различные виды измерений. Центр ITRS (The International Terrestrial Reference System Product Centre) Международной Службы Вращения Земли и Систем координат (IERS) - The International Terrestrial Reference System Product Centre of the International Earth Rotation and Reference Systems Service реализует ITRF путем обработки решений ряда геодезических спутниковых сетей. ITRF основывается, в том числе, на наблюдениях станций IGS. Координаты станций занесены в каталоги ITRF. Как упоминалось выше, к станциям IGS, являющимся пунктами ITRF, предъявляются особые требования для обеспечения стабильности и жесткости геодезической сети. Пункты, положение которых определено другими геодезическими методами, использующимися в ITRF (радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерные спутниковые построения, доплеровские, радиолокационные измерения, спутниковая система ДОРИС) приобретают особую значимость в определениях абсолютных смещений земной коры и при постановке анализа смещений из разнородных определений.

Глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS). В 1998-1999 годах в рамках Международного эксперимента по использованию ГЛОНАСС, впервые в определениях пунктов IGS использовались иные, отличные от GPS глобальные навигационные спутниковые системы. Согласно пилотному проекту, полная интеграция ГЛОНАСС должна была быть достигнута в 2004 году; на данный момент эфемериды спутников ГЛОНАСС с 15 сантиметровой точностью вычисляют четыре аналитических центра. Данный пример демонстрирует заинтересованность IGS в использовании других спутниковых систем. Возможность информационного обмена между различными системами, подготовку к работе с новыми типами сигналов осуществляет рабочая группа IGS-GNSS.

## Рекомендуемая литература

1. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1963. – с. 145-148
2. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978. – с. 81-85
3. Огородова Л.В. Высшая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006. – с. 56-60

Контрольные задания для СРМ (темы 8) [17, 31, 33]

1. Изучить концепцию Вегенера.
2. Изучить причины движения литосферных плит.
3. Изучить принципы работы Международной геодинамической службы IGS.

## Тема 9 Земные приливы – 2 часа

### План лекции

1. Влияние приливов при определении земной системы координат
2. Разновидности приливов
3. Система координат ITRF2000

Рассмотрим влияние приливов при определении земной системы координат.

Потенциал в точке наблюдения складывается из гравитационного потенциала внешних тел (Солнца, Луны и планет) и собственного потенциала Земли, возмущенного приливными деформациями. Внешний потенциал включает как зависящие от времени гармоники, так и постоянную во времени часть. Аналогично, и приливное смещение точки наблюдения содержит постоянную и переменную во времени компоненты.

В зависимости от учета приливов земная система координат может быть определена как система:

- а) связанная со «средней» корой;
- б) корой, свободной от приливов.

Геопотенциал также может быть представлен в системе:

- а) связанной со «средним» приливом;
- б) свободной от приливов;
- в) соответствующей «нулевому приливу».

Если из мгновенных координат пункта, жестко связанного с корой Земли, или из потенциала, вычесть зависящие от времени приливные поправки, то результирующие координаты будут отнесены к «средней» коре; оставшиеся приливные поправки называются «средним приливом» («mean tide»).

Результирующий потенциал называется потенциалом, соответствующим «среднему приливу». Постоянная часть приливной деформации, которая вызывается потенциалом, присутствует в «средней» коре; геопотенциал «среднего прилива» равен сумме постоянной части внешнего и постоянной

части возмущенного потенциалов. «Средняя» кора соответствует реальным средним положениям пунктов на поверхности Земли. Геоидом, соответствующим «среднему приливу», был бы геоид, совпадающий со средней поверхностью океана в отсутствии негравитационных возмущений (течений и ветров). В общем случае, величины, отнесенные к «средней» коре (такие как сжатие, динамический форм-фактор, экваториальный радиус), определяют размеры эллипсоида «средней» коры и форму геоида «среднего прилива».

Если теперь из координат пункта вычесть постоянную часть прилива, то координаты будут отнесены к коре, свободной от приливов («tide free»). Удаление постоянной части внешнего потенциала из геопотенциала "среднего прилива" приводит к потенциалу «нулевого прилива» («zero tide»). Постоянная часть возмущающего потенциала все еще присутствует в геопотенциале; удаление этой компоненты приводит к геопотенциалу, свободному от приливов («tide free»). Важно заметить, что в отличие от потенциала термин «нулевой прилив», примененный к коре и связанным с ней величинам, является синонимом термина «средний прилив» (рисунок 9).

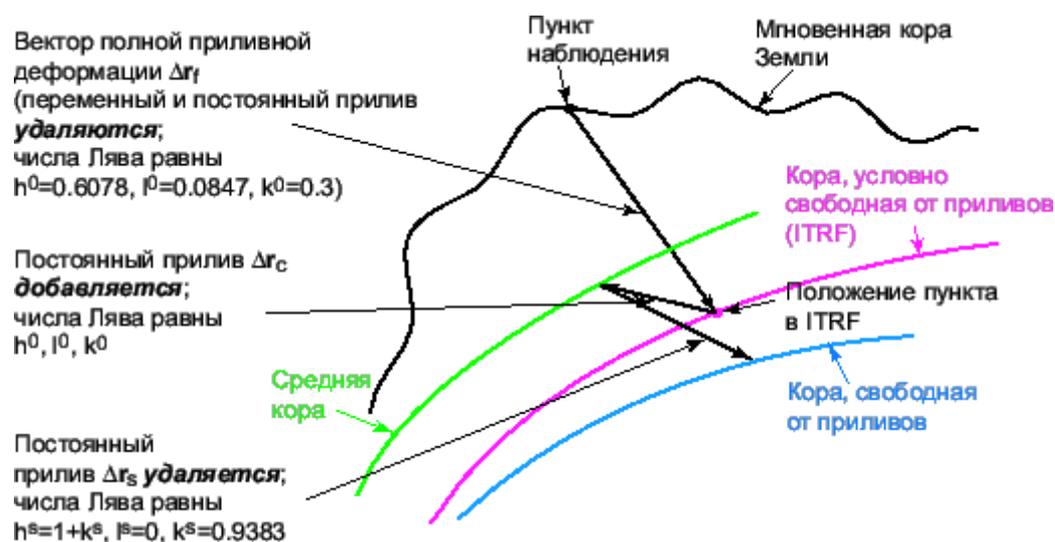


Рисунок 9 – Определение земной коры, "условно свободной от приливов", "свободной от приливов", и "средней" коры

Почему при вычислении смещения пунктов или геопотенциала особое внимание уделяется постоянному приливу? Дело в том, что Земля не является абсолютно твердым телом: под действием внешних сил расстояние между двумя произвольными точками изменяется. Земля не является и абсолютно упругим телом. Если действие внешних сил прекращается, то точки не возвращаются в первоначальное положение, то есть Земля остается в деформированном состоянии.

Так как модель учета приливов не точна из-за незнания долгопериодических чисел Лява, то геопотенциал и земная система координат, основанные на использовании этой модели, называются «условно свободными от приливов» («conventional tide free»). Координаты станций, задающие земную систему координат ITRF2000, «условно свободны от приливов».

На это определение ITRF необходимо обратить особое внимание в связи с резолюцией 16 Генеральной Ассоциации Геодезии (1983). В резолюции записано, что «признавая необходимость единого подхода к учету приливных поправок к различным геодезическим величинам, таким как сила тяжести и координаты станций» рекомендуется «не удалять не прямой эффект, вызываемый постоянной деформацией Земли», то есть постоянная часть возмущающего потенциала должна оставаться в геопотенциале. Из этой резолюции следует, что при обработке гравиметрических наблюдений должны использоваться величины, связанные с потенциалом «нулевого прилива»; если обрабатываются геодезические наблюдения, то величины связываются со «средней» корой.

#### Рекомендуемая литература

1. Бровар В. В., Магницкий В. А., Шимбирев Б. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1961. – с. 33-41
2. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Физматлит, 2002. – с. 82-88
3. Одуан К., Гино Б. Измерение времени, основы GPS. – М.: Техносфера, 2002. – с. 128-133
4. Бугаевский Л.М. Математическая картография. – М., Златоуст, 1998. – с. 83-90

#### Контрольные задания для СРМ (темы 9) [1, 2, 19, 29]

1. Рассмотреть влияние приливов при определении земной системы координат.
2. Изучить разновидности приливов.
3. Изучить характеристики системы координат ITRF2000.

### **Тема 10 Упругие деформации и числа Лява – 2 часа**

#### План лекции

1. Виды поверхностных волн
2. Волны и числа Лява
3. Наблюдения деформаций земной поверхности

Существование поверхностных волн (ПВ) является следствием взаимодействия продольных и (или) поперечных упругих волн при отражении этих волн от плоской границы между различными средами при определенных граничных условиях для компонент смещения. ПВ в твердых телах бывают двух классов: с вертикальной поляризацией, у которых вектор колебательного смещения частиц среды расположен в плоскости, перпендикулярной к

граничной поверхности, и с горизонтальной поляризацией, у которых вектор смещения частиц среды параллелен граничной поверхности.

К наиболее часто встречающимся частным случаям ПВ можно отнести следующие.

1) Волны Рэлея (или рэлеевские), распространяющиеся вдоль границы твердого тела с вакуумом или достаточно разреженной газовой средой. Энергия этих волн локализована в поверхностном слое толщиной от  $l$  до  $2l$ , где  $l$  – длина волны. Частицы в волне Рэлея движутся по эллипсам, большая полуось  $w$  которых перпендикулярна границе, а малая  $u$  – параллельна направлению распространения волны

2) Затухающие волны рэлеевского типа на границе твердого тела с жидкостью при условии, что фазовая скорость в жидкости  $cL < cR$  в твердом теле (что справедливо почти для всех реальных сред). Эта волна непрерывно излучает энергию в жидкость, образуя в ней отходящую от границы неоднородную волну

3) Незатухающая волна с вертикальной поляризацией, бегущая по границе жидкости и твердого тела со скоростью, меньшей  $cL$  (и, соответственно, меньшей, чем скорости продольной и поперечной волн в твердом теле). Структура этой ПВ совсем другая, чем у рэлеевской волны. Она состоит из слабо неоднородной волны в жидкости, амплитуда которой медленно убывает при удалении от границы, и двух сильно неоднородных продольной и поперечной волн в твердом теле.

4) Волна Стоунли, распространяющаяся вдоль плоской границы двух твердых сред, модули упругости и плотности которых не сильно различаются. Такая волна состоит как бы из двух рэлеевских волн – по одной в каждой среде.

5) Волны Лява – ПВ с горизонтальной поляризацией, которые могут распространяться на границе твердого полупространства с твердым слоем (рисунок10).

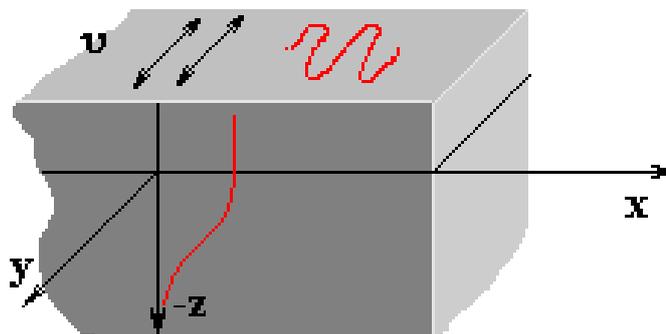


Рисунок 10 – Волны Лява

Эти волны – чисто поперечные: в них имеется только одна компонента смещения  $v$ , а упругая деформация в волне Лява представляет собой чистый сдвиг.

Для волн Лява характерна дисперсия скорости. При малых толщинах слоя фазовая скорость волны Лява стремится к фазовой скорости объемной поперечной волны в полупространстве.

Для описания упругих деформаций Земли английский геофизик Ляв ввел безразмерные параметры  $k$ ,  $h$  (позже японский ученый Шида определил число  $l$ , которое сейчас называются числами Лява. Числа Лява связаны с модулями упругости Земли (величинами, характеризующими упругие свойства материалов при малых деформациях). В настоящее время доказано, что упругие свойства Земли, и, следовательно, числа Лява зависят от частоты воздействующей на Землю силы. Для принятой модели строения Земли были рассчитаны числа Лява, на основе которых вычисляется приливное смещение пункта. Но вычисленная поправка к координатам пункта не является правильной из-за того, что для низких частот (или больших периодов) числа Лява известны с большими ошибками. Поэтому, при вычислении коры, свободной от приливов, используются принятые числа Лява; значит часть долгопериодических (или вековых) приливов, в том числе и постоянный прилив, остается в координатах пункта. Деформации Земли, вызываемые постоянным приливом, характеризуются вековым числом Лява, которое значительно отличается от принятого в модели. Если ошибка в величине числа Лява составляет лишь 5%, то ошибка в вертикальном смещении составит 6 мм, а в горизонтальном – 3 мм. Это значит, что в чистом виде кора, свободная от приливов, не может быть реализована.

Под действием приливных сил отдельные регионы земной поверхности растягиваются, другие – сжимаются. Величину таких деформаций можно измерить с помощью приборов, которые называются экстенсографами (деформографами).

Наблюдения за вращением Земли относительно звезд могут быть только астрономическими. В прошлые годы этим занимались Службы Времени, которые определяли моменты пересечения звездами небесного меридиана. Этой цели служил пассажный инструмент. Теперь появились новые средства, позволяющие существенно увеличить точность наблюдений – это радиоастрометрические инструменты и, прежде всего, РСДБ – радиотелескопы со сверхдлинной базой. Наблюдения далеких радиоисточников, расположенных в других галактиках, позволило увеличить точность наблюдений почти на три порядка. С помощью этих же наблюдений, определяют координаты полюсов на земной поверхности. Значительный вклад в проблему повышения точности астрономических наблюдений внесли навигационные спутники (GPS), лазерные наблюдения за специальными спутниками. Проблема определения скорости вращения Земли решается совместно с другими проблемами, которые объединяются под названием геодинамики. Эти наблюдения позволяют определить одну из глобальных характеристик упругости планеты Земля, а именно постоянную Лява  $k$ , которая определяет одну из главных зональных гармоник приливных деформаций Земли, ответственной за периодические изменения момента инерции планеты.

## Рекомендуемая литература

1. Kovalevsky J., Seidelman P.K. Fundamentals of astrometry. – Cambridge University Press, 2004. – с. 19-21
2. Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2001. – стр. 56-64
3. Баранов В.Н., Бойко Е.Г. Космическая геодезия. – М., Недра, 1989. – с. 111-130

## Контрольные задания для СРМ (темы 10) [18, 27, 28]

1. Рассмотреть виды поверхностных волн.
2. Изучить волны и числа Лява.
3. Рассмотреть вопросы, связанные с наблюдениями деформаций земной поверхности.

## **Тема 11 Выбор референц-систем с учетом геодинамических эффектов – 2 часа**

### План лекции

1. Референц-эллипсоид
2. Типы геодезических систем
3. Виды референц-систем

Земные системы связаны с локальными референц-эллипсоидами (или отсчетными эллипсоидами), принятыми в отдельной стране или группе стран. Центры таких эллипсоидов, как правило, не совпадают с центром масс Земли вследствие ошибок ориентирования, поэтому эти системы иногда называют квазигеоцентрическими.

Основной плоскостью в локальной референцной системе является плоскость экватора референц-эллипсоида. Ось  $Z$  направлена по нормали к экватору, вдоль малой оси эллипсоида. Ось  $X$  направлена в плоскости начального меридиана геодезической системы, то есть проходит через точку  $B=0$ ,  $L=0$ . Ось  $Y$  дополняет две предыдущие оси до правой (или левой) координатной системы. Возможно использование размеров и формы одного и того же эллипсоида в различных координатных системах, отличающихся своей ориентировкой (исходными геодезическими датами).

В референцных системах обычно применяются геодезические (сфероидические) координаты: геодезическая широта  $B$ , геодезическая долгота  $L$  и высота над эллипсоидом  $H$ .

Параметры некоторых эллипсоидов, используемых в картографии, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры эллипсоидов, используемых в картографии

№	Эллипсоид	Большая полуось а, м	Обратное сжатие f-1
1	Красовского	6 378 245.0	298.300
2	PZ-90	6 378 136.0	298.257 839 303
3	Airy 1830,	6377563.396	299.3249646
4	Modified Airy	6377340.189	299.3249646
5	Australian National	6378160.0	298.25
6	Bessel 1841 (Namibia)	6377483.865	299.1528128
7	Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
8	Clarke 1866,	6378206.4	294.9786982
9	Clarke 1880,	6378249.145	293.465
10	Everest (India 1830)"	6377276.345	300.8017
11	Everest (Sabah Sarawak)	6377298.556	300.8017
12	Everest (India 1956)	6377301.243	300.8017
13	Everest (Malaysia 1969)	6377295.664	300.8017
14	Everest (Malay. & Sing)	6377304.063	300.8017
15	Everest (Pakistan)	6377309.613	300.8017
16	Modified Fischer 1960	6378155.0	298.3
17	Helmert 1906	6378200.0	298.3
18	Hough 1960	6378270.0	297.0
19	Indonesian 1974	6378160.0	298.247
20	International 1924	6378388.0	297.0
21	Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
22	GRS 80	6378137.0	298.257222101
23	South American 1969	6378160.0	298.25
24	WGS 72	6378135.0	298.26
25	WGS 84	6378137.0	298.257223563

Из-за наблюдательных ограничений, наложенных ранее условностями геодезии, исторически оказались выполненными два разных типа геодезических систем:

– двухмерные континентальные плановые геодезические системы, закрепленные пунктами геодезических сетей с координатами  $B_r$ ,  $L_r$ , например системы координат 1942 года (СК-42), 1995 года (СК-95);

– полностью независимые континентальные высотные системы, являющиеся, по существу, физическими геодезическими основами, независимыми от эллипсоида, и строящиеся на основании уравнивания нивелирных наблюдений.

К таким системам относится принятая в России Балтийская система высот 1942 года и принятая в США Национальная геодезическая система высот 1929 года (National Geodetic Vertical Datum – NGVD29). В этих системах высоты

точек задаются относительно геоида (квазигеоида). Глобальные системы высот пока не определены и не приняты, хотя исследования в этом направлении ведутся.

Параметры некоторых систем координат приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики систем координат

Система координат	Референц-эллипсоид	Большая полуось $a$ , м	Обратное сжатие $\frac{1}{f} = \frac{a}{a-b}$
ITRF-93	GRS-80	6 378 137	298.257 222 101
WGS-84	WGS-84	6 378 137	298.257 223 563
СК-42	Красовского	6 378 245	298.300
СК-95 (SGS-95)	Красовского	6 378 245	298.300
ПЗ-90	PZ-90	6 378 136	298.257 839 303

Координаты пунктов геодезической сети содержат в базе данных геодезических пунктов департамент Земли.

Геодезическая система использует геодезические, гравиметрические, а также картографические результаты деятельности в случае, если эти данные вносятся в государственные и базы данных местных самоуправлений.

Рекомендуемая литература

1. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли. – М.: Геодезиздат, 1960. – с. 48-55
2. Мориц Г. Р. Современная физическая геодезия. – М.: Недра, 1983. – с. 35-38
3. Баранов В.Н., Бойко Е.Г. Космическая геодезия. – М., Недра, 1989. – с. 41-44
4. Бугаевский Л.М. Математическая картография. – М., Златоуст, 1998. – с. 123-132
5. Галазин В.Ф., Базлов Ю.А. Совместное использование GPS и Глонасс. – М.: Доклад Международной конференции, 1997. – с. 72-81
6. . Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978. – с. 200-201

Контрольные задания для СРМ (темы 11) [7, 24, 28, 29, 30, 31]

1. Изучить характеристики референц-эллипсоида.
2. Рассмотреть типы геодезических систем.
3. Изучить виды референц-систем.

## Тема 12 Оси Тиссерана – 2 часа

План лекции

1. Международная земная система координат
2. Оси Тиссерана

### 3. Кинематическая модель движения плит

Международная земная система координат (International Terrestrial Reference Frame – ITRF) реализуется декартовыми координатами ряда пунктов (рисунок 11). В настоящее время стандартами Международной службы вращения Земли рекомендуется использовать систему ITRF2000. В этой системе координаты и скорости пунктов приводятся на эпоху 1997.0, тогда как плоскость экватора системы на эпоху J2000.0. Если необходимо получить географические координаты, отнесенные к эллипсоиду, то согласно стандартам МСВЗ необходимо использовать эллипсоид GRS80.

Точность наблюдений современными средствами настолько высока, что позволяет определить скорости пунктов, то есть изменение их координат из-за тектонических движений, в течение достаточно короткого промежутка времени (около года).

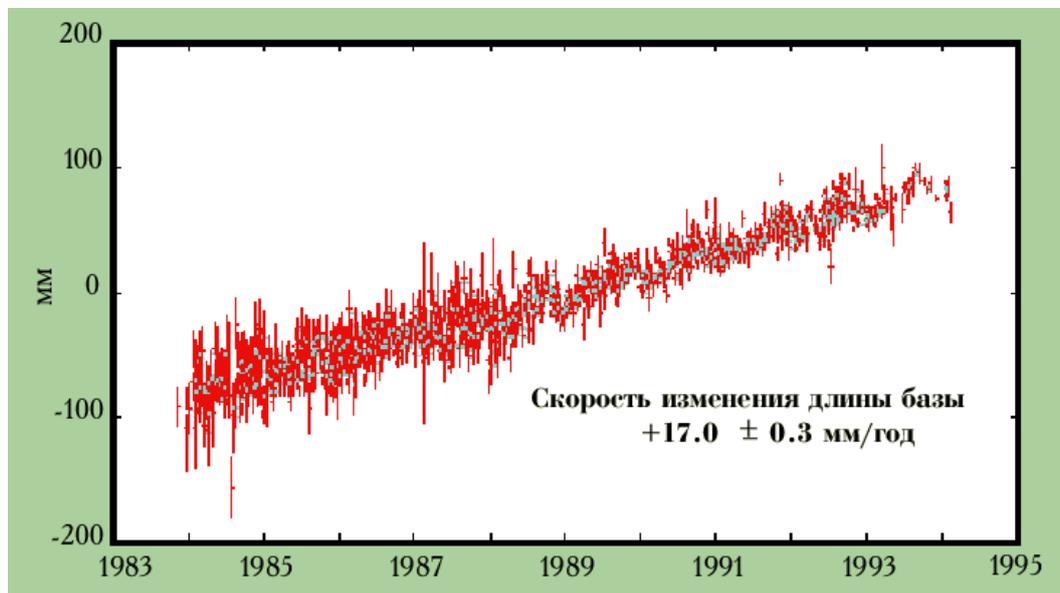


Рисунок 11 – Изменение длины базы (5998 км)  
Ветзель (Германия) - Вестфорд (США)

Так как оси системы координат определяются координатами пунктов, то изменение последних может привести к повороту системы координат. Чтобы этого не было (непредсказуемое вращение системы координат может быть интерпретировано как изменение параметров вращения Земли), на скорости пунктов накладывается дополнительное условие: кора Земли не должна иметь вращения относительно земной системы координат.

Оси выбранной таким образом системы называются осями Тиссерана.

Рассмотрим, почему оси Тиссерана так важны при определении земной системы координат. Если тело не является абсолютно твердым, то движение элемента массы  $dM$  вокруг центра масс разделяется на вращение со скоростью  $\Omega \cdot r$  и остаточную деформацию со скоростью  $v$ . Угловой момент тела, который по определению равен

$$\mathbf{H} = \int_V \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt} dM$$

Используя определение тензора инерции  $\bar{C}$ , имеем

$$\mathbf{H} = \bar{C}\boldsymbol{\Omega} + \mathbf{h}.$$

Таким образом, имеем:

$$\mathbf{H} = \bar{C}(\boldsymbol{\Omega} + \boldsymbol{\omega}),$$

То есть разложение движения тела на вращательное и деформационное движения неоднозначно. Если  $\mathbf{h} = \mathbf{0}$ , то  $\boldsymbol{\omega} = \mathbf{0}$ , т.е. поле скоростей деформации не содержит вращения; измеряемый вектор мгновенной угловой скорости вращения Земли  $\boldsymbol{\Omega}$  в этом случае не содержит добавок из-за деформации коры Земли.

Таким образом, относительный угловой момент, вызываемый деформацией тела, в осях Тиссерана равен нулю.

В разные моменты времени ориентация осей Тиссерана может быть различной, так как поле скоростей деформации меняется. Поэтому при определении системы ITRF обязательно указывается эпоха, к которой относятся координаты и скорости пунктов.

Согласно кинематической модели движения плит NNR-NUVEL-1A, вся поверхность Земли разбита на 16 плит, каждая из которых вращается, но суммарное вращение земной коры равно нулю. Обозначение NNR (no-net-rotation) говорит об отсутствии глобального вращения земной коры.

Темными стрелками на рисунке 12 показаны измеренные с помощью GPS-приемников скорости пунктов, светлыми - скорости, вычисленные по модели движения плит NNR-NUVEL-1A.

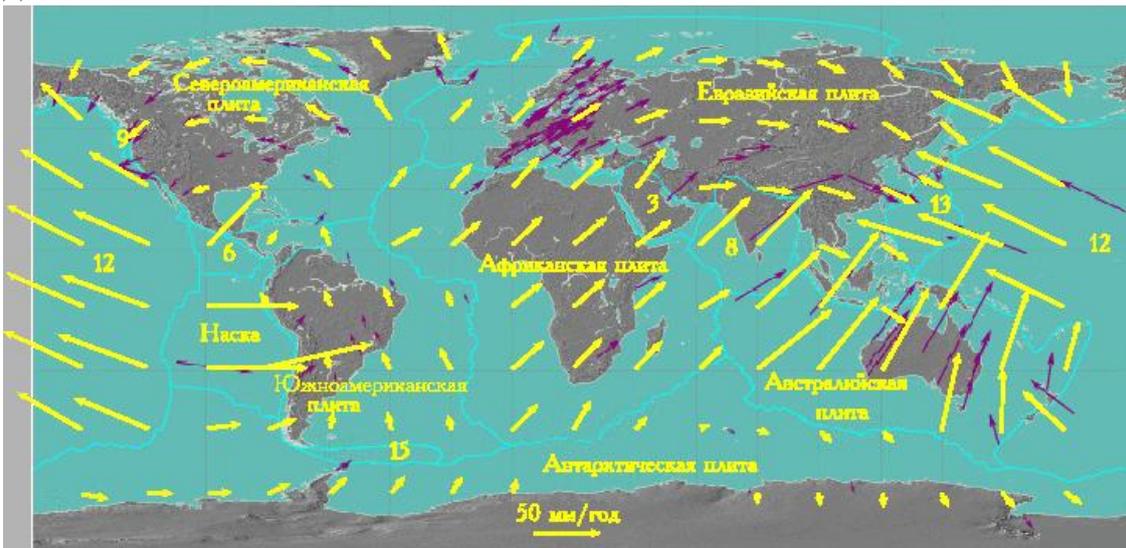


Рисунок 12 – Карта тектонических плит и скоростей пунктов

Из рисунке 12 видна достаточно хорошая модель движения плит и наблюдений, за исключением регионов на границах плит.

## Рекомендуемая литература

1. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1963. – с. 56-64
2. Kovalevsky J., Seidelman P.K. Fundamentals of astrometry. – Cambridge University Press, 2004. – с. 39-40
3. Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2001. – с. 88-92

Контрольные задания для СРМ (темы 12) [17, 18, 27]

1. Рассмотреть параметры Международной земной системы координат.
2. Рассмотреть характеристики осей Тиссерана.
3. Изучить кинематическую модель движения плит.

## Тема 13 Главные оси инерции – 2 часа

План лекции

1. Главные оси инерции
2. Расчетная модель для определения положения главных осей инерции
3. Наибольшее и наименьшее значения центральных моментов инерции

Оси, относительно которых центробежный момент инерции обращается в нуль, называются главными осями инерции. Если начало такой системы помещено в центре тяжести фигуры, то это будут главные центральные оси. Эти оси мы будем обозначать  $y_0$  и  $z_0$ ; для них

$$J_{y_0 z_0} = 0$$

Найдем, под каким углом  $\alpha_0$  наклонены к центральным осям  $y$  и  $z$  (рисунок 13) главные оси.

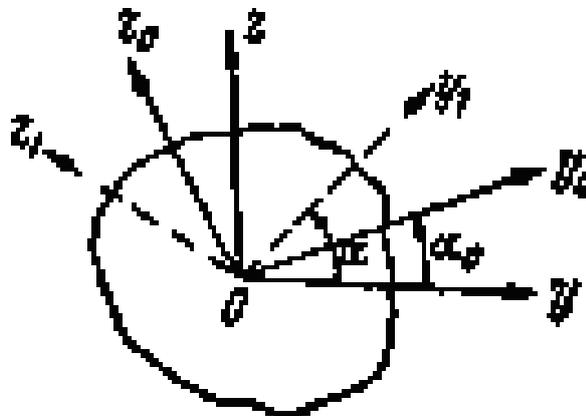


Рисунок 13 – Расчетная модель для определения положения главных осей инерции

В известном выражении для перехода от осей  $yz$  к осям  $y_1z_1$ , для центробежного момента инерции дадим углу  $\alpha$  значение  $\alpha_0$ ; тогда оси  $y_1$  и  $z_1$ , совпадут с главными, и центробежный момент инерции будет равен нулю.

$$\text{при } \alpha = \alpha_0 \quad J'_{yz} = J_{y_0z_0} = 0$$

или

$$J_{y_0z_0} = -\frac{1}{2} \sin 2\alpha_0 (J_x - J_y) + J_{yz} \cos 2\alpha_0 = 0$$

откуда:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{yz}}{J_x - J_y}$$

Этому уравнению удовлетворяют два значения  $2\alpha_0$ , отличающиеся на  $180^\circ$ , или два значения  $\alpha_0$ , отличающиеся на  $90^\circ$ . Таким образом, это уравнение дает нам положение двух осей, составляющих между собой прямой угол. Это и будут главные центральные оси  $y_0$  и  $z_0$ , для которых  $J_{y_0z_0} = 0$ .

Пользуясь этой формулой, можно по известным  $J_y$ ,  $J_x$  и  $J_{yz}$  получить формулы для главных моментов инерции  $J_{y_0}$  и  $J_{z_0}$ . Для этого опять воспользуемся выражениями для осевых моментов инерции общего положения. Они определяют значения  $J_{y_0}$  и  $J_{z_0}$  если вместо  $\alpha$  подставить  $\alpha_0$

$$\left. \begin{aligned} J_{y_0} &= J_y \cos^2 \alpha_0 + J_x \sin^2 \alpha_0 - J_{yz} \sin 2\alpha_0 \\ J_{z_0} &= J_y \sin^2 \alpha_0 + J_x \cos^2 \alpha_0 + J_{yz} \sin 2\alpha_0 \end{aligned} \right\}$$

Полученными соотношениями можно пользоваться при решении задач. Одним из главных моментов инерции является  $J_{\max}$ , другим  $J_{\min}$ .

Формулы можно преобразовать к виду, свободному от значения  $\alpha_0$ . Выражая  $\cos^2 \alpha_0$  и  $\sin^2 \alpha_0$  через  $\cos 2\alpha_0$  и подставляя их значения, получим, делая одновременно замену  $J_{yz}$  из формулы (1):

$$J_{y_0} = \frac{J_y + J_x}{2} + \frac{J_y - J_x}{2} \cos 2\alpha_0 + \frac{J_y - J_x}{2} \frac{\sin^2 2\alpha_0}{\cos 2\alpha_0} = \frac{J_y - J_x}{2} + \frac{J_y - J_x}{2} \cdot \frac{1}{\cos 2\alpha_0}$$

Заменяя здесь из формулы (1) дробь  $\frac{1}{\cos 2\alpha_0}$  на

$$\pm \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 2\alpha_0} = \pm \sqrt{1 + \frac{(2J_{yz})^2}{(J_y - J_x)^2}}$$

получаем

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_y + J_x}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_y - J_x)^2 + 4(J_{yz})^2}$$

К этому же выражению можно прийти, делая подобное же преобразование второй формулы (3).

За основную систему центральных осей, от которых можно переходить к любой другой, можно взять не  $Oy$  и  $Oz$ , а главные оси  $Oy_0$  и  $Oz_0$ ; тогда в формулах не будет фигурировать центробежный момент инерции ( $J_{y_0z_0} = 0$ ). Обозначим угол, составленный осью  $y_1$ , (Рис.2) с главной осью  $Oy_0$ , через  $\beta$ . Для вычисления  $J'_y$ ,  $J'_z$  и  $J'_{yz}$ , переходя от осей  $y_0$  и  $z_0$  нужно в ранее найденных выражениях для  $J'_y$ ,  $J'_z$  и  $J'_{yz}$ , заменить угол  $\alpha$  через  $\beta$ , а  $J_y$ ,  $J_z$  и  $J_{yz}$  – через  $J_{y_0}$ ,  $J_{z_0}$  и  $J_{y_0z_0} = 0$ . В результате получаем:

$$\left. \begin{aligned} J'_y &= J_{y_0} \cos^2 \beta + J_{z_0} \sin^2 \beta, \\ J'_z &= J_{y_0} \sin^2 \beta + J_{z_0} \cos^2 \beta, \\ J'_{yz} &= \frac{J_{y_0} - J_{z_0}}{2} \sin 2\beta \end{aligned} \right\}$$

По своему виду эти формулы совершенно аналогичны формулам для нормальных  $\sigma_\alpha$  и касательных  $\tau_\alpha$  напряжений по двум взаимно-перпендикулярным площадкам в элементе, подвергающемся растяжению в двух направлениях. Укажем лишь формулу, позволяющую из двух значений угла  $\alpha_0$  выделить то, которое соответствует отклонению первой главной оси (дающей  $\max J$ ) от начального положения оси  $y$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{J_{xy}}{J_{\min} - J_y}$$

Теперь можно окончательно формулировать, что надо сделать, чтобы получить возможность простейшим образом вычислять момент инерции фигуры относительно любой оси. Необходимо через центр тяжести фигуры провести оси  $Oy$  и  $Oz$  так, чтобы, разбивая фигуру на простейшие части, мы могли легко вычислить моменты  $J_y$ ,  $J_z$  и  $J_{xy}$  после этого следует найти по формуле величину угла  $\alpha_0$  и вычислить главные центральные моменты инерции  $J_{y_0}$  и  $J_{z_0}$ .

Далее, можно найти момент инерции относительно любой центральной оси  $Oy_1$  (Рис.2), наклоненной к  $Oy_0$  под углом  $\beta$ :

$$J'_y = J_{y_0} \cos^2 \beta + J_{z_0} \sin^2 \beta$$

Зная же центральный момент инерции  $J'_y$ , можно сейчас же найти момент инерции относительно любой параллельной ей оси  $y_2$ , проходящей на расстоянии  $a$  (рис.2) от центра тяжести:

$$J_y'' = J'_y + a^2 F$$

Во многих случаях удается сразу провести главные оси фигуры; если фигура имеет ось симметрии, то это и будет одна из главных осей. В самом деле, при

выводе формулы  $\sigma = \frac{Mz}{J}$  мы уже имели дело с интегралом  $\int yz dF$ , представляющим собой центробежный момент инерции сечения относительно осей  $y$  и  $z$ ; было доказано, что если ось  $Oz$  является осью симметрии, этот интеграл обращается в нуль.

Стало быть, в данном случае оси  $Oy$  и  $Oz$  являются главными центральными осями инерции сечения. Таким образом, ось симметрии — всегда главная центральная ось; вторая главная центральная ось проходит через центр тяжести перпендикулярно к оси симметрии.

Пример. Найти моменты инерции прямоугольника (рисунок 14) относительно осей  $y_1$  и  $z_1$  и центробежный момент его относительно тех же осей.

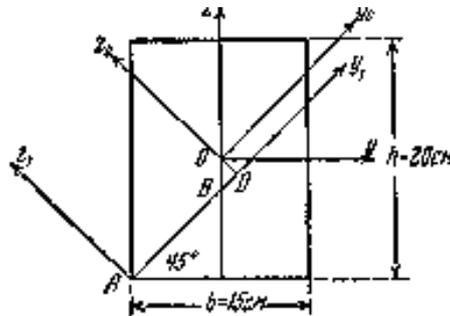


Рисунок 14 – Пример расчета моментов инерции

Центральные оси  $y$  и  $z$  как оси симметрии будут главными осями; моменты инерции сечения относительно этих осей равны:

$$J_y = \frac{20^3 \cdot 15}{12} = 10^4 \text{ см}^4, \quad J_z = \frac{15^3 \cdot 20}{12} = 5625 \text{ см}^4,$$

Центральные моменты относительно повернутых осей  $y_0$  и  $z_0$  равны:

$$J_{y_0} = J_y \cos^2 45^\circ + J_z \sin^2 45^\circ = \frac{1}{2} [10000 + 5625] = 7813 \text{ см}^4 = J_z^0$$

Центробежный момент инерции относительно осей  $y_0$  и  $z_0$  равен:

$$J_{yz}^0 = \frac{J_y - J_z}{2} \sin 90^\circ = \frac{10000 - 5625}{2} = +2188 \text{ см}^4$$

Координаты центра тяжести прямоугольника относительно осей  $y_1$  и  $z_1$  равны:

$$y_1 = AB + BD = 7,5\sqrt{2} + 2,5 \cdot 0,7 = 12,35 \text{ см}$$

$$z_1 = OD = BD = 2,5 \cdot 0,7 = +1,75 \text{ см}$$

Моменты инерции относительно осей  $y_1$  и  $z_1$  равны:

$$J'_y = J_y^0 + Fz_1^2 = 7813 + 300 \cdot 1,75^2 = 8734 \text{ см}^4$$

$$J'_z = J_z^0 + Fy_1^2 = 7813 + 300 \cdot 12,35^2 = 53616 \text{ см}^4$$

Центробежный момент инерции равен:

$$J'_{yz} = J_{yz}^0 + Fy_1z_1 = 2188 + 300 \cdot 1,75 \cdot 12,35 = +8678 \text{ см}^4$$

Как известно, центральные моменты инерции являются наименьшими из всех моментов относительно ряда параллельных осей.

Найдем теперь крайние значения (максимум и минимум) для центральных моментов инерции. Возьмем ось  $Y_1$ , и начнем ее вращать, т. е. менять угол  $\alpha$ ; при этом будет изменяться величина:

$$J'_y = J_y \cos^2 \alpha + J_z \sin^2 \alpha - J_{yz} \sin 2\alpha$$

Наибольшее и наименьшее значения этого момента инерции соответствуют углу  $\alpha_1$ , при котором производная  $\frac{dJ'_y}{d\alpha}$  обращается в нуль. Эта производная равна:

$$\frac{dJ'_y}{d\alpha} = -2J_y \cos \alpha \sin \alpha + 2J_z \sin \alpha \cos \alpha - 2J_{yz} \cos 2\alpha$$

Подставляя в написанное выражение  $\alpha = \alpha_1$  и приравнивая его нулю, получаем:

$$(J_z - J_y) \sin 2\alpha_1 - 2J_{yz} \cos 2\alpha_1 = 0$$

отсюда

$$\operatorname{tg} 2\alpha_1 = \frac{2J_{yz}}{J_z - J_y} = \operatorname{tg} 2\alpha_0$$

Таким образом, осями с наибольшим и наименьшим центральными моментами инерции будут главные центральные оси. Так как при повороте центральных осей сумма соответствующих моментов инерции не меняется, то

$$J'_y + J'_z = J_y + J_z = J_y$$

Когда один из центральных моментов инерции достигает наибольшего значения, другой оказывается минимальным, то есть если

$$J_{y_0} = J_{\max}, \text{ ТО } J_{z_0} = J_{\min}$$

Следовательно, главные центральные оси инерции – это такие взаимно перпендикулярные оси, проходящие через центр тяжести сечения, относительно

которых центробежный момент инерции обращается в нуль, а осевые моменты инерции имеют наибольшее и наименьшее значения.

#### Рекомендуемая литература

1. Бровар В. В., Магницкий В. А., Шимбирев Б. П. Теория фигуры Земли. – М.: Недра, 1961. – с. 80-90
2. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли. – М.: Физматлит, 2002. – с. 111-113
3. Огородова Л.В. Высшая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006. – с. 53-55

#### Контрольные задания для СРМ (темы 13) [1, 2, 33]

1. Изучить главные оси инерции.
2. Изучить расчетную модель определения положения главных осей инерции.
3. Рассмотреть наибольшее и наименьшее значения центральных моментов инерции.

### **Тема 14 Географические оси – 2 часа**

#### План лекции

1. Смещение географических полюсов
2. Движение литосферных плит
3. Прецессия и нутация

В истории Земли изменения положения географических полюсов происходили неоднократно, и с этим явлением, в первую очередь, связывают оледенение обширных областей суши и кардинальные перемены климата всей планеты. Но отголоски в человеческой истории получила только последняя катастрофа, скорее всего связанная со сдвигом полюсов, произошедшая около 12-ти тысяч лет назад. Все мы знаем: мамонты вымерли. Но всё было гораздо серьезнее. Исчезновении сотен видов животных не подлежит сомнению. О Всемирном Потопе и Гибели Атлантиды ведутся дискуссии, но одно несомненно – отголоски величайшей катастрофа на памяти человечества имеют под собой реальную основу. И вызвана, скорее всего, смещением полюсов всего на 2000 км.

Проводящиеся в течение многих десятилетий наблюдения на станциях Международной службы движения полюсов Земли (до 1961 года именовалась Международной службой широты; была создана в 1899 году), а также 20-летние измерения с помощью геодезических спутников указывают, что тело планеты, а

значит, географическая ось Земли, отклоняется от оси ее вращения (неизменной в пространстве, если не учитывать прецессию и нутацию) со скоростью около 10 см/год. Однако оценки истинного смещения в масштабах миллионов лет очень неопределенны. Предполагается, что за эпоху кайнозоя (последние 65 млн. лет) этот дрейф составил около  $10^\circ$ , причем последние 10 млн. лет его скорость достигает  $0.5^\circ$  в 1 млн. лет.

Постоянное смещение географических полюсов раньше объяснялось главным образом таянием ледников: потоки втекают в Мировой океан и тем самым изменяют общее распределение масс в теле Земли, на что она реагирует сменой характера своего вращения. Но это справедливо лишь относительно последних веков и не объясняет процессы, происходившие в предшествующие миллионы лет.

Новое объяснение предложили геофизики Б.Штайнберг (B.Steinberg; Институт метеорологии и геофизики при Франкфуртском университете, Германия) и Р.Дж.О`Коннелл (R.J.O`Connell; Гарвардский университет, Кембридж, штат Массачусетс). Они построили модель геоида (для эпохи кайнозоя) с учетом движений в мантии Земли, соответствующих топографическим аномалиям, а также движений литосферных плит; были вычислены величины адвекции в мантии с ее неоднородностями плотности (то есть горизонтальное перемещение масс, вызывающее изменение их физических свойств).

Можно считать более или менее установленным, что основная причина аномалий в распределении масс Земли, отвечающих за отклонения от идеальной сферы, – это холодные и высокоплотные плиты коры, погружающиеся в пределах глубоководных желобов в земные недра.

В результате удалось создать правдоподобную картину того, как должны были смещаться географические полюса нашей планеты в течение последних 65 млн. лет. Эта картина оказалась весьма сходной с той, которая воссоздается по данным палеомагнетизма на основе реконструкции местоположения плит земной коры относительно неподвижных горячих мантийных струй, поднимающихся к поверхности Земли.

Интересную работу проделал Б.Чао с коллегами (B.Chao; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА США, Гринбелт, штат Мэриленд). В 1996 г. они рассмотрели вопрос о том, как сейсмическая активность в период с 1977 г. могла повлиять на характер вращения Земли.

Подземные толчки смещают большие участки земной коры и лежащей под ней мантии, перераспределяя массу планеты. Такие смещения могут изменять положение географического полюса и его скорость относительно оси вращения Земли, подобно тому как разброс рук танцовщика на льду (или, наоборот, их вытягивание вдоль тела) влияет на его вращение.

Специалисты из группы Чао пришли к выводу, что землетрясения после 1977 года в совокупности привели к перемещению Северного географического полюса в направлении Японии со средней скоростью примерно 6 см в столетие. По их мнению, такая тенденция сохранялась в течение всего нынешнего века.

В 1997 году эту работу продолжила группа Дж.Спада (G.Spada; Болонский университет, Италия). Они сопоставили изменения в наклоне географической оси Земли с магнитудой отмечавшихся в тот же период мощных подземных толчков. Известно, что наиболее сильные землетрясения порождают взаимодействие двух соседних литосферных плит, когда одна из них погружается под другую и "зацепляет" ее. При таких землетрясениях кора и мантия начинают резко колебаться вверх и вниз, вызывая мощные сейсмические волны.

Происходящее в этих условиях перераспределение масс определяется рядом факторов, в частности зависит от того, под каким углом к поверхности погружается плита. Но, по расчетам Спада, наиболее вероятное перераспределение масс таково, что Северный полюс сдвигается по долготе, на которой расположен эпицентр соответствующего толчка. Большинство землетрясений происходит в области "огненного кольца", охватывающего по периметру весь Тихий океан, поэтому Северный полюс и перемещается от Арктики в сторону Японского архипелага.

Зависимость движения полюсов планеты от сейсмической активности напрямую измерить весьма сложно, так как ее маскирует множество иных факторов. Например, тысячелетнее таяние ледников тоже привело к перераспределению масс на планете, что должно было отразиться на характере ее вращения. Накопленное вследствие этого смещение полюсов уже измерено астрометрическими методами (по изменению географической широты обсерваторий, где проводятся точные наблюдения за положением звезд). Сейчас это перемещение происходит, наоборот, в сторону от Японии, и его скорость достигает 10 см/год.

В настоящее время ось вращения Земли отклонена от вертикали на угол  $23^{\circ}27'$  (23 градуса 27 угловых минут). Именно из-за этого происходит смена времён года. С помощью точных измерений обнаружилось, что положение земной оси очень медленно меняется, причем, в двух направлениях, которые назвали прецессией и нутацией.

Прецессия – это медленное передвижение оси вращающегося тела (в данном случае – земного шара) так, что ее концы (у Земли – полюса) медленно поворачиваются по кругу наподобие вращения оси крутящегося волчка, если ее отклонить от вертикали. При этом угол наклона оси от вертикальной линии в любой позиции прецессионного смещения одинаков. Скорость прецессии земной оси очень медленная – на  $1^{\circ}$  за каждые 71,6 года. А полный круг полюса пройдут за 25 776 лет.

Но кроме медленного вращения по конусу, земная ось совершает еще одно движение – нутационное, что означает изменение угла ее наклона к вертикали – от  $22,1^{\circ}$  (минимальный) до  $24,5^{\circ}$  (максимальный). Напомню, сейчас его значение равно  $23^{\circ}27'$  и продолжает увеличиваться.

Итак, в результате прецессии, полный оборот земная ось делает за 25776 лет. Однако в "языческих" религиях на 360 умножалось не на 71,6 (количеством лет,

В случае земной оси, перпендикулярной к плоскости эклиптики, как это свойственно Юпитеру и Венере, на нашей планете не стало бы времен года. Земля была бы всегда в одинаковом положении относительно солнечных лучей, поэтому в каждой точке планеты всегда был бы один и тот же сезон, в зависимости от широты, и день всегда был равен ночи.

Если бы ось Земли расположилась бы в плоскости эклиптики, как это имеет место в случае Урана, то картина была бы удивительной. На полюсах Солнце спирально поднималось бы вверх к самому зениту, а затем таким же образом спускалось к горизонту, чтобы на полгода исчезнуть в небе полушария наблюдателя. Естественно, что когда Солнце поднималось бы к зениту то в приполярных районах должна устанавливаться тропическая жара. В средних широтах с началом весны станут увеличиваться дни; спустя некоторое время там установится непрерывный день, который будет длиться столько суток, сколько градусов содержит удвоенная широта местности. Для широты Петербурга день наступил бы через 30 суток после равноденствия и длился бы 120 суток. С наступлением зимы картина станет обратной. На экваторе день всегда равнялся бы ночи. Любопытно, что на всей планете не было бы точки, где Солнце не побывало бы в течение года в зените.

Ну а если повернуть ось так, чтобы ее наклон составлял  $45^\circ$  к плоскости эклиптики? В этом случае даты равноденствия и солнцестояний оказались бы теми же, но во время летних солнцестояний в каждом полушарии Солнце в зените было бы уже на широте  $45^\circ$  (широта тропиков). Жаркий пояс существенно расширился бы и непосредственно примыкал бы к холодному. На полюсах в летнее время Солнце могло достигать высоты  $45^\circ$  над горизонтом и светило бы более полугода. На широтах Москвы, Харькова весь июнь был бы сплошной день. Зато зимой весь декабрь длилась бы полярная ночь.

#### Рекомендуемая литература

1. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли. – М.: Физматлит, 2002. – стр. 38-49
2. Изотов А. А. Астрономо-геодезические методы изучения геодинимических проблем. – М.: Земля и Вселенная, 1975, № 4. – с. 202-204
3. Склъяров Г. Н. Статья. – США, Nature, №3, 1998. – с. 1-31

#### Контрольные задания для СРМ (темы 14) [2, 20, 32]

1. Изучить параметры, характеризующие смещение географических полюсов.
2. Рассмотреть вопросы, касающиеся движения литосферных плит.
3. Изучить понятия прецессии и нутации.

#### **Тема 15 Проблема высот в геодезии – 2 часа**

##### План лекции

1. Краткие сведения о типах высот, используемых в геодезии
2. Геодезические высоты
3. Системы высот

Высота – одно из самых простых и интуитивных понятий, которые существуют в области геодезии. Однако же, именно в связи с непониманием сути высоты, могут возникнуть проблемы даже у самых опытных инженеров.

В быту привыкли говорить об относительных высотах (отсчитываемых от поверхности Земли, крыши здания и т.д.) и абсолютных высотах (часто подразумевая под ними высоты над уровнем моря). В геодезии все сложнее. Но в любом случае, высота – это расстояние.

В геодезии принято подходить к вопросу высот с физической и геометрической точки зрения. Поэтому выделяют несколько систем высот:

1. Высота в геометрическом понимании:
  - а) геодезическая высота.
2. Высота в физическом понимании (рисунок 15):
  - а) гипсометрическая составляющая высоты:
    - нормальная высота;
    - ортометрическая высота;
    - динамическая высота.
  - б) геоидальная составляющая высоты.

Геодезические высоты (ellipsoidal heights, их иногда называют эллипсоидальными высотами) – расстояние от поверхности эллипсоида до точки. Если геодезическая высота встречается в программе обработки спутниковых наблюдений, это означает, что, вероятнее всего, высота точки определяется расстоянием до поверхности эллипсоида WGS-84. Одна и та же точка будет иметь разные геодезические высоты, если они отсчитываются от разных эллипсоидов. Поскольку геодезическая высота отсчитывается от поверхности эллипсоида, то она является понятием чисто геометрическим, и рассматривается в разрезе геометрического понимания высоты.

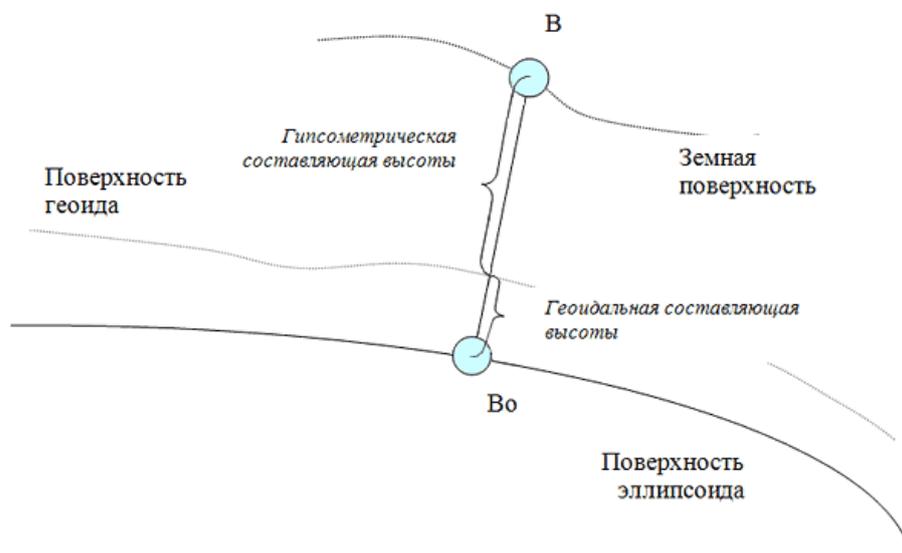


Рис 15 – Геодезическая высота точки В

Самый распространенный, на данный момент, способ определения геодезических высот – это спутниковое позиционирование. До появления этой технологии, все высоты получали путем измерений на поверхности Земли. Полученные таким образом высоты носят название гипсометрических. Для связи гипсометрических и геодезических высот имеется соотношение:

$$H^g = H^{гипс} + \zeta$$

где  $H^g$  – геодезическая высота точки;

$H^{гипс}$  – гипсометрическая высота (высота в физическом понимании);

$\zeta$  – геоидальная составляющая высоты (в некоторых специфических случаях эту величину называют высотой квазигеоида или высотой геоида).

Поскольку геодезическая высота зависит от выбранного эллипсоида и не зависит от физических свойств поля силы тяжести, и гипсометрическая высота зависит от физических свойств поля силы тяжести и не зависит от эллипсоида, то значение геоидальной составляющей высоты будет зависеть как от выбранного эллипсоида, так и от физических свойств поля силы тяжести Земли.

Понятие высоты в физическом ее понимании тесно связано с понятием геопотенциального числа. Геопотенциальным числом для точки В называют разность потенциала силы тяжести в точке В и в точке начала счета высот ( $W_B - W_0$ ). Разность геопотенциальных чисел связана с понятием превышения, и является работой по перемещению единичной массы от точки к точке.

Высоты принято разделять на:

– высоты в геометрическом понимании (геодезические, эллипсоидальные высоты), отсчитываемые от эллипсоида, высота точки будет зависеть от выбранного эллипсоида, геодезические высоты можно вычислить по результатам обработки спутниковых измерений;

– гипсометрические высоты;

– ортометрические высоты используются в некоторых странах, в качестве государственной системы высот; определить ортометрическую высоту можно из нивелирования, в этом случае, среднее интегральное значение  $g$  вычисляется приближенно, исходя из гипотезы о распределении масс в теле Земли; ортометрическую высоту можно также определить по результатам обработки спутниковых измерений, используя модель геоида, заложенную в программу постобработки, однако надо помнить, что глобальные модели геоида позволят пересчитать геодезические высоты в ортометрические со значительной погрешностью (метрового порядка);

– динамические высоты используются в узких специфических работах, связанных с гидротехническими сооружениями; определяются нивелированием;

– нормальные высоты используются в подавляющей части геодезических работ на территории РФ;

– нормальные высоты указаны в каталогах геодезических пунктов и отображены на топографических картах. Могут быть определены из результатов

нивелирования, а также вычислены по геодезическим высотам, если есть информация о разностях ( $H_2 - H_\gamma$ ), то есть высотах квазигеоида.

### Рекомендуемая литература

1. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978. – с. 173-178
2. Огородова Л.В. Высшая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006. – с. 45-50

### Контрольные задания для СРМ (темы 15) [31, 33]

1. Рассмотреть типы высот, используемые в геодезии.
2. Изучить геодезические высоты.
3. Изучить системы высот, применяемых в геодезии.

### 5 Тематический план самостоятельной работы магистранта с преподавателем

Наименование темы СРМП	Цель занятия	Форма проведения занятия	Содержание задания	Рекомендуемая литература
1	2	3	4	5
Задание №1 Предметная, мировоззренческая и методологическая специфика естественных и технических наук	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Поиск дополнительной информации	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №2 Постановка задачи определения фигуры Земли и её гравита-ционнного поля в единой геоцентрической системе координат	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Сравнение различных видов определения параметров фигуры Земли	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №3 Спутнико-вые методы определения фигуры Земли, её гравитационного поля, движения полюсов и неравномерностей суточного вращения	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Задачи 1, 2, 5, 6	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №4 Астрономо-гравиметрические методы	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Рассмотрение составляющих астрономо-гравиметрического метода	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №5 Проблема уточнения системы координат ПЗ-90 и связанных с ней	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Сравнение параметров систем координат ПЗ-90 и WGS-84,	[ 1-8 ], [ 26 ]

фундаментальных постоянных; уточнение параметров связи систем ПЗ-90 и WGS-84			задача 3	
Задание №6 Совершенствование моделей движения искусственных спутников Земли, входящих в спутниковые навигационные системы	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Задачи 4, 7	[ 1-8 ], [ 26 ]

1	2	3	4	5
Задание №7 Геодинамические эффекты	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Углубленное изучение геодинамических эффектов	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №8 Проблемы глобальной тектоники	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Углубленное изучение глобальной тектоники	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №9 Земные приливы	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Свойства земных приливов	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №10 Упругие деформации и числа Лява	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Свойства упругих деформаций	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №11 Выбор референц-систем с учетом геодинамических эффектов	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Виды референц-систем	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №12 Оси Тиссерана	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Характеристика осей Тиссерана	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №13 Главные оси инерции	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Характеристика главных осей инерции	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №14 Географические оси	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Характеристика географических осей	[ 1-8 ], [ 26 ]
Задание №15 Проблема высот в геодезии	Углубление знаний по данной теме	Решение задач	Сравнение видов высот	[ 1-8 ], [ 26 ]

## **6 Материалы для контроля знаний магистрантов в период рубежного контроля и итоговой аттестации**

### **6.1 Вопросы для самоконтроля**

1. Фигура Земли
2. Гравитационное поле Земли
3. Определение фигуры Земли в геоцентрической системе координат
4. Методика выполнения спутниковых измерений (статические, динамические и кинематические; дифференциальный метод)
5. Сутки как период вращения Земли вокруг оси
6. Измерение силы тяжести
7. Гравитационное поле Земли
8. Астрономические методы в геодезии
9. Параметры ПЗ-90 и WGS-84
10. Пересчет из ПЗ-90 в WGS-84
11. Структура спутниковых радионавигационных систем
12. Параметры спутников ГЛОНАСС и GPS
13. Развитие спутниковой навигации
14. Понятие геодинамики
15. Геодинамические эффекты
16. Изменения магнитного поля Земли
17. Концепция Вегенера
18. Международная геодинамическая служба IGS
19. Влияние приливов при определении земной системы координат
20. Разновидности приливов
21. Система координат ITRF2000
22. Волны и числа Лява
23. Референц-эллипсоид
24. Виды референц-систем
25. Оси Тиссерана
26. Главные оси инерции
27. Смещение географических полюсов
28. Движение литосферных плит
29. Прецессия и нутация
30. Типы высот, используемые в геодезии

### **6.3 Экзаменационные билеты (тесты)**

Экзаменационный билет №1

1. Фигура Земли
2. Понятие геодинамики
3. Оси Тиссерана

Экзаменационный билет №2

1. Гравитационное поле Земли
2. Геодинамические эффекты
3. Главные оси инерции

Экзаменационный билет №3

1. Определение фигуры Земли в геоцентрической системе координат
2. Изменения магнитного поля Земли
3. Смещение географических полюсов

Экзаменационный билет №4

1. Методика выполнения спутниковых измерений (статические, динамические и кинематические; дифференциальный метод)
2. Концепция Вегенера
3. Движение литосферных плит

Экзаменационный билет №5

1. Сутки как период вращения Земли вокруг оси
2. Международная геодинамическая служба IGS
3. Прецессия и нутация

Экзаменационный билет №6

1. Измерение силы тяжести
2. Влияние приливов при определении земной системы координат
3. Типы высот, используемые в геодезии

Экзаменационный билет №7

1. Гравитационное поле Земли
2. Разновидности приливов
3. Референц-эллипсоид

Экзаменационный билет №8

1. Система координат ITRF2000
2. Астрономические методы в геодезии
3. Параметры ПЗ-90 и WGS-84

Экзаменационный билет №9

1. Пересчет из ПЗ-90 в WGS-84
2. Виды референц-систем
3. Гравитационное поле Земли

Экзаменационный билет №10

1. Структура спутниковых радионавигационных систем
2. Волны и числа Лява
3. Прецессия и нутация

Экзаменационный билет №11

1. Параметры спутников ГЛОНАСС и GPS
2. Международная геодинимическая служба IGS
3. Оси Тиссерана

Экзаменационный билет №12

1. Развитие спутниковой навигации
2. Фигура Земли
3. Главные оси инерции

Экзаменационный билет №13

1. Влияние приливов при определении земной системы координат
2. Смещение географических полюсов
3. Сутки как период вращения Земли вокруг оси

Экзаменационный билет №14

1. Прецессия и нутация
2. Типы высот, используемые в геодезии
3. Параметры спутников ГЛОНАСС и GPS

Экзаменационный билет №15

1. Система координат ITRF2000
2. Определение фигуры Земли в геоцентрической системе координат
3. Разновидности приливов

Экзаменационный билет №16

1. Оси Тиссерана
2. Пересчет из ПЗ-90 в WGS-84
3. Волны и числа Лява

Экзаменационный билет №17

1. Концепция Вегенера
2. Измерение силы тяжести
3. Структура спутниковых радионавигационных систем

Экзаменационный билет №18

1. Параметры ПЗ-90 и WGS-84
2. Виды референц-систем
3. Смещение географических полюсов

Экзаменационный билет №19

1. Методика выполнения спутниковых измерений (статические, динамические и кинематические; дифференциальный метод)
2. Астрономические методы в геодезии

### 3. Геодинамические эффекты

#### Экзаменационный билет №20

1. Развитие спутниковой навигации
2. Понятие геодинамики
3. Главные оси инерции

#### Экзаменационный билет №21

1. Система координат ITRF2000
2. Астрономические методы в геодезии
3. Гравитационное поле Земли

#### Экзаменационный билет №22

1. Параметры спутников ГЛОНАСС и GPS
2. Смещение географических полюсов
3. Главные оси инерции

#### Экзаменационный билет №23

1. Гравитационное поле Земли
2. Измерение силы тяжести
3. Сутки как период вращения Земли вокруг оси

#### Экзаменационный билет №24

1. Волны и числа Лява
2. Оси Тиссерана
3. Фигура Земли

#### Экзаменационный билет №25

1. Смещение географических полюсов
2. Типы высот, используемые в геодезии
3. Прецессия и нутация

### Тесты

\$\$\$ 1. Он первым предложил вместо геоида для геодезических измерений использовать поверхность квазигеоида:

- A) Красовский;
- B) Молоденский;
- C) Пеллиненн;
- D) Бауэр;
- E) Лежандр.

\$\$\$ 2. Полярное сжатие вычисляют по формуле:

- A)  $\alpha = \frac{a+b}{a}$ ;
- B)  $\alpha = -\frac{a-b}{a}$ ;
- C)  $\alpha = \frac{a-b}{a}$ ;
- D)  $\alpha = \frac{a-b}{b}$ ;
- E)  $\alpha = \frac{a-b}{a+b}$ .

\$\$\$ 3. Первый запуск ИСЗ произошел:

- A) 1961;
- B) 1958;
- C) 1957;
- D) 1949;
- E) 1951.

\$\$\$ 4. Инструмент, используемый для исследования вращения Земли:

- A) телескоп;
- B) динамометр;
- C) радиотелескоп;
- D) сферометр;
- E) гравиметр.

\$\$\$ 5. Единица измерения показателей гравиметра:

- A) Гал;
- B) кГал;
- C) мкГал;
- D) МГал;
- E) мГал.

\$\$\$ 6. Разность высот геоида и референц-эллипсоида называется:

- A) ондуляция;
- B) модуляция;
- C) вибрация;
- D) локация;
- E) аномалия.

\$\$\$ 7. Полярное сжатие ПЗ-90:

- A) 1/298,257839;
- B) 298,257839;
- C) 1/299;
- D) 1/300,001;

Е) 1/298.

\$\$\$ 8. Полярное сжатие WGS-84:

А) 1/299

В) 298,257839;

С) 1/298,25722356;

Д) 1/300,001;

Е) 1/298.

\$\$\$ 9. Период обращения спутника ГЛОНАСС вокруг Земли в среднем равен:

А) 10 часов 15 минут;

В) 9 часов 15 минут;

С) 8 часов 15 минут;

Д) 12 часов 15 минут;

Е) 11 часов 15 минут.

\$\$\$ 10. Космодром, с которого запускают на орбиту спутники ГЛОНАСС:

А) Мыс Канаверел;

В) Байконур;

С) Плесецк;

Д) Сичан;

Е) Хаммагир.

\$\$\$ 11. Космодром, с которого запускают на орбиту спутники GPS:

А) Мыс Канаверел;

В) Байконур;

С) Плесецк;

Д) Сичан;

Е) Хаммагир.

\$\$\$ 12. Он первым использовал термин «геодинамика» в 1859 году:

А) У. Кельвин;

В) Дж. Скиапарелли;

С) Дж. Дарвин;

Д) А. Вегенер;

Е) Ч. Дарвин.

\$\$\$ 13. В начале двадцатых годов XX века он выступил с гипотезой дрейфа континентов Земли:

А) У. Кельвин;

В) Дж. Скиапарелли;

С) Дж. Дарвин;

Д) А. Вегенер;

Е) Ч. Дарвин.

\$\$\$ 14. Источники напряжений в земной коре можно разделить на:

- A) 2 группы;
- B) 4 группы;
- C) 5 группы;
- D) 6 групп;
- E) 3 группы.

\$\$\$ 15. Сокращенное название Международной Службы Глобальных Навигационных Спутниковых Систем:

- A) IGS;
- B) GIS;
- C) SIG;
- D) ISG;
- E) GSI.

\$\$\$ 16. Сокращенное название Международной Службы Вращения Земли и Систем координат:

- A) ISER;
- B) SIER;
- C) IERS;
- D) ISG;
- E) GSI.

\$\$\$ 17. Волны Лява – это:

- A) поверхностные волны, распространяющиеся вдоль плоской границы двух твердых сред, модули упругости и плотности которых не сильно различаются;
- B) незатухающие волны с вертикальной поляризацией, бегущие по границе жидкости и твердого тела;
- C) поверхностные волны с горизонтальной поляризацией, которые могут распространяться на границе твердого полупространства с твердым слоем;
- D) затухающие волны рэлеевского типа на границе твердого тела с жидкостью;
- E) поверхностные волны, распространяющиеся вдоль границы твердого тела с вакуумом или достаточно разреженной газовой средой.

\$\$\$ 18. Для волн Лява характерна:

- A) дисперсия света;
- B) дисперсия сдвига;
- C) дисперсия скорости;
- D) дисперсия частоты;
- E) дисперсия деформации.

\$\$\$ 19. Большая полуось эллипсоида WGS 84 равна:

- A) 6378137,0 м;
- B) 6378142,0 м;
- C) 6378141,0 м;
- D) 6378136,0м;
- E) 6378150,0 м.

\$\$\$ 20. Большая полуось эллипсоида ПЗ 90 равна:

- A) 6378137,0 м;
- B) 6378142,0 м;
- C) 6378141,0 м;
- D) 6378136,0м;
- E) 6378150,0 м.

\$\$\$ 21. Сокращенное название Международная земная система координат:

- A) RITF;
- B) ITRF;
- C) ITFR;
- D) TIRF;
- E) IRF.

\$\$\$ 22. Оси Земли не должны иметь вращения относительно земной системы координат, оси выбранной таким образом системы называются:

- A) осями Лява;
- B) осями Тиссерана;
- C) осями Джоуля;
- D) осями Ленца;
- E) осями Тиссода.

\$\$\$ 23. Оси, относительно которых центробежный момент инерции обращается в нуль, называются:

- A) центральными осями;
- B) фигурными осями;
- C) осями Тиссерана;
- D) осями инерции;
- E) расчетными осями.

\$\$\$ 24. В настоящее время ось вращения Земли отклонена от вертикали на угол:

- A) 23°27';
- B) 24°27';
- C) 25°27';
- D) 26°27';
- E) 27°27'.

\$\$\$ 25. Геодезические высоты – это:

- А) расстояние от поверхности геоида до точки;
- В) расстояние от поверхности квазигеоида до точки;
- С) расстояние от поверхности эллипсоида до центра масс Земли;
- Д) расстояние от поверхности эллипсоида до ортометрического центра;
- Е) расстояние от поверхности эллипсоида до точки.

\$\$\$ 25. Минимальные размеры выработанного пространства, обеспечивающее распространение процесса сдвижения до земной поверхности, обусловлена:

- А) Крепостью пород подработанного массива, глубиной разработки и подработанностью вышележащей толщи;
- В) Вынимаемой мощностью и углом падения пласта;
- С) Крепостью пород подработанного массива, углом падения и глубиной разработки пласта;
- Д) Крепостью пород подработанного массива и углом падения пласта;
- Е) Крепостью пород подработанного массива.

\$\$\$ 26. Укажите особенности распределения сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде при отработке наклонного пласта:

А) Мульда имеет асимметричную форму за счет смещения ее края в сторону падения пласта; точки с максимальными значениями  $i$  и  $\xi$ ,  $\varepsilon$  и  $k$  не совпадают друг с другом; точка со значением  $\xi = 0$  перемещается в сторону восстания пласта;

В) Мульда имеет асимметричную форму за счет смещения ее края в сторону падения пласта; точкам перегиба кривой  $\eta$  соответствуют максимальные значения  $i$  и  $\xi$ , в этих точках  $\varepsilon = 0, k = 0$ ;

С) В полумульде по падению пласта точка с максимальными горизонтальными сдвигениями приближается к точке с максимальным оседанием; в центре мульды  $i = 0, \xi = 0, k = \max, \varepsilon_{\text{сж.}} = 0$ ;

Д) В полумульде по падению пласта точка с максимальными горизонтальными сдвигениями приближается к точке с максимальным оседанием; в центре мульды  $i = \max, \xi = 0, k = \max, \varepsilon_{\text{нв.}} = 0$ ;

Е) Мульда имеет асимметричную форму за счет смещения ее края в сторону падения пласта; точки с максимальными значениями  $i$  и  $\xi$ ,  $\varepsilon$  и  $k$  не совпадают друг с другом; точка со значением  $\xi = \max$  перемещается в сторону восстания пласта.

\$\$\$ 27. Граничными углами называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды:

- А) Горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработки с границами зоны опасных сдвижений на земной поверхности;
- В) Линией пласта и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения земной поверхности;

С) Горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения земной поверхности;

Д) Горизонтальной линией соединяющей границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения земной поверхности;

Е) Линией пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами зоны опасных сдвижений на земной поверхности .

\$\$\$ 28. Укажите размерность деформаций наклонов и относительных горизонтальных деформаций:

А)  $\text{мм/м}^2$  ;

В)  $1 * 10^{-3} \text{ I/м}$  ;

С)  $1 * 10^{-3}$  ;

Д)  $\text{I/м}$  ;

Е)  $\text{мм/м}^3$  .

\$\$\$ 29. Укажите неправильный ответ на вопрос о влиянии на процесс сдвижения земной поверхности тектонических нарушений:

А) Ведут к выполаживанию граничных углов и углов сдвижения и росту величин максимальных сдвижений в мульде;

В) Они часто являются направляющими плоскостями сдвижения пород, что приводит к искажению действительных величин углов сдвижения;

С) Вызывают перераспределение деформаций в мульде и их концентрацию в местах выходов трещин под наносы или на земную поверхность;

Д) Вызывают перераспределение граничных углов и углов сдвижения и росту величин максимальных сдвижений в мульде;

Е) Вызывают перераспределение деформаций, что приводит к искажению действительных величин углов сдвижения .

\$\$\$ 30. Укажите неправильный ответ на вопрос об особенностях процесса сдвижения толщи пород, сложенной крепкими породами:

А) Большая мощность крепких пород толщи способствует зависанию пород и замедлению процесса сдвижения;

В) С увеличением крепости пород толщи граничные углы становятся круче;

С) С увеличением крепости пород возрастает интенсивность процесса сдвижения и увеличивается максимальное оседание в мульде;

Д) Большая мощность крепких пород толщи способствует увеличению крепости пород;

Е) С увеличением крепости пород замедляется процесса сдвижения .

\$\$\$ 31. По степени нарушенности горных пород в подработанной толще выделяются зоны:

А) Пластического течения пород, опорного давления, разгрузки;

В) Обрушений, трещин и прогибов без разрывов;

С) Беспорядочного обрушения, пластического течения пород, прогибов и нормальных сдвижений.

- D) Все правильные ответы;
- E) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 32. Укажите формулу определения максимальной скорости оседания темной поверхности для Карагандинского бассейна:

- A)  $U_0 = 1.2 \frac{m * c * \cos \alpha}{H} (1 + 0.3 \frac{H_1}{H})$ , мм/сут ;
- B)  $U_0 = 1.4 \frac{H}{U}$ , мм/сут ;
- C)  $U_0 = 1.4 \frac{H}{C} (1 + 0.3 \frac{H_1}{H})$ , мм ;
- D)  $U_0 = 1.2 \frac{m * c * \cos \alpha}{H_1} (1 + 0.3 \frac{H_2}{H})$ , мм/сут ;
- E)  $U_0 = 1.2 \frac{H}{C} (1 + 0.3 \frac{H_1}{H})$ , мм .

\$\$\$ 33. Резкому снижению величин сдвижений и деформаций земной поверхности при отработке пластов способствуют:

- A) Частичная закладка из бутовых штреков;
- B) Камерные системы разработки;
- C) Закладка наработанного пространства породой, доставляемой из-за пределов очистной выработки;
- D) Частичная закладка пространства породой;
- E) Закладка наработанного пространства из бутовых штреков.

\$\$\$ 34. Граничные углы используются:

- A) Для определения размеров мульды сдвижения при расчетах ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, а также для оконтуривания на поверхности зоны влияния горных работ;
- B) Для оконтуривания на поверхности зоны опасных сдвижений ;
- C) Для оконтуривания поверхности зоны трещин и провалов;
- D) Для оконтуривания мульды сдвижения;
- E) Для определения деформаций земной поверхности.

\$\$\$ 35. Кривизна земной поверхности в мульде сдвижения определяется выражением:

- A)  $\kappa = \frac{i_2 - i_1}{l_{cp}} = \frac{\Delta i}{l_{cp}} = \frac{\partial i}{\partial x} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$  ;
- B)  $\kappa = \frac{\Delta \eta}{l_{\tilde{n}\delta}} = \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial^2 i}{\partial x^2}$  ;
- C)  $\kappa = \frac{\eta_{AB}}{l_{cp}} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{\partial i}{\partial x}$  ;

$$D) \quad \kappa = \frac{i_1 - i_2}{l_{\bar{n}\delta}} = \frac{\Delta i}{l_{\bar{n}\delta}} = \frac{\partial i}{\partial x} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} ;$$

$$E) \quad \kappa = \frac{\Delta \eta}{l_{\bar{n}\delta}} = \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial i}{\partial x} .$$

\$\$\$ 36. Углом максимального оседания при неполной подработке называется угол со стороны падения пласта, образованный на вертикальном разрезе по главному сечению мульды вкрест простирания пласта:

A) Горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с границей плоского дна мульды;

B) Горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания в мульде;

C) Плоскостью пласта и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания в мульде ;

D) Горизонтальной линией соединяющей границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения земной поверхности;

E) Линией пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами зоны опасных сдвижений на земной поверхности.

\$\$\$ 37. Углы сдвижения в мезозойских отложениях при  $hm > 20$  м для Карагандинского бассейна принимаются равными:

$$A) \quad \delta_m = 65^\circ ;$$

$$B) \quad \delta_m = 70^\circ - 0,6\alpha ;$$

$$C) \quad \delta_m = 70^\circ ;$$

$$D) \quad \delta_m = 65^\circ - 0,6\alpha ;$$

$$E) \quad \delta_m = 0,6\alpha .$$

\$\$\$ 38. Активизация процесса сдвижения горных пород обуславливается:

A) Малым коэффициентом подработанности толщи пород при первичной подработке;

B) Зависанием пород при первичной подработке и его устранением при повторных подработках;

C) Изменением физико-механических свойств толщи пород в результате первичной подработки;

D) Изменением коэффициента подработанности толщи пород при первичной подработке;

E) Нарушением физико-механических свойств толщи пород в результате первичной подработки.

\$\$\$ 39. Угол максимального оседания и углы полных сдвижений связаны функциональной зависимостью:

A) С кратностью подработки;

- В) С вынимаемой мощностью пласта;
- С) С углом падения пласта ;
- Д) С размером мульды;
- Е) С деформаций поверхности.

\$\$\$ 40. Величины деформаций земной поверхности связаны с кратностью подработки:

- А) Прямой зависимостью;
- В) Не связаны;
- С) Обратной зависимостью;
- Д) Прямой и обратной зависимостью;
- Е) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 41. Укажите минимальную скорость оседания земной поверхности в период опасных деформаций при пологом и наклонном залегании пласта:

- А) 30 мм/мес;
- В) 10 мм/сут;
- С) 50 мм/мес;
- Д) 20 мм/сут;
- Е) 40 мм/мес.

\$\$\$ 42. Коэффициенты подработанности используются для расчета:

- А) Величин сдвижений деформаций земной поверхности в мульде сдвижения;
- В) Размеров полумульд;
- С) Угловых параметров процесса сдвижения;
- Д) Улов сдвижения;
- Е) Деформаций при пологом и наклонном залегании пласта.

\$\$\$ 43. Углы сдвижения в каменноугольных породах для Карагандинского бассейна примаются равными:

- А)  $\beta = 60^{\circ} - 0,4 * \alpha$  ,  $\gamma = \delta = 60^{\circ}$  ;
- В)  $\beta = 70^{\circ} - 0,6 * \alpha$  ,  $\gamma = \delta = 70^{\circ}$  ;
- С)  $\beta = 55^{\circ} + 0,5 * \alpha$  ,  $\gamma = \delta = 55^{\circ}$  ;
- Д)  $\beta = 60^{\circ} + 0,5 * \alpha$  ,  $\gamma = \delta = 60^{\circ}$  ;
- Е)  $\beta = 55^{\circ} - 0,5 * \alpha$  ,  $\gamma = \delta = 55^{\circ}$  .

\$\$\$ 44. Границы зоны опасных сдвижений в мульде характеризуются следующей значениями оседания и деформации земной поверхности:

- А)  $\eta = 15\text{мм}$ ,  $i = 2,0 * 10^{-3}$ ,  $\varepsilon_p = 0,5 * 10^{-3}$  ;
- В)  $\eta = 15\text{мм}$ ,  $\varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$ ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-3} \text{ I / м}$  ;
- С)  $i = 4,0 * 10^{-3}$ ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-3} \text{ I / м}$ ,  $\varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$  ;

D)  $i = 4.0 \cdot 10^{-2}$ ,  $\kappa = 0,2 \cdot 10^{-2} I / i$ ,  $\varepsilon_{\delta} = 2,0 \cdot 10^{-2}$ ;

E) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 45. Обводненность горных пород вызывает:

- A) Способствует росту интенсивности процесса сдвижения и увеличению его продолжительности;
- B) Выполаживание углов сдвижения и граничных углов ;
- C) Увеличение вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде;
- D) Способствует росту интенсивности процесса сдвижения и уменьшению его продолжительности ;
- E) Уменьшение вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде.

\$\$\$ 46. Укажите неправильный ответ на вопрос, к чему приводит увеличение скорости подвигания очистной выработки:

- A) К некоторому увеличению углов сдвижения и граничных углов в динамической мульде по направлению движения забоя;
- B) К выполаживанию углов сдвижения уменьшению величин сдвижений и деформаций земной поверхности;
- C) К росту скорости смещения точек подработанной толщи и сокращению продолжительности процесса сдвижения;
- D) К уменьшению углов сдвижения и увеличению величин сдвижений и деформаций земной поверхности;
- E) К сглаживанию углов сдвижения уменьшению величин сдвижений и деформаций поверхности.

\$\$\$ 47. Как влияет на процесс сдвижения горных пород и земной поверхности оставление целиков угля в выработанном пространстве? Укажите неправильный ответ.

- A) Профиль мульды становится неплавным, что ведет к уменьшению величин сдвижений и деформаций земной поверхности ;
- B) Профиль мульды на земной поверхности становится неплавным, над целиками развиваются дополнительные деформации;
- C) Целики угля воспринимают на себя нагрузку сдвигающихся горных пород и препятствуют развитию процесса сдвижения;
- D) Профиль мульды становится плавным, над целиками развиваются дополнительные деформации;
- E) Профиль мульды воспринимают на себя нагрузку сдвигающихся горных пород и препятствуют развитию процесса сдвижения.

\$\$\$ 48. При отработке крутопадающего пласта точка максимального оседания располагается:

- A) Над верхней границей выработки;
- B) Над нижней границей выработки;

- С) Над серединой выработки ;
- Д) Над противоположной границей выработки ;
- Е) Возле борта откоса.

\$\$\$ 49. В гористых районах подработка склонов гор:

- А) Способствует увеличению размеров зон опорного давления ;
- В) Сводит процесс сдвижения к беспорядочному обрушению пород подработанной толщи;
- С) Вызывает развитие оползневых явлений ;
- Д) Происходит процесс сдвижения;
- Е) Способствует уменьшению размеров зон опорного давления .

\$\$\$ 50. Углами разрывов называются углы, образованные:

- А) Плоскостью пласта и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с крайними к границе мульды трещинами на земной поверхности ;
- В) Горизонтальной плоскостью и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с крайними к границе мульды трещинами на земной поверхности ;
- С) Горизонтальной плоскостью и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами зоны опасных сдвижений на земной поверхности;
- Д) Горизонтальной линией соединяющей границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения земной поверхности;
- Е) Линией пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами зоны опасных сдвижений на земной поверхности.

\$\$\$ 51. Для защиты подрабатываемых сооружений от вредного влияния горных разработок применяют:

- А) Рациональное планирование горных работ и конструктивные мероприятия;
- В) Строительные мероприятия и оставление предохранительных целиков;
- С) Горнотехнические и конструктивные (строительные) мероприятия;
- Д) Горнотехнические мероприятия по оставлению целиков.

\$\$\$ 52. Радиус кривизны земной поверхности на каждую дату наблюдений рассчитывается по формуле:

А) 
$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{l_{cp}}{i_n - i_{n-1}} ;$$

В) 
$$R = \frac{\Delta i}{l_{cp}} ;$$

С) 
$$R = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l^2} ;$$

Д) 
$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{l_{\bar{n}\delta}}{i_{n-1} - i_n} ;$$

$$E) R = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l} .$$

\$\$\$ 53. Горизонтальные сдвигения реперов на  $i$ -ю дату наблюдений определяются по формуле:

- A)  $\xi_i = \ddot{A}_i - \ddot{A}_1$  ;
- B)  $\xi_i = l_i - l_1$  ;
- C)  $\xi_i = l_{изм} + \Sigma \Delta$  ;
- D)  $\xi_i = l_1 - l_i$  ;
- E)  $\xi_i = \ddot{A}_1 - \ddot{A}_i$  .

\$\$\$ 54. При построении графиков сдвижений и деформации и земной поверхности знак "минус" приписывают величинам:

- A) Оседания, горизонтальных сдвижений и наклонов , кривизны вогнутости;
- B) Горизонтальных сдвижений и наклонов в сторону падения и в направлении, обратном простиранию пласта, кривизны вогнутости и горизонтальных деформаций сжатия;
- C) Деформаций в центральной части мульды сдвижения;
- D) Горизонтальных сдвижений в центральной части мульды сдвижения;
- E) Деформаций и наклонов в сторону падения и в направлении, обратном простиранию пласта, кривизны вогнутости и горизонтальных деформаций сжатия.

\$\$\$ 55. Комплексный метод изучения процесса сдвижения горных пород и земной поверхности включает:

- A) Моделирование на эквивалентных материалах на с оптически активными материалами, центробежное моделирование ;
- B) Натурные наблюдения, моделирование, шахтные исследования;
- C) Натурные наблюдения, лабораторные и теоретические исследования;
- D) Центробежное моделирование и натурные наблюдения;
- E) Теоретические исследования с оптически активными материалами.

\$\$\$ 56. Проект наблюдательной станции включает в себя следующие материалы:

- A) Описание горно-геологических и горнотехнических условий, методика наблюдений, расчет профильных линий ;
- B) План поверхности, проектное и фактическое положение горных выработок, сооружения и предохранительные целики, расчет профильных линий;
- C) План наблюдательной станции, геологические разрезы по профильным линиям, пояснительная записка;
- D) План горно-геологических и горнотехнических условий;

Е) План наблюдательной станции, проектное и фактическое положение горных выработок.

\$\$\$ 57. Плановая привязка спорных реперов профильных линий осуществляется:

- А) Путем вставок в существующую сеть, прямых и обратных засечек либо прокладкой теодолитных ходов точности не ниже 1:2000 ;
- В) Путем создания геометрических сетей и графическими засечками ;
- С) Нивелированием III-IV классов в прямом и обратном направлениях;
- Д) Путем вставок в существующую сеть, прямых и обратных засечек либо прокладкой теодолитных ходов точности не ниже 1:5000;
- Е) Прокладкой теодолитных ходов точности не ниже 1:2000.

\$\$\$ 58. Скорость оседания репера в промежутке между двумя сериями наблюдения определяется по формуле:

А)  $U_i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l}$  ;

В)  $U_i = \frac{\eta_i}{\Delta t_i}$  ;

С)  $U_i = \frac{z_1 - z_i}{l}$  ;

Д)  $U_i = \frac{z_i - z_1}{l}$  ;

Е)  $U_i = \frac{\eta_i}{\Delta t}$  .

\$\$\$ 59. Для определения граничных точек мульды сдвижения используются следующие значения критических сдвижений и деформаций земной поверхности:

А)  $\eta = 10\text{мм}, i = 4.0 * 10^{-3}, \varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$  ;

В)  $\eta = 15\text{мм}, i = 0.5 * 10^{-2}, \varepsilon_\delta = 0,5 * 10^{-2}$  ;

С)  $\eta = 15\text{мм}, i = 4.0 * 10^{-3}, \kappa = 0,2 * 10^{-3}, \varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$  ;

Д)  $\eta = 15\text{мм}, i = 4.0 * 10^{-2}, \kappa = 0,2 * 10^{-3}, \varepsilon_\delta = 2,0 * 10^{-2}$  ;

Е)  $\eta = 15\text{мм}, i = 0.5 * 10^{-3}, \varepsilon_p = 0,5 * 10^{-3}$  .

\$\$\$ 60. К периоду опасных деформаций земной поверхности при пологом залегании пласта относится промежуток времени, в течение которого скорость оседания реперов:

- А) Не превышала 5 мм/мес;
- В) Составляла не менее 50 мм/мес;
- С) Составляла не менее 30 мм/мес;
- Д) Составляла не менее 40 мм/мес;
- Е) Не превышала 10 мм/мес.

\$\$\$ 61. При построении графиков сдвижений и деформаций земной поверхности знак "плюс" приписывает величинам:

- А) Оседания, горизонтальных и вертикальных деформаций на краевых участках мульды сдвижения;
- В) Оседания, горизонтальных сдвижений в сторону восстания и простиранья пласта, наклонов в полумульдах по падению и по простиранью, кривизны выпуклости и горизонтальных деформаций растяжения;
- С) Оседания, горизонтальных сдвижений в сторону падения и простиранья пласта, наклонов, кривизны выпуклости и горизонтальных деформаций сжатия;
- Д) Оседания, вертикальных деформаций на краевых участках мульды сдвижения;
- Е) Оседания, вертикальных сдвижений в сторону восстания и простиранья пласта, наклонов в полумульдах по падению и по простиранью, кривизны выпуклости и горизонтальных деформаций растяжения.

\$\$\$ 62. Снижение реперов в вертикальной и горизонтальной плоскостях определяются:

- А) Методами геометрического и тригонометрического нивелирования;
- В) Путем линейных замеров от опорных реперов;
- С) С помощью нивелирования и измерения интервалов между реперами;
- Д) С помощью нивелирования III-IV класса;
- Е) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 63. За начало процесса сдвижения земной поверхности принимается дата, оседания репера превышает 50 мм/мес:

- А) После которой скорость оседания репера превышает 50 мм/мес;
- В) На которую оседание репера достигло 15 мм;
- С) После которой скорость оседания репера превышает 5 мм/мес;
- Д) После которой скорость оседания репера превышает 30 мм/мес;
- Е) На которую оседание репера достигло 10 мм.

\$\$\$ 64. Расхождение в длинах одного и того же интервала, измеренных в прямом и обратном направлениях, не должно превышать:

- А)  $\pm 5$  мм;
- В)  $\pm 2$  мм;
- С)  $\pm 3$  мм;
- Д)  $\pm 6$  мм ;
- Е) 1:10000 длины профильной линии.

\$\$\$ 65. Величина наклона интервала на каждую серию наблюдений определяется по формуле:

А) 
$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l} = \frac{\Delta\eta}{l} ;$$

В) 
$$i = \frac{\Delta\eta}{t} ;$$

C)  $i = \frac{z_i - z_1}{l}$  ;

D)  $i = \frac{z_1 - z_i}{l}$  ;

E)  $i = \frac{\eta_{n-1} - \eta_n}{l} = \frac{\Delta\eta}{l}$  .

\$\$\$ 66. Недостатками натуральных инструментальных наблюдений за деформациями земной поверхности являются:

A) Субъективность получаемых данных и невозможность их использования в других горно-геологических условиях;

B) Трудоемкость и необходимость проведения длительных наблюдений, невозможность распространения результатов наблюдений на другие горно-геологические условия;

C) Необходимость проведения длительных наблюдений и недостаточная их точность;

D) Невозможность их использования результатов наблюдений;

E) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 67. Высотная невязка в нивелирных ходах по профильным линиям грунтовых реперов не должна превышать:

A)  $\pm 50\text{мм} \sqrt{L}$  ;

B)  $\pm 15\text{мм} \sqrt{L}$  ;

C)  $\pm 10\text{мм} \sqrt{n}$  ;

D)  $\pm 20\text{мм} \sqrt{n}$  ;

E)  $\pm 10\text{мм} \sqrt{L}$  .

\$\$\$ 68. Относительная горизонтальная деформация интервала на i-ю дату наблюдений определяется по формуле:

A)  $\varepsilon_i = \ddot{A}_i - \ddot{A}_1$  ;

B)  $\varepsilon_i = (D_i - D_1) * l$  ;

C)  $\varepsilon_i = \frac{l_i - l_1}{l_1}$  ;

D)  $\varepsilon_i = \ddot{A}_1 - \ddot{A}_i$  ;

E)  $\varepsilon_i = \frac{l_1 - l_i}{l_1}$  .

\$\$\$ 69. Допустимая высотная невязка в нивелирных ходах по линиям ственных и грунтовых реперов при исследовании взаимосвязи деформаций земной поверхности и подрабатываемых сооружений равна:

A)  $\pm 10\text{мм} \sqrt{n}$  ;

- В)  $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$  ;
- С)  $\pm 15 \text{ мм} \sqrt{L}$  ;
- Д)  $\pm 20 \sqrt{n}$  ;
- Е)  $\pm 20 \sqrt{L}$  .

\$\$\$ 70. Сущность натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности заключается:

- А) В закладке на подрабатываемой территории специальных реперов и определении их положения в пространстве до подработки в процессе подработки и после окончания процесса сдвижения;
- В) В проведении наблюдений за сдвижением толщи горных пород и сравнении фактических данных с расчетными;
- С) В проведении специальных наблюдений в натуральных и лабораторных условиях;
- Д) В проведении специальных реперов и определении их положения в пространстве;
- Е) В проведении наблюдении за подработанной толщей.

\$\$\$ 71. К закладке наблюдательных станции предъявляются следующие основные требования:

- А) Простота сети реперов, надежность и долговечность реперов, заблаговременная закладка станции до начала подработки, расположения опорных реперов вне зоны влияния горных работ;
- В) Дешевизна изготовления реперов, наличия не менее 3-х профильных линий, закладка реперов за 6 мес. до начала подработки;
- С) Простота конструкции и прочная связь реперов с грунтом, закладка станции до начала подработки, неподвижность реперов в течение всего периода подработки;
- Д) Простота сети реперов, наличия не менее 3-х профильных линий;
- Е) Дешевизна изготовления реперов и неподвижность их в течение всего периода подработки.

\$\$\$ 72. От исходных реперов наблюдательных станций производят:

- А) Наблюдения по профильным линиям на каждую дату наблюдений;
- В) Определение положения по высоте опорных реперов профильных линий до начала подработки и контролируется их неподвижность в период подработки;
- С) От исходных реперов производится разбивка профильных;
- Д) От профильных реперов производится разбивка исходных;
- Е) Наблюдение за каждой точкой профильной линии.

\$\$\$ 73. Для определения граничных углов используются графики:

- А) Оседания, наклонов и относительных горизонтальных деформаций растяжения;

- В) Наклонов, кривизны и относительных горизонтальных деформаций;
- С) Оседания, наклонов, кривизны и горизонтальных сдвижений;
- Д) Оседания, кривизны и относительных горизонтальных деформаций;
- Е) Наклонов и относительных горизонтальных деформаций растяжения.

\$\$\$ 74. Для изготовления грунтовых реперов используют:

- А) Металлические трубы и стержни, железобетонные сваи, деревянные столбы;
- В) Трубы, обрезки рельс, кованые гвозди со сферическими шляпками, большие валуны;
- С) Металлические трубы, стержни  $D=16-30$  мм, обрезки рельс, деревянные колья;
- Д) Обрезки рельс, железобетонные сваи, деревянные столбы;
- Е) Большие валуны, металлические трубы и стержни.

\$\$\$ 75. Качественные характеристики эквивалентное материалов модели рассчитываются по формуле:

А) 
$$N_m = \frac{L}{l} * \frac{\gamma_n}{\gamma_m} * N_n ;$$

В) 
$$N_m = \frac{l}{L} * \frac{\gamma_m}{\gamma_n} * N_n ;$$

С) 
$$N_n = \frac{l}{L} * \frac{\gamma_n}{\gamma_m} * N_m ;$$

Д) 
$$N_i = \frac{L}{l} * \frac{\gamma_i}{\gamma_i} * N_i ;$$

Е) 
$$N_i = \frac{l}{L} * \frac{\gamma_i}{\gamma_i} * N_i .$$

\$\$\$ 76. Линия в коренных породах и насосах, ограничивающая рабочую часть профильной линии со стороны падения пласта, проводится под углами:

- А)  $\iota, \beta$  ;
- В)  $\beta - \Delta\beta, \iota$  ;
- С)  $\beta - \Delta\beta, \gamma - \Delta\gamma$  ;
- Д)  $\gamma - \Delta\gamma$  ;
- Е)  $\beta - \Delta\beta$  .

\$\$\$ 77. Долговременные наблюдательные станции закладываются с целью определения:

- А) Основных параметров сдвижения при выемке отдельных пластов на больших глубинах;
- В) Отдельных параметров процесса сдвижения с высокой точностью;

- С) Основных параметров сдвижения при выемке одного или свиты пластов на нескольких горизонтах;
- Д) Отдельных параметров процесса сдвижения с низкой точностью;
- Е) Нет правильного ответа.

\$\$\$ 78. Достоинствами моделирования на эквивалентных материалах является:

- А) Малая трудоемкость работ и возможность варьирования горно-геологическими параметрами;
- В) Возможность достижения полного подобия модели геологического разреза натуре;
- С) Возможность получения количественных характеристик и зависимостей;
- Д) Возможность получения качественных характеристик и зависимостей;
- Е) Возможность производить выемку с одного или свиты пластов.

\$\$\$ 79. Поправка в измеренные длины за температуру определяется по формуле:

- А)  $\Delta l_t = \frac{h^2}{2l} * (t_{\text{эс}} - t_0)$  ;
- В)  $\Delta l_t = \alpha * l_{\text{изм}} * (t_{\text{изм}} - t_0)$  ;
- С)  $\Delta l_t = l' * \cos \delta$  ;
- Д)  $\Delta l_t = \frac{h^2}{2l} * (t_0 - t_{\text{эс}})$  ;
- Е)  $\Delta l_t = \frac{h}{2l} * (t_{\text{эс}} - t_0)$  .

\$\$\$ 80. Наблюдательные станции за сдвижением горных пород и земной поверхности бывают следующих типов:

- А) Поверхностные, глубинные, долговременные и кратковременные;
- В) Постоянные, временные, рядовые и специального назначения;
- С) Долговременные, рядовые, кратковременные и специальные;
- Д) Поверхностные, временные и кратковременные;
- Е) Рядовые, специальные и постоянные.

\$\$\$ 81. Конструкция реперов и способы их закладки должны отвечать следующим условиям:

- А) Удобство наблюдений, простота конструкции, дешевизна изготовления и закладки;
- В) Надежная сохранность на весь срок наблюдений, возможность использования для закладки местных материалов;
- С) Удобство наблюдений, прочная связь реперов с грунтом и неподверженность влиянию сезонного промерзания и оттаивания грунта, надежная сохранность на весь период наблюдений, простота конструкции и дешевизна изготовления;

Д) Простота конструкции, возможность использования для закладки местных материалов;

Е) Удобство наблюдений, простота конструкции, надежная сохранность на весь срок наблюдений.

\$\$\$ 82. Для определения углов сдвижения используются графики

А) Наклонов, кривизны и относительных горизонтальных деформаций растяжения;

В) Оседаний, наклонов, горизонтальных сдвижений и кривизны;

С) Оседаний, наклонов и относительных горизонтальных деформаций;

Д) Наклонов и относительных горизонтальных деформаций;

Е) Горизонтальных сдвижений и кривизны.

\$\$\$ 83. Максимальный интервал во времени между двумя сериями инструментальных наблюдений по профильным линиям не должен превышать:

А)  $T = 1.4 \frac{H}{U}$  ;

В)  $t = \frac{H}{6c}$  ;

С)  $T = \frac{m * c * \cos \alpha}{H} * (1 + \frac{H_1}{H})$  ;

Д)  $T = \frac{\tilde{n} * \delta * \cos \alpha}{H} * (1 + \frac{H_1}{H})$  ;

Е)  $t = \frac{H}{c}$  .

\$\$\$ 84. Для определения граничных точек зоны опасных сдвижений принимаются следующие значения предельно допустимых деформаций земной поверхности:

А)  $i = 4.0 * 10^{-3}$  ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-3} \text{ 1/м}$  ,  $\varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$  ;

В)  $\eta = 15 \text{ мм}$  ,  $i = 0,5 * 10^{-3}$  ,  $\varepsilon_p = 2,0 * 10^{-3}$  ;

С)  $\eta = 10 \text{ мм}$  ,  $i = 2,0 * 10^{-3}$  ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-3} \text{ 1/м}$  ,  $\varepsilon_p = 0,5 * 10^{-3}$  ;

Д)  $\eta = 10 \text{ мм}$  ,  $i = 2,0 * 10^{-2}$  ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-2} \text{ 1/м}$  ,  $\varepsilon_\delta = 0,5 * 10^{-2}$  ;

Е)  $i = 4,0 * 10^{-2}$  ,  $\kappa = 0,2 * 10^{-2} \text{ 1/м}$  ,  $\varepsilon_\delta = 2,0 * 10^{-2}$  .

\$\$\$ 85. Кратковременные наблюдательные станции закладываются с целью:

А) Определения параметров сдвижения при больших скоростях ведения горных работ;

В) Получения отдельных параметров сдвижения при разработке пластов на глубинах до 250 м;

С) Детального изучения вопросов, связанных со сдвижением земной поверхности и защитой подрабатываемых сооружений;

- D) Для полного изучения вопросов связанных с разработкой пластов;  
 E) Определения параметров сдвижения при малых скоростях ведения горных работ.

\$\$\$ 86. Оседание репера на  $i$ -ю серию наблюдений рассчитывается по формуле:

A)  $\eta_i = \frac{z_i - z_1}{2}$ ; B)  $\eta_i = \frac{z_i}{\Delta t_i}$ ; C)  $\eta_i = z_1 - z_i$ ; D)  $\eta_i = \frac{z_1 - z_i}{2}$ ; E)  $\eta_i = \frac{z_1}{\Delta t_i}$ .

\$\$\$ 87. При графическом определении длины профильных линий значения поправок  $\Delta\beta, \Delta\gamma, \Delta\delta$  принимаются равными:

- A)  $\Delta\gamma = \Delta\delta = 20^\circ$ ,  $\Delta\beta = f(\alpha)$ ;  
 B)  $\Delta\gamma = \Delta\delta = 45^\circ$ ,  $\Delta\beta = f(\alpha)$ ;  
 C)  $\Delta\beta = 20^\circ$ ,  $\Delta\gamma = \Delta\delta = f(\alpha)$ ;  
 D)  $\Delta\beta = \Delta\gamma = 45^\circ$ ,  $\Delta\delta = f(\alpha)$ ;  
 E)  $\Delta\beta = \Delta\gamma = 20^\circ$ ,  $\Delta\delta = f(\alpha)$ .

\$\$\$ 88. Поправка и измеренные длины за наклон определяется по формуле:

- A)  $\Delta l_n = l' * \cos \delta$ ;  
 B)  $\Delta l_n = \frac{h^2}{2l} * (t_{uzm} - t_0)$ ;  
 C)  $\Delta l_n = -(\frac{h^2}{2l_{uzm}} + \frac{h^4}{8l^3_{uzm}} + \dots)$ ;  
 D)  $\Delta l_i = -(\frac{h^3}{2l_{\acute{e}ci}} + \frac{h^4}{8l^3_{\acute{e}ci}} + \dots)$ ;  
 E)  $\Delta l_i = \frac{h^3}{2l} * (t_{\acute{e}ci} - t_0)$ .

\$\$\$ 89. Величина наклона земной поверхности в мульде сдвижения определяется выражением:

- A)  $i = \frac{\eta_B - \eta_A}{l_{cp}} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$ ;  
 B)  $i = \frac{\eta_B - \eta_A}{l} = \frac{\partial \eta}{\partial x}$ ;  
 C)  $i = \frac{\eta_B - \eta_A}{\xi_{AB}} = \frac{\partial \eta}{\partial x^2}$ ;  
 D)  $i = \frac{\eta_{\acute{A}} - \eta_{\acute{A}}}{\xi_{\acute{A}\acute{A}}} = \frac{\partial \eta}{\partial x^2}$ ;

$$E) \quad i = \frac{\eta_{\dot{A}} - \eta_{\dot{A}}}{\xi_{\dot{A}\dot{A}}} = \frac{\partial \eta^2}{\partial x^2} .$$

\$\$\$ 90. Подработкой называется:

- A) Производство горных работ под сооружениями и другими объектами;
- B) Явление, вызывающее в сооружениях разрушительные деформации;
- C) Проведение горных выработок, обуславливающее образование в подработанном массиве зон опорного давления;
- D) Проведение горных работ при проведении горных выработок;
- E) Производство горных работ осуществляемое путем образования в подработанном массиве зон опорного давления.

\$\$\$ 91. Возникновение и развитие процесса сдвижения горных пород обусловлено:

- A) Обрушением пород непосредственной кровли пласта после проведения горной выработки;
- B) Обрушением и расслаиванием пород подработанной толщи в результате проведения горной выработки;
- C) Изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород при проведении в нем горной выработки;
- D) Обрушением пород при деформации массива;
- E) Изменением подработано толщи после проведения горной выработки.

\$\$\$92. Как влияет изменение вынимаемой мощности пласта на процесс сдвижения горных пород? Укажите неправильный ответ:

- A) Вынимаемая мощность пласта определяет высоту зон обрушения и трещин;
- B) Увеличение вынимаемой мощности пласта вызывает возрастание площади мульды сдвижения;
- C) Увеличение вынимаемой мощности пласта ведет к росту интенсивности процесса сдвижения;
- D) Увеличение вынимаемой мощности пласта определяет высоту трещин;
- E) Вынимаемая мощность пласта и ведет к росту интенсивности сдвижения.

\$\$\$93. Границы мульды сдвижения и положение ее характерных точек определяются:

А) Углом падения пласта, граничными углами, углами сдвижения и углом максимального оседания;

В) Граничными углами, углами сдвижения, разрывов, полных сдвижений и углом максимального оседания;

С) Вынимаемой мощностью пласта, углом падения пласта, и глубиной разработки;

Д) Глубиной разработки, углами сдвижения и углом падения пласта;

Е) Граничными углами, углами разрывов и глубиной разработки.

\$\$\$ 94. За окончание процесса сдвижения земной поверхности принимается дата, после которой:

А) Скорость оседания не превышает 10 мм/мес;

В) Оседания земной поверхности не превышает 10 мм;

С) В течение 6 мес. оседания не превысят 10% максимальных, но не более 30 мм;

Д) Скорость оседания не превышает 15 мм/мес;

Е) Оседание земной поверхности не превышает 20мм.

\$\$\$ 95. Углом сдвижения пользуются:

А) Для определения размеров мульды сдвижения при расчетах ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности;

В) Для оконтуривания зоны опасных сдвижений и построения предохранительных целиков;

С) Для оконтуривания на земной поверхности зоны влияния подземных горных работ;

Д) Для определения зоны опасных сдвижений;

Е) Для определения влияния на поверхность подземных горных работ.

\$\$\$ 96. Зависимость величины граничного угла по простиранию пласта от крепости пород толщи определяется выражением:

А)  $\delta_o = 50^{\circ} + 2^{\circ} f$  ;

В)  $\delta_o = 55^{\circ} - 2^{\circ} f$  ;

С)  $\delta_o = 70^{\circ} + 2^{\circ} f$  ;

Д)  $\delta_o = 60^{\circ} + 2^{\circ} f$  ;

Е)  $\delta_o = 65^{\circ} + 2^{\circ} f$  .

\$\$\$ 97. Плоским дном мульды называется центральная часть мульды, в которой:

- А) Смещение точек не возрастают с увеличением размеров выработанного пространства;
- В) Смещение точек происходят по нормали к напластованию в течение всего периода подработки;
- С) После окончания процесса сдвижения образуется горизонтальная площадка;
- Д) Смещение точек происходит от напластованию к нормальям в течении подработки;
- Е) После окончания процесса образуется выработанное пространство.

\$\$\$ 98. Под общей продолжительностью процесса сдвижения подразумевается период времени, в течение которого в мульде наблюдаются:

- А) Сдвижения точек земной поверхности;
- В) Сдвижения точек земной поверхности, оказывающих среднее слияние на сохранность сооружений;
- С) Сдвижения точек со скоростью не менее 10 мм/мес;
- Д) Сдвижение точек земной поверхности, оказывающих среднее влияние на сохранность сооружений;
- Е) Сдвижение точек со скоростью не менее 20мм/мес.

\$\$\$ 99. Различают следующие стадии развития процесса сдвижения горных пород:

- А) Начальная, промежуточная и конечная;
- В) Предварительная, начальная и активная;
- С) Естественного напряженного состояния массива, перераспределения горного давления, установившегося давления;
- Д) Начальная, средняя и высшая;
- Е) Предварительная, начальная и конечная.

\$\$\$ 100. За начало процесса сдвижения земной поверхности принимается момент появления в мульде:

- А) Сдвижений точек земной поверхности со скоростью не менее 15 мм/мес;
- В) Оседание точек, равных 15 мм;
- С) Трещин и провалов на земной поверхности;
- Д) Оседание земной поверхности;
- Е) Сдвижение точек и провалов на земной поверхности.

Ответы на тестовые задания:

Номер вопроса	Правильный ответ (a, b, c, d, e)	Номер вопроса	Правильный ответ (a, b, c, d, e)
1	2	1	2
1	A	32	A
2	A	33	A
3	A	34	A
4	A	35	A
5	A	36	A
6	A	37	A
7	A	38	A
8	A	39	A
9	A	40	A
10	A	41	A
11	A	42	A
12	A	43	A
13	A	44	A
14	A	45	A
15	A	46	A
16	A	47	A
17	A	48	A
18	A	49	A
19	A	50	A
20	A	51	A
21	A	52	A
22	A	53	A
23	A	54	A
24	A	55	A
25	A	56	A
26	A	57	A
27	A	58	A
28	A	59	A
29	A	60	A

30	A	61	A
31	A	62	A

1	2	1	2
63	A	83	A
64	A	84	A
65	A	85	A
66	A	86	A
67	A	87	A
68	A	88	A
69	A	89	A
70	A	90	A
71	A	91	A
72	A	92	A
73	A	93	A
74	A	94	A
75	A	95	A
76	A	96	A
77	A	97	A
78	A	98	A
79	A	100	A
80	A		
81	A		
82	A		