



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)

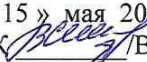
Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «ИГУ»,


А.И. Вокин

2023 г.



Программа кандидатского экзамена по научной специальности
1.16.18 Науки об атмосфере и климате

Согласовано с УМК
географического факультета
протокол № 7 от « 15 » мая 2023 г.
Председатель УМК  /Воложжина С.Ж./

Программа рассмотрена на заседании кафедры
метеорологии и физики околоземного
космического пространства
« 15 » мая 2023 г. Протокол № 6
Зав. кафедрой  /Латышева И.В./

1. Содержание экзамена

Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Разделы для подготовки:

Раздел 1. Общая метеорология

Состав атмосферного воздуха и его изменение с увеличением высоты. Водяной пар, газовые примеси, аэрозоли. Антропогенные изменения локального соотношения газовых и аэрозольных компонент. Уравнение статики. Барометрическая формула и ее применение. Строение атмосферы: основные слои и их особенности. Атмосфера как оптическая мутная среда. Уравнение переноса излучения. Основные законы излучения. Рассеяние и поглощение радиации в атмосфере. Рассеяние по Рэлею и Ми. Солнечная постоянная. Распределение энергии в солнечном спектре. Прямая и рассеянная радиация. Прозрачность атмосферы. Земное излучение и излучение атмосферы. Радиационный баланс земной поверхности. Окно прозрачности 8–12 мкм. Парниковый эффект. Солярийный климат верхней границы атмосферы (ВГА). Планетарное альbedo. Уходящее длинноволновое излучение. Радиационный баланс на ВГА. Тепловой баланс системы Земля - атмосфера. Тепловой баланс земной поверхности. Методы расчета турбулентных потоков явного и скрытого тепла в приземном слое атмосферы. Основы теории подобия Монино-Обухова. Испарение, транспирация, суммарное испарение. Методы измерений и расчетов испарения с естественных поверхностей. Распределение влажности с увеличением высоты в приземном слое и в свободной атмосфере. Суточный и годовой ход влажности воздуха. Конденсация и сублимация водяного пара в атмосфере. Облака, микроструктура и водность. Классификации облаков и туманов. Образование осадков. Географическое распределение. Типы годового хода осадков. Химический состав осадков, диффузия атмосферных примесей в пограничном слое и трансграничный перенос. Кислотные дожди. Искусственное воздействие на облака и осадки. Снежный покров: физические свойства, географическое распределение. Климатическое значение. Барическое поле и ветер. Линии тока и траектории частиц воздуха. Характеристики поля ветра: дивергенция, вихрь, циркуляция скорости. Геострофический ветер. Термический ветер. Воздушные массы: термодинамическая и географическая классификация, трансформация, особенности погоды. Oroграфически и термически возбужденные местные циркуляции: фены, подветренные волны, бризы, вихревые цепочки,

горно-долинные ветры. Аэрозоли. Распределение с увеличением высоты. Озон в тропосфере и стратосфере.

Раздел 2. Динамическая метеорология

Уравнения движения, сохранения массы и притока тепла в локальных декартовых координатах. Критерии подобия. Системы упрощенных уравнений, некоторые виды стационарных течений: геострофический поток, потоки Куэтта и Пуазейля. Уравнения гидротермодинамики в сферических координатах. Уравнения гидротермодинамики в системе координат, связанных с давлением. Уравнения гидротермодинамики в орографических координатах (система координат). Уравнения гидротермодинамики для турбулентной атмосферы. Уравнение переноса атмосферных примесей. Пограничные слои в атмосфере, изменение ветра с увеличением высоты в планетарном пограничном слое. Инерционные волны в баротропной атмосфере (волны Россби). Гравитационно-инерционные волны в геострофическом потоке (волны Пуанкаре и Кельвина). Внутренние гравитационные волны, адаптация полей ветра и давления.

Гидродинамическая неустойчивость зонального потока (баротропный и бароклиный случаи). Уравнение энергии, переходы одних видов энергии в другие. Кинетическая и доступная потенциальная энергия общей циркуляции атмосферы. Цикл Лоренца. Численный анализ синхронных метеорологических полей (методы полиномиальной интерполяции, последовательных коррекций, оптимальной интерполяции). Согласование начальных данных для прогностических моделей, четырехмерное усвоение данных.

Постановка задачи численного прогноза погоды, проблема предсказуемости. Общие сведения о методах численного решения уравнений гидротермодинамики (конечно-разностные, полулагранжевы и спектральные подходы). Общие сведения о параметризации физических процессов в моделях прогноза (подсеточной турбулентности, радиационных потоков, крупномасштабной конденсации, конвекции). Прогностические модели и системы усвоения данных в Гидрометцентре РФ. Методы статистической интерпретации численных прогнозов погоды.

Раздел 3. Синоптическая метеорология

Принципы использования спутниковой информации и радиолокации об облачности для определения характера воздушных масс. Облачность в области фронтов. Пространственная структура фронтальных разделов. Наклон фронтальной поверхности. Вертикальные

движения на фронтах. Принципы анализа положения фронтов у поверхности Земли и на высотах. Использование данных метеорологических спутников для анализа фронтов. Влияние орографии на атмосферные фронты. Высотные фронтальные зоны и струйные течения. Условия погоды. Прогноз перемещения фронта. Фронтотенез и фронтотиз. Фронтотенетические и фронтотитические поля воздушных течений. Внетропические циклоны и антициклоны. Возникновение, эволюция и прогноз перемещения. Атмосферная циркуляция в умеренных широтах: центры действия атмосферы, циклоническая деятельность, струйные течения.. Методология краткосрочного прогноза температуры, осадков, облачности, ветра и опасных погодных явлений. Прогноз синоптического положения. Система сбора и обработки метеорологической информации. Численный анализ метеорологических полей. Технология АРМС (автоматического рабочего места синоптика). Краткие характеристики основных гидродинамических моделей, используемых в ведущих мировых метеорологических центрах. Применение методов математической статистики для составления прогноза метеорологических величин. Методы прогноза погоды на основе статистических методов. Среднесрочные и долгосрочные прогнозы погоды. Естественные синоптические периоды, элементарные синоптические процессы и их связь с высотными деформационными полями. Принципы составления прогнозов на 3-е суток и на естественный синоптический период с использованием карт гидродинамического прогноза барического поля на 1-5 дней и аналогов. Построение адаптивных статистических моделей прогноза. Метод прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха по дням до 7-ми суток. Основные принципы составления прогноза погоды на месяц и на сезон. Статистические методы долгосрочного прогноза погоды.

Раздел 4. Климатология

Климат, как статистический режим. Масштабы климата: макроклимат, мезоклимат (местный климат), микроклимат. Климат приземного слоя воздуха. Климат свободной атмосферы. Климатообразующие факторы. Классификация климатов Алисова, Кеппена, Будыко, Берга. Моделирование климата. Постановка задачи численного моделирования. Иерархия климатических моделей: энергобалансовые модели, модели общей циркуляции атмосферы и океана, модели промежуточной сложности. Внетропические муссоны. Атмосферная циркуляция в тропиках: пассаты, муссоны, внутритропическая зона конвергенции, ЭНИК, тропические циклоны Атмосферные примеси в тропосфере и стратосфере. Изменения климата в современную эпоху: проявления в термическом режиме, режиме увлажнения и поведения оледенения, изменения уровня Мирового океана и др. Методология построения

доказательств антропогенного воздействия на состояние глобального климата. Основы теории колебаний климата в плейстоцене и голоцене. Астрономическая теория климата.

Раздел 5. Агрометеорология

Погода и состояние сельскохозяйственных культур. Климат почвы и его влияние на сельскохозяйственные культуры. Влияние агроклиматических условий на продуктивность сельского хозяйства. Агроклиматическое районирование России. Методы прогноза урожайности основных сельскохозяйственных культур.

2. Перечень вопросов к экзамену

1. Определение давления и температуры из кинетической теории газов. Основное уравнение кинетической теории газов. Уравнение состояния идеального газа.
2. Малые газовые составляющие атмосферы, их роль в фотохимии атмосферы и формировании климата Земли.
3. Силы, действующие в атмосфере. Уравнение гидростатики и его обоснование.
4. Антропогенные и естественные источники и стоки малых газовых составляющих, их временные тренды.
5. Поле давления. Вертикальное распределение давления и плотности атмосферы. Высота однородной атмосферы.
6. Понятие о верхней границе атмосферы по эффекту диссипации газов. Экзосфера. Диссипация газов из атмосферы Земли. Гипотезы о происхождении атмосферы Земли.
7. Модели атмосферы и их назначение. Горизонтальное распределение давления.
8. Понятие циклона и антициклона. Первопричина возникновения барических неоднородностей, образование циркуляционной ячейки.
9. Характеристики поля собственного излучения: восходящее и нисходящее излучение и противоизлучение атмосферы, полный или эффективный поток, эффективная температура излучения. Поглощательная способность излучающей поверхности.
10. Поле температуры. Вертикальное распределение температуры и его объяснение. Суточные, широтные, сезонные и нерегулярные вариации температуры.
11. Солнечное излучение. Солнечная постоянная. Распределение энергии по спектру. Строение солнца (фотосфера, хромосфера, корона) и объяснение особенностей солнечного спектра. Поглощение ультрафиолетового излучения в земной атмосфере.
12. Распределение азота. Распределение кислорода и озона в рамках фотохимической теории и с учетом молекулярной и турбулентной диффузии.

13. Понятие о фотохимическом времени жизни компоненты и времени перемешивания. Озон в атмосфере.
14. Простейшая модель движения атмосферы в циклонах и антициклонах, циклострофический ветер, облачные поля.
15. Геострофический и термический ветер. Зональный поток в атмосфере и струйные течения.
16. Ветер в пограничном слое атмосферы. Распределение ветра с высотой в приземном слое. Суточный ход скорости ветра в пограничном слое атмосферы. Вертикальные токи в пограничном слое атмосферы.
17. Изменение температуры воздуха с высотой. Периодические и непериодические изменения температуры в тропосфере. Инверсии температуры.
18. Уравнение переноса вихря скорости движения. Глобальное распределение скорости ветра в атмосфере. Струйные течения.
19. Образование, развитие и деградация внетропических циклонов. Тропические циклоны, их структура, энергетика, возникновение, перемещение и деградация.
20. Общая циркуляция атмосферы.
21. Явление Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК).
22. Образование и рост зародышевой капли в чистой газообразной фазе. Капли критического размера и вероятность их образования. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Упругость пара над растворами. Ядра конденсации, сублимации и кристаллизации и роль их в образовании жидкой и твердой фаз воды.
23. Уравнение переноса водяного пара в турбулентной атмосфере. Испарение с земной поверхности и с поверхностей больших и малых водоемов.
24. Высотное распределение влажности в приземном слое. Распределение влажности в тропосфере и стратосфере. Сезонный и суточный ход влажности. Испарение. Круговорот воды на Земле.
25. Туманы. Физические условия образования туманов. Классификация туманов. Основные характеристики туманов.
26. Атмосферное электричество. Ионизация атмосферы. Электрическое поле тропосферы. Механизм образования электрических зарядов и условия возникновения молний в грозовых облаках.
27. Электрическое поле верхних слоев атмосферы Земли. Поверхностный заряд Земли. Ионосфера, ее основные характеристики.
28. Атмосферная акустика. Элементы атмосферной акустики. Распространение звука в разреженную атмосферу. Возникновение ударных волн.

29. Энергетика атмосферы. Дальние связи в атмосфере. Крупномасштабная турбулентность. Динамика стратосферы и мезосферы. Взаимодействие стратосферы и тропосферы
30. Физика верхней атмосферы. Общие понятия о физических свойствах воздушной среды и процессах в верхней атмосфере. Вертикальная структура верхней атмосферы.
31. Фотохимия верхней атмосферы. Газовый состав и фотохимия верхней атмосферы.
32. Гидродинамические, физико-статистические и синоптические методы, модели и технологии прогноза состояния атмосферы различной заблаговременности.
33. Взаимодействие между атмосферными процессами в полярных и умеренных широтах и между процессами в умеренных широтах и тропиках и их моделирование.
34. Изменения климата. Климатические проекции.
35. Исследование формирования климатообусловленных угроз и рисков для природных и хозяйственных систем, здоровья населения. Адаптация к изменениям климата.
36. Методы и технологии использования климатической информации для управления безопасностью и обеспечения устойчивого развития экономики и социальной сферы в условиях меняющегося климата.
37. Динамические модели агрометеорологических прогнозов.
38. Определение характеристик газового состава по измерениям теплового излучения атмосферы. Косвенные оптические методы исследования параметров атмосферы по ослаблению солнечного излучения.
39. Определение характеристик атмосферы по отраженному и рассеянному солнечному излучению. Оптические методы изучения подстилающих поверхностей. Оптические методы определения вертикального профиля содержания озона.
40. Радиолокационные и лазерные методы зондирования атмосферы и подстилающей поверхности. Лазерные методы определения температуры, газового состава, характеристик поля ветра, облаков и аэрозолей.

3. Процедура проведения кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен проводится по билетам. В экзаменационный билет включается три основных вопроса и один вопрос по теме диссертационного исследования аспиранта. Для подготовки ответа соискатель ученой степени использует экзаменационные листы, которые сохраняются после приема экзамена в течение года.

На каждого соискателя ученой степени заполняется протокол приема кандидатского экзамена, в который вносятся вопросы билетов и вопросы, заданные соискателю членами комиссии.

Протокол приема кандидатского экзамена подписывается теми членами комиссии, которые присутствовали на экзамене, с указанием их ученой степени, ученого звания, занимаемой должности и специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников. Протоколы заседаний экзаменационных комиссий после утверждения ректором высшего учебного заведения или руководителем научного учреждения, организации хранятся по месту сдачи кандидатского экзамена.

4. Критерии оценки

Уровень знаний соискателя ученой степени по научной специальности 1.6.18 Науки об атмосфере и климате оценивается по следующей шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»

Критерии оценок:

отлично	ставится, если соискатель строит ответ логично в соответствии с планом, обнаруживает глубокое знание теоретических вопросов. Уверенно отвечает на дополнительные вопросы. При ответе грамотно использует научную лексику. Ответ не содержит фактических ошибок и характеризуется полнотой.
хорошо	ставится, если соискатель строит ответ в соответствии с планом, обнаруживает хорошее знание теоретических вопросов. Ответ содержит ряд несущественных неточностей. Наблюдается некоторая неуверенность или неточность при ответе на дополнительные вопросы. Речь грамотная с использованием научной лексики. В ответе имеют место несущественные ошибки, которые аспирант способен исправить самостоятельно, благодаря наводящему вопросу.
удовлетворительно	ставится, если ответ соискателя недостаточно логически выстроен, обнаруживается слабость в развернутом раскрытии теоретических вопросов, хотя основные понятия раскрываются правильно. Наблюдается сильная степень неуверенности при ответе на дополнительные вопросы. Научная лексика используется ограниченно. Не может обосновать закономерности и принципы, объяснить факты; отсутствуют представления о межпредметных связях, но при этом знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой.
неудовлетворительно	ставится, если аспирант не способен раскрыть содержание основных

	понятий и теорий. Проявляет стремление подменить научное обоснование проблемы рассуждением бытового плана. Ответ содержит ряд серьезных неточностей. Преобладает бытовая лексика. На большую часть дополнительных вопросов аспирант затруднится дать ответ или не дает верных ответов.
--	--

5. Рекомендуемая литература и источники

1. Активные воздействия на облака и туманы [Текст] / Под ред. Б.И. Зимина. – М. : Гидрометеиздат. Моск. отд-ние, 1992. – 188 с.
2. Атмосферная оптика, озонметрия и малые газовые компоненты [Текст] / Под ред. Г.П. Гущина, А.М. Броунштейна. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 178 с.
3. Ашабоков Б.А. Численное моделирование градовых облаков [Текст] / Б.А. Ашабоков, Х.Х. Калажоков ; Высокогорн. геофиз. ин-т. - М. : Гидрометеиздат. Моск.отд-ние, 1992. – 134 с
4. Аэрозоль и климат [Текст] / Под ред. К.Я. Кондратьева; Гл. Геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова ; [К.Я. Кондратьев, К.П. Куценогий, Д.А. Гилли и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 540 с.
5. Богаткин О. Авиационные прогнозы погоды [Электронный ресурс] : 2-е изд / О. Богаткин. - Электрон. текстовые дан. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 288 с. – ЭБС "Айбукс". – неогранич. доступ.
6. Васильев А.А. Физическая метеорология [Электронный ресурс] / А. А. Васильев, Ю. П. Переведенцев. - Электрон. текстовые дан. – Казань : КФУ, 2017. – 72 с. - ЭБС "Лань". – Неогранич. доступ.
7. Вопросы атмосферного электричества [Текст] : сб. ст. / Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова, Междувед. геофиз. ком. при Президиуме АН СССР, Секция метеорологии и физики атмосферы, Комис. по атмосфер. электричеству ; В.Д. Степаненко и др. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 185 с.
8. Вопросы долгосрочных прогнозов погоды [Текст] / Под ред. Е.А. Чистяковой, Г.Е. Полоскина. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 136 с.
9. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология [Текст] : учебник для вузов по спец. "Метеорология" / В. И. Воробьев. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
10. Городецкий О.А. Метеорология, методы и технические средства наблюдений [Текст] / О.А. Городецкий, И.И. Гуральник, В.В. Ларин, 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 336 с.
11. Дымников В.П. Модели и методы в проблеме взаимодействия атмосферы и

гидросферы [Электронный ресурс] / В. П. Дымников. - Электрон. текстовые дан. - Москва : ТГУ (Национальный исследовательский Томский государственный университет), 2014. – ЭБС "Лань". – неогранич. доступ.

12. Задде Г. О. Основные этапы численных методов анализа и прогноза погоды [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс / Г. О. Задде, Л. И. ; Томский гос. ун-т, Ин-т дистанц. образования. - Электрон. текстовые дан. – Томск : Изд-во ТГУ, 2008. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

13. Изменение климата и его прогноз [Текст] / Под ред. Б.И. Сазонова. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 116 с.

14. Изменчивость синоптико-циркуляционных процессов в атмосфере [Текст] : [Сб.ст. / Сост. В.Д. Тудрий]. - Казань : Изд-во Казан.ун-та, 1991(1992). – 140 с.

15. Исследования вихревой динамики и энергетики атмосферы и проблема климата [Текст] : (Сб. ст.) / Под ред. Е.Г. Никифорова. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 356 с.

16. Копанев И.Д. Прикладные аспекты использования климатической и гидрологической информации для Сибири и Дальнего Востока [Текст] : науч.-справ. пособие / И. Д. Копанев, Ц. А. Швер ; ред. Е. П. Борисенков; Гл. геофиз. обсерватория им. А. И. Воейкова. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 368 с.

17. Кошелев В.В. Модели средней атмосферы и нижней ионосферы [Текст] : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В. В. Кошелев ; Иркутский гос. ун-т. – Иркутск, 1989. – 330 с.

18. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли [Текст] : учеб. Для вузов по спец. "Метеорология" / Л. Т. Матвеев. – Л. : Гидрометеиздат, 1991.

19. Метеорологические условия над океанами [Текст] : сб. ст. / Акад. наук СССР, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова; Ред. Ю.А. Романов, Ю.А. Шишков. – М. : Наука, 1991. - 140 с.

20. Методы агрометеорологических прогнозов / Под ред. А.И. Страшной. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.

21. Методы активной и пассивной радиолокации в метеорологии [Текст] / Под ред. Г.Г. Щукина и др. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 176 с.

22. Мордвинов В.И. Численные методы анализа и прогноза погоды [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Мордвинов ; Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. - Электрон. текстовые дан. – Иркутск : ИГУ, 2009. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

23. Мордвинов В.И. Теория климата [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Мордвинов. - ЭВК. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.

24. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы [Текст] / И. И. Мохов. – СПб. : Гидрометеиздат, 1993. – 269 с.
25. Музалевская О.В. Антропогенное воздействие на атмосферу [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / О. В. Музалевская ; Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. - Электрон. текстовые дан. – Иркутск : ИГУ, 2010. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
26. Наац В.И. Математические модели и вычислительный эксперимент в проблеме контроля и прогноза экологического состояния атмосферы [Электронный ресурс] : монография / В.И. Наац, И.Э. Наац, Р.А. Рыскаленко, Е.П. Ярцева. - Электрон. текстовые дан. - Ставрополь : СКФУ, 2016. – 376 с. –ЭБС "Лань". – Неогранич. доступ.
27. Тихонова И.О. Экологический мониторинг атмосферы [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в хим. технологии, нефтехимии и биотехнологии" / И.О. Тихонова. - 2-е изд., перераб. и доп. – ЭВК. – М. : Форум : Инфра-М, 2014. – Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". – Неогранич. доступ.
28. Хуторянская Д.Ф. Региональная синоптика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. Ф. Хуторянская ; Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. –Электрон. текстовые дан. - Иркутск: ИГУ, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Разработчик:

Доцент кафедры метеорологии и
физики околоземного космического пространства



Е.А. Кочугова