

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Лекция 1.

Предмет и метод синоптической метеорологии. Всемирная служба погоды (ВСП). Современная организация службы погоды в республике Казахстан. Международное сотрудничество

Цель лекции: получить представление о предмете и методе синоптической метеорологии, также современной структуре и задачах ВСП и о современной организации службы погоды в Казахстане.

План лекции:

1. Предмет и метод синоптической метеорологии.
2. Современная структура ВСП.
3. Структура и задачи Казгидромета.

Синоптическая метеорология изучает закономерности развития крупномасштабных атмосферных процессов с целью прогноза погоды.

Наука о предсказании погоды называется синоптической метеорологией потому, что её методом исследования является обзор процессов, одновременно протекающих на больших географических пространствах.

Руководством при составлении прогнозов служат законы физики атмосферы, поэтому синоптическую метеорологию можно называть наукой о прогнозах погоды.

Основными методами анализа являются анализы значений метеорологических величин, представленных на картах погоды, путём сопоставления характеристик погоды.

Основными принципами синоптического анализа являются:

- 1 - комплексность;
- 2 - трёхмерность;
- 3 - историческая последовательность;
- 4 - правильный учет при анализе влияния на погоду местных условий.

Основная цель ВСП – это обеспечить все государства – члены ВМО – первичной и вторичной метеоинформацией для оперативной и научной работы.

ВСП включает в себя 4 составляющих:

- 1 – глобальную систему наблюдений (ГСН);
- 2 – глобальную систему обработки данных (ГСОД);
- 3 – глобальную сеть телесвязи (ГСТ);
- 4 – программу научных исследований,

необходимых для улучшения прогнозов погоды и изучения возможностей непосредственного воздействия на погоду и климат.

Казгидромет выполняет ведение гидрометеорологического мониторинга в республике.

Организационно Казгидромет состоит из следующих структурных элементов:

- пункты наблюдений: метеорологические станции, гидрологические посты, аэрологические станции, метеорологические и агрометеорологические посты;
- областные центры по гидрометеорологии (ЦГМ);
- гидрометеорологический научно – производственный центр (ГМЦ);
- центр методического обеспечения гидрометеорологической сети (ЦМОС);
- центр сбора и обработки информации (ЦСОИ)
- центр экологического мониторинга окружающей среды (ЦЭМОС);
- информационно – аналитический центр «Республиканский фонд по гидрометеорологии и загрязнению природной среды» (ИАЦ «РФГЗ»).

Каждая структура выполняет свою задачу.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что изучает синоптическая метеорология?
2. Что мы называем погодой?
3. Каков метод исследования синоптической метеорологии?
4. Перечислите основные принципы синоптического анализа.
5. Какова основная задача ВМО?
6. Что представляет собой ВСП?
7. Из скольких станций состоит современная ГСН?
8. Сколько Мировых, Региональных и Национальных Центров включает в себя ГСОД?

9. Что представляет собой ГСТ?

10. Из каких основных структурных элементов состоит Казгидромет?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.

Лекция 2.

Метеорологическая информация, используемая в синоптическом анализе и прогнозе погоды.

Цель лекции: получение представлений о многообразии метеорологической информации, используемой при прогнозе погоды.

Метеорологической информацией называется совокупность сведений о состоянии атмосферы или отдельных метеорологических величин.

Различают первичную метеорологическую информацию, непосредственно получаемую в результате метеорологических наблюдений. Она подлежит обработке, то есть приведению её к виду, удобному для использования в службе погоды. Результаты такой обработки представляют собой вторичную информацию. Это информация о наблюдавшейся погоде в виде различных сводок, синоптических карт, вертикальных разрезов, АД, климатических данных и т. д.

Для потребителей нужна, как правило, вторичная метеорологическая информация, а для прогнозических подразделений основой является первичная метеорологическая информация.

Основные требования к первичной метеорологической информации:

- 1) комплексность, что позволяет исключать грубые ошибки при синоптическом анализе;
- 2) трёхмерность;
- 3) глобальность, это определяется высокой скоростью развития атмосферных процессов и необходимостью учета взаимосвязи между погодообразующими процессами;
- 4) регулярность;
- 5) оперативность;
- 6) синхронность, что облегчает анализ пространственной структуры полей метеовеличин.

Необходимая оперативность достигается при оптимальной системе сбора и распределения метеорологической информации, а синхронность существенно уменьшает время сбора метеорологической информации с пунктов измерений и доведения результатов наблюдений до потребителей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется метеорологической информацией?
2. Определение предмета синоптической метеорологии. Приемы, принципы, достоинства и недостатки синоптического метода.
3. Какие виды метеорологической информации применяются в синоптическом анализе? Охарактеризуйте каждый из них.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.

Лекция 3.

Способы получения и представления метеорологической информации в виде, удобном для синоптического анализа и прогноза. Их краткая характеристика, достоинства и недостатки

Цель лекции: получить представление о способах представления метеорологической информации в виде удобном для синоптического анализа.

В настоящее время можно выделить следующие системы получения метеорологической информации, действующие в международном масштабе:

1. сеть наземных метеорологических и аэрологических станций;
2. сеть судовых наблюдений, якорных и дрейфующих гидрометеорологических станций (буев);
3. сеть метеорологических радиолокационных станций;
4. космическая метеорологическая система;
5. система авиационной разведки погоды.

Наземная сеть синоптических и аэрологических станций (включая судовые и островные) является основной системой получения метеорологической информации, так как она наиболее полная, регулярная и точная.

Ведутся интенсивные работы по созданию автоматических и полуавтоматических станций, что открывает возможности для получения метеорологической информации из труднодоступных районов.

Недостатком наземной сети является недостаточная плотность в некоторых районах земного шара и дискретность наблюдений, особенно при анализе локальных и кратковременных явлений (ливней, грозы, града).

Поля метеорологических величин и явлений могут быть описаны различным образом: словесно, таблично, графически и аналитически.

Более наглядным и удобным для синоптического анализа и прогноза является графическое представление первичной метеорологической информации в виде карт, графиков, диаграмм. Особенно широко распространены в службе погоды синоптические карты (приземные и КБТ), пространственно-временные разрезы, АД.

Для решения расчетных задач, при прогнозировании погоды по гидродинамическим моделям, при разработке статистических прогностических схем наиболее удобным является аналитическое описание полей метеорологических величин, то есть нахождение такой функции пространственных координат и времени, которая бы наиболее точно описывала особенности структуры этого поля, а значит учитывала бы взаимосвязь между значениями метеовеличин в различных точках поля и в различные моменты времени.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите основные источники получения первичной метеоинформации и назовите основные недостатки синоптической информационной сети.
2. Что такое сеть синоптических станций? Какие требования предъявляются к станциям синоптической сети? Сроки наблюдений.
3. Какими способами могут быть описаны поля метеовеличин?
4. Какой способ представления метеорологической информации является самым удобным и наглядным для синоптического анализа и прогноза?
5. Что представляет собой аналитическое описание полей метеовеличин и для решения, каких задач он применяется?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616с.

Лекция 4.

Краткая характеристика основных средств синоптического анализа.

Синоптические признаки карты погоды. Техника составления и оформления анализа приземных карт.

Цель лекции: подробные ознакомления с синоптическими приземными картами погоды и с техникой их оформления.

Под основными средствами синоптического анализа понимают те материалы, которые помогают проанализировать предшествующую погоду и составить прогноз. К ним относятся:

- 1) приземные карты погоды (основные и дополнительные);
- 2) карты барической топографии;
- 3) вспомогательные карты;
- 4) аэрологические диаграммы;
- 5) вертикальные разрезы атмосферы;
- 6) а) снимки облачности или фотомонтажи по данным наблюдений с ИСЗ;
б) карты радиации, температуры подстилающей поверхности и верхней границы облаков;
- 7) карты МРЛ;
- 8) линейки, номограммы, графики.

Карта, которая описывает распределение давления на уровне моря и на которой по определенной схеме (код КН-01) для каждой синоптической станции условными знаками нанесены значения других метеовеличин и атмосферных явлений у поверхности земли в фиксированный момент времени называется приземной картой погоды.

По данным наблюдений за основные сроки строятся карты погоды, охватывающие большую территорию, позволяющую одновременно видеть атмосферные процессы на расстоянии несколько тысяч км. Такие карты служат основой прогнозов погоды на 24-36 часов и называются основными.

Дополнительные карты (по наблюдениям в дополнительные сроки) служат для уточнения развития атмосферных процессов в конкретном районе, применяемые для прогноза на несколько часов вперед и на сутки.

Последовательность операций при обработке приземных карт погоды:

1. проведение изобар, определение положения основных барических объектов;
2. проведение изотензий, выделение областей наибольшего изменения давления;
3. подъем карты – обозначение районов выпадения осадков, станций, где наблюдалось ОЯ;
4. обозначение положения атмосферных фронтов по признакам приземной карты, окончательное их проведение с учетом всего имеющегося синоптического материала;
5. окончательное оформление изобар, подпись изолиний, центров циклонов, антициклонов, очагов падения и роста давления. Оформление зон обложных осадков вдоль фронтов;
6. обозначение траекторий перемещения центров барических образований и изменения их интенсивности.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие основные средства синоптического анализа Вы знаете? Дайте краткую характеристику каждому из них.
2. Как производится анализ приземных карт погоды?
3. Как учитываются данные о направлении и скорости ветра при проведении изобар? В чем заключается барический закон ветра?
4. Почему в горных районах рекомендуется проводить орографические изобары?
5. В чем отличие основных приземных карт от кольцевых карт погоды?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 5.

Карты барической топографии (БТ). Техника их составления. Оформление анализа карт абсолютной топографии (АТ) и карт относительной топографии (ОТ).

Цель лекции: подробные ознакомления с техникой составления и анализа карт барической топографии.

Карты БТ – это синоптические карты, по которым анализируют распределение различных метеовеличин в свободной атмосфере. Для этого введено понятие геопотенциала.

Геопотенциал численно равен работе, которую нужно совершить, чтобы поднять единицу массы против силы тяжести от уровня моря в данную точку. Выражается в геопотенциальных метрах (гп.дам) и обозначается «Н». Карты абсолютной топографии – это карты, на которых нанесена геопотенциальная высота изобарической поверхности над уровнем моря. В синоптической метеорологии широко используются карты относительной топографии, на которых наносится превышение одной изобарической поверхности P_2 над другой P_1 , т.е. толщина слоя, самая распределенная $H_{1000}^{500} = 67,44\bar{T} \lg \frac{1000}{500} \approx 2\bar{T}$.

Таким образом карты АТ служат для характеристики распределения давления в пространстве, а карты ОТ – для характеристики температурного режима в нижней тропосфере.

При анализе карт БТ проводят изогипсы – линии равной геопотенциальной высоты (АТ) или линии равной толщины слоя (ОТ) через 4 гп. дам черным цветом (значения должны быть кратными 4).

На картах AT_{850} проводят изотермы по значениям, кратным 2 красным цветом. На карты $AT_{700}^{(500)}$ и ОТ дополнительно наносят величины изменения за предыдущие 12 или 24 часа. По ним проводят черной штриховой линией, линии равных изменений через 4 дам, называемые изаллогипсами.

Замкнутые очаги оформляют как очаги падения (П) и роста (Р) на картах АТ –700 (500) и потепления (Т) и похолодания (Х) на картах ОТ. На картах АТ₃₀₀ и выше изогипсы проводят через 8 дам.

Кроме того карты 300 гПа поверхности является картами максимального ветра, поэтому на них проводят изотахи через 10 м/сек, начиная с 30 м/сек. Поля сухого и влажного воздуха выделяются на картах АТ₈₅₀ – АТ₅₀₀. Границами влажного воздуха является $D \leq 2^{\circ}C$, а сухого – $D \geq 12^{\circ}C$ на карте АТ₈₅₀, $D \geq 15^{\circ}C$ на карте АТ₇₀₀, $D \geq 22^{\circ}C$ на карте АТ₅₀₀.

В настоящее время карты АТ предвычисляются только с применением численных методов. С высотой точность расчета уменьшается.

Метод основан на адвекции относительного геопотенциала вдоль соответствующего уровня.

В основе расчета будущих значений Н лежит положение о том, что абсолютный геопотенциал любой изобарической поверхности можно выразить через сумму абсолютного геопотенциала поверхности 1000 гПа и относительных геопотенциалов промежуточных слоёв, т.е.

$$H_{850} = H_{1000} + H_{1000}^{850}$$

$$H_{500} = H_{1000} + H_{1000}^{850} + H_{850}^{700} + H_{700}^{500} \text{ и т.д.}$$

Прогнозируемые значения H_{1000} для каждого пункта рассчитываются по формуле: $H_{1000} = h(P_0 - 1000)$, где P_0 - значения давления, взятые с прогностических приземных карт, h - динамическая барическая ступень, равная при температуре

от –15до+15 ⁰ С	h=0,8
ниже-15 ⁰ С	h=0,7
выше+15 ⁰ С	h=0,9

Вопросы для самоконтроля:

1. Что означают изогипсы и как они проводятся на картах абсолютной (АТ) и относительной (ОТ) топографии? Что они характеризуют на этих картах?
2. Что такое геопотенциал? Единицы геопотенциала? Отчего зависит абсолютная высота изобарической поверхности?
3. Что такое относительный геопотенциал? Отчего зависит его величина? Как по значению Н 500/1000 можно узнать среднюю температуру воздуха в нижнем слое тропосферы?
4. Что характеризуют изогипсы на картах АТ и ОТ?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. – А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 6.

Выявление и исправление ошибочных данных на приземных картах погоды и КБТ. Составление и анализ АД и пространственных вертикальных разрезов. Применение их при прогнозе погоды

Цель лекции: ознакомление с различными методами выявления и исправления ошибок на приземных картах и картах барической топографии, а также с принципами составления и анализа аэрологических диаграмм и вертикальных разрезов.

План лекции:

1. Выявление и исправление ошибок на приземных картах и картах барической топографии.
2. Составление и анализ аэрологических диаграмм.
3. Составление вертикальных разрезов.

Основным приёмом выявления ошибок на картах погоды является сопоставление сомнительных данных с аналогичными на соседних станциях или же с данными той же станции на предыдущих картах.

Проверяются давление, барическая тенденция, ветер, температура, точка росы, дальность видимости, облачность, количество осадков.

На картах барической топографии наблюдаются лишь случайные ошибки, связанные с ошибками радиозондирования и вычисления высот изобарических поверхностей.

Встречаются также ошибки кодирования, передачи и наноски данных. Для определения ошибок имеется несколько приёмов.

Аэрологическими диаграммами называются адиабатные диаграммы, специально приспособленные для обработки данных аэрологического зондирования атмосферы и определения условий атмосферной стратификации.

На этих диаграммах нанесены изобары, изотермы, изограммы, сухие адиабаты, влажные адиабаты и некоторые шкалы.

На бланке аэрологической диаграммы по результатам зондирования выполняют различные операции: кривую стратификации, кривую состояния, кривую точек росы – деграммму, отмечают слои положительной и отрицательной энергии неустойчивости и вычисляют ряд характеристик атмосферы.

Пространственным вертикальным разрезом атмосферы называется график, характеризующий свойства атмосферы в плоскости XOZ в определенный момент времени. Направление оси X - ов может быть любым.

Временным разрезом атмосферы называется график, характеризующий свойства атмосферы на различных высотах над одним и тем же пунктом в последовательные моменты времени.

Наиболее часто вертикальные разрезы строят в целях изучения пространственной структуры атмосферных фронтов, циклонов, антициклонов, струйных течений и других структур, метеорологических полей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какими основными приёмами пользуются при выявлении ошибок на картах погоды?
2. Какие обстоятельства следует учитывать при выявлении ошибок?
3. Какие приемы используются при выявлении ошибок на высотных картах?
4. Какие наиболее известные диаграммы вы знаете и какие употребляются наиболее часто?
5. Какие операции проводят на бланках АД?
6. Какой график называется пространственным, и какой - временным вертикальным разрезом?
7. Какие операции выполняют при обработке пространственного вертикального разреза?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 7

Общая характеристика вспомогательных синоптических карт. Их составление и анализ. Применение их при анализе и прогнозе погоды.

Цель лекции: иметь представление о том, какая информация наносится, и как обрабатываются карты экстремальных температур, осадков, снежного покрова, состояния почвы, карты тропопаузы, и особых явлений, карты влажности, вертикальных движений.

План лекции:

1. Составление вспомогательных карт.
2. Обработка вспомогательных карт.
3. Использование вспомогательных карт при прогнозе.

К вспомогательным картам относятся карты экстремальных температур, осадков, снежного покрова, состояние почвы, карты тропопаузы и особых явлений.

На карту экстремальных температур, осадков, снежного покрова, и состояния почвы наносятся максимальная и минимальная температура воздуха и почвы, количества осадков за 12 часов (за день и за ночь), высота снежного покрова (в сантиметрах) и другие характеристики.

На карты тропопаузы элементы наносятся по полной и по сокращённой схеме. Например, по сокращенной схеме на карты тропопаузы наносятся давление, температура, характеристика тропопаузы и максимальный ветер.

На карту экстремальных температур, осадков, снежного покрова, и состояния почвы проводятся изогеты для сумм осадков за сутки. Также проводится граница снежного покрова и заморозков.

На картах тропопаузы проводятся изолинии равных значений давления через 50 гПа до 250 гПа и далее через 25 гПа. На картах влажности - изолинии дефицита точки росы, на картах вертикальных движений – значения индивидуального изменения давления $\varpi = \frac{dP}{dt}$ поднимающейся или опускающейся частицы воздуха за 12 или 24 часа.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие карты являются вспомогательными?
2. Какие сведения содержат карты опасных и стихийных гидрометеорологических явлений?
3. Как обрабатываются карты экстремальных значений температуры, осадков, снежного покрова, состояния почвы?
4. Как обрабатываются карты влажности, вертикальных движений, тропопаузы и максимальных ветров?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 8

Поле атмосферного давления. Дифференциальные характеристики поля Р. Угол наклона изобарической поверхности. Изменение Р во времени (анализ уравнения тенденции)

Цель лекции: изучение характеристик поля атмосферного давления.

Поле атмосферного давления Р является скалярным непрерывным полем. Отсутствие разрывов в поле Р или постепенность его изменения от точки к точке – одно из важнейших свойств атмосферы.

Под барической ступенью понимается высота в метрах, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы Р изменилось на 1гПа.

Изобарическая поверхность – это поверхность равного Р: Р (X, Y, Z)=const.

Изобары – это линии пересечения изобарических поверхностей с поверхностью какого-либо уровня.

Градиент давления $P_n = \frac{\partial P}{\partial n}$ - это есть изменение Р на единицу расстояния по нормали к

изобарической поверхности. За единицу расстояния берут или 100 км или длину одного градуса по меридиану (111 км). Другой важной дифференциальной характеристикой горизонтального распределения Р является его лапласиан. Он вычисляется по формуле:

$$\Delta P = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \text{ или } \Delta H = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}.$$

Каждая составляющая лапласиана даёт представление об изменении густоты изобар (изогипс) в направлении осей координат, то есть характеризует степень циклоничности или антициклоничности барического поля.

Наклон изобарических поверхностей можно определять по величине скорости ветра или по величине горизонтального градиента Р:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\ell}{g} V_g,$$

отсюда следует, что угол наклона изобарических поверхностей (β) прямо пропорционален скорости ветра. $\operatorname{tg} \beta$ измеряется десятичными долями единицы, а сам угол - секундами.

При $\varphi=45^\circ$, $V=10\text{м/сек}$ $\operatorname{tg} \beta=10^{-4}$, $\beta=0^\circ 0' 21''$.

Периодические изменения Р, то есть суточный ход, не превышают нескольких долей гектопаскаля. Непериодические изменения Р связаны в основном с перемещением и эволюцией барических систем и оно намного больше периодических.

$$\frac{\partial P_z}{\partial t} = -g \int_z^\infty \rho \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) dz - g \int_z^\infty \left(U \frac{\partial \rho}{\partial x} + V \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) dz + g \rho_z w_z,$$

это уравнение называется уравнением тенденции. Оно позволяет выявить причины изменения Р на высоте Z:

1. горизонтальная div скорости
2. горизонтальная адвекция плотности
3. изменение веса вышележащего столба воздуха при вертикальных смещениях воздушной массы.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие Вы знаете дифференциальные характеристики поля давления, как они определяются? Объясните их физический смысл.
2. Как можно рассчитать значение градиента давления (геопотенциала)?
3. Как определяется наклон изобарической поверхности к поверхности уровня? Какова связь между углом наклона изобарической поверхности и плотностью изогипс на карте данной поверхности?
4. Назовите основные причины локального изменения атмосферного давления. Какие факторы изменения давления во времени называются динамическими, а какие термическими?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 9.

Формы барического рельефа. Характеристика систем пониженного и повышенного давления. Соотношение сил в циклоне и антициклоне

Цель лекции: изучение форм барического рельефа.

Изобары на приземной карте оформляют области высокого или низкого давления, которые могут быть замкнутыми или незамкнутыми образованиями. Эти области носят название барических систем или форм барического рельефа.

Циклон – это замкнутая область низкого давления с движением воздуха против часовой стрелки. Минимальное давление в центре циклона называется глубиной циклона. Она оценивается на синоптической карте или числом замкнутых изобар или перепадом давления от центра до внешней замкнутой изобары. Градиент давления направлен от периферии к центру циклона. За счет трения у поверхности Земли имеет место сходимости потоков к центру и как следствие конвергенции – упорядоченные восходящие движения.

Линия, соединяющая центры низкого давления на разных высотах, называется пространственной осью циклона. Она наклонена в сторону холодного воздуха.

В циклоне сила барического градиента уравновешивается суммой одинаково направленных сил Кориолиса и центробежной.

Частный циклон – это замкнутая область низкого давления, сформированная в ложбине основного и оформленная одной или двумя замкнутыми изобарами.

Ложбина – вытянутая область низкого давления, оформленная U – образными незамкнутыми изобарами.

Область с примерно параллельными изобарами, образующаяся между двумя областями высокого давления называется перемычкой низкого давления.

Антициклон – замкнутая область высокого давления с движением воздуха по часовой стрелке. Максимальное давление в центре называется мощностью антициклона. Градиент давления направлен от центра к периферии и в том же направлении он возрастает. При наличии трения воздушные массы растекаются от центра антициклона, т.е. имеет место дивергенция потоков. Для центральной части антициклона лапласиан давления отрицательный. Для антициклона характерны нисходящие упорядоченные движения воздуха, которые удаляют воздух от состояния насыщения. Поэтому для центральной части антициклона характерно безоблачное небо. Пространственная ось антициклона наклонена в сторону теплого воздуха.

При отсутствии силы трения сила барического градиента уравновешивается разностью двух сил: $\vec{G} = \vec{A} - \vec{C}$

Частный антициклон – это замкнутая область высокого давления, сформированная в гребне основного и оформленная одной-двумя замкнутыми изобарами.

Барическим гребнем называется вытянутая область повышенного давления с замкнутыми П-образными изобарами.

Область с примерно параллельными изобарами, образующаяся между двумя областями низкого давления, называется перемычкой высокого давления.

Летом над материками часто наблюдается размытое барическое поле – это система весьма разреженных изобар, на фоне которых могут возникать мелкие, обычно неустойчивые циклонические и антициклонические образования.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите какие формы барического рельефа Вы знаете. Дайте схематическое изображение циклона и антициклона в трехмерном измерении.
2. Нарисуйте схему расположения сил, действующих в слое трения и в свободной атмосфере. Тоже в антициклоне.
3. Что такое пространственная ось циклона (антициклона), отчего зависит и как определяется ее наклон?
4. Охарактеризуйте частный циклон и антициклон как формы барического рельефа.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 10.

Приземные деформационные поля. Особенности высотных барических полей. ВДП и их преобразования ВФЗ. ПВФЗ.

Цель лекции: подробное изучение приземных и высотных деформационных полей.

Поле, составленное из двух накрест лежащих циклонов, и двух накрест лежащих антициклонов называется деформационным (ПДП). Точка симметрии деформационных полей называется гиперболической, а барический рельеф вокруг неё – седловиной.

ПДП имеют важное значение в синоптических процессах, т.к. в них происходит образование и размывание фронтов.

Существенным отличием высотного барического поля является то, что форма его в сильной степени зависит от термического поля нижележащего слоя.

Изогипсы на карте АТ имеют более простые очертания, чем изобары на приземных картах.

Географическое положение центров циклонов и антициклонов на приземных и высоких картах обычно не совпадают.

На движение воздуха в высоких барических системах не влияет трение.

Густота изогипс на картах АТ с высотой возрастает.

Структура ВДП в отличие от наземных существенно обусловлена распределением температуры.

Обычно ВДП бывают асимметричными, т.е. образованными антициклонами и ложбинами или циклонами и гребнями.

Изменение формы и положения ВДП называется их преобразованием. Преобразование ВДП есть форма, в которой осуществляется общециркуляционный обмен воздушных масс между тропиками и Арктикой. Погосян и Таборовский ввели следующие понятия:

- 1) широтное и меридиональное циклоническое преобразование;
- 2) широтное и меридиональное антициклоническое преобразование.

В соседних деформационных полях происходят преобразования разных знаков.

ВФЗ - это зона сильно сгущенных изогипс на картах АТ, являющейся переходной между холодным высоким циклоном и высоким теплым антициклоном.

Та часть ВФЗ, где вдоль потока наблюдается сходимостъ изогипс называется входом, а где наблюдается расходимостъ изогипс и линий тока – дельтой ВФЗ. Основной характеристикой ВФЗ является её интенсивность (I), которая определяется её температурным контрастом. Считается, что ВФЗ, где $I \geq 16$ гп. дам/1000км ($8^0/1000$ км) динамически значимая, т.е. под ней могут возникать и развиваться новые барические образования и АФ. Фронтальная зона, охватывающая практически всё полушарие, называется планетарной ВФЗ (ПВФЗ).

Возникновение ПВФЗ связано с наличием в северном полушарии 3-х отличных по своему радиационному балансу широтных зон, в пределах которых формируются воздушные массы основных географических типов. Иногда ПВФЗ испытывает значительную деформацию, в результате которой появляются волны с большой амплитудой. В этих случаях высотная циркуляция характеризуется наличием хорошо выраженных ложбин и гребней, что связано с циклонами и антициклонами.

В зависимости от расположения ложбин и гребней существует классификация циркуляций. Смена форм циркуляции приводит к изменению характеристики процессов тропосферы и погоды у земли и на высотах.

Вопросы для самоконтроля:

1. Нарисуйте схему изобар и поля ветра в приземном деформационном поле. Обозначьте оси, заштрихуйте на схеме седловину и охарактеризуйте ее.
2. Как образуется ВФЗ? Назовите основные характеристики ВФЗ и ее параметры.
3. Как возникают планетарные ВФЗ? Какие ПВФЗ Вы знаете?
4. Что такое высотное деформационное поле? Изобразите симметричное и асимметричное ВДП. Какие преобразования ВДП вы знаете?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 11.

Особенности анализа поля ветра и его характеристики. Географическая и градиентная модели связи полей давления и ветра. Связь геострофического ветра с действительным.

Цель лекции: изучение и анализ поля ветра, в том числе и геострофического.

Поле ветра – векторное поле и характеризуется в каждой точке направлением, скоростью и порывистостью. Важными характеристиками поля ветра являются вертикальные градиенты модуля и вектора скорости, линии тока.

Так называется линия, в каждой точке которой вектор скорости ветра направлен по касательной к ней.

Траектория движения воздушных частиц – линия, соединяющая её последовательные положения за некоторый интервал времени, их строят при разработке краткосрочных прогнозов погоды, при разборе неудачных прогнозов, при проведении научных исследований.

При описании воздушных течений и их связей с полем давления применяется понятие вергенции.

Дивергенция вектора скорости $div \vec{V}$ – это скалярная величина, связанная со скоростью следующим соотношением:

$$div \vec{V} = \nabla \vec{V} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z},$$

Для горизонтального движения уравнение приобретает вид:

$$div \vec{V} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}.$$

Другой широко распространённой характеристикой поля ветра является вихрь скорости, каждая составляющая которого описывает тенденцию вращательного движения воздуха вокруг осей x , y , z . При изучении синоптических процессов ограничиваются анализом вертикальной составляющей вихря скорости Ω_z :

$$\Omega_z = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y}.$$

Согласование полей давления и ветра производят с помощью моделей связи этих полей.

Наибольшее распространение нашла геострофическая модель связи этих 2-х полей. Возникающее в этом случае установившееся горизонтальное прямолинейное движение воздуха при отсутствии сил трения называется геострофическим ветром. По приземным картам скорость геострофического ветра рассчитываются по формуле:

$$V_g = \frac{1}{l\rho} \frac{\partial P}{\partial n}; \quad U_g = -\frac{1}{l\rho} \frac{\partial P}{\partial y}; \quad g_g = \frac{1}{l\rho} \frac{\partial P}{\partial x}.$$

Геострофический ветер направлен вдоль изобар (изогипс) так, что низкое давление остаётся слева. Это правило носит название барического закона ветра.

В некоторых случаях оказывается полезным производить расчеты скорости ветра с учетом кривизны изобар (изогипс), в этом случае используется градиентная модель связи поля P и ветра.

На воздушную частицу, которая движется с постоянной скоростью без трения по криволинейной траектории, совпадающей с изогипсой, кроме силы барического градиента и силы Кориолиса действует центробежная сила. Такое установившееся горизонтальное движение при отсутствии трения называется градиентным ветром. Действительный ветер отличается от геострофического и градиентного, особенно в пограничном слое, где решающую роль играет турбулентное трение. Скорость действия ветра может быть рассчитана по формуле $V = kV_g$, где k – весовой коэффициент, для суши приблизительно равен 0,55; для моря – 0,70.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое градиентный ветер? Когда применяется градиентная модель связи полей давления и ветра?
2. В чем заключается геострофическая модель связи полей давления и ветра? Как определяется геострофический ветер? В каких случаях возможны значительные отклонения геострофического ветра от направления изогипс?
3. В чем отличие линии тока траектории частицы? В каких случаях траектория частицы является линией тока?
4. Что такое дивергенция вектора ветра? Нарисуйте схемы в случае положительной и отрицательной дивергенции.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 12.

Термические системы. Связь поля температуры с полями других метеорологических величин. Изменение температуры воздуха во времени у поверхности Земли и в свободной атмосфере. Факторы локального изменения температуры воздуха.

Цель лекции: изучение характеристик поля температуры у поверхности Земли и в свободной атмосфере.

Поле температуры описывается с помощью изотерм, а её изменение со временем – с помощью изаллотерм – линий равного изменения температуры.

Важной характеристикой является вертикальный градиент температуры. Основными крупномасштабными особенностями поля температуры являются очаги тепла и холода, гребни тепла и ложбины холода, а также фронтальные зоны – переходные зоны между теплым и холодным воздухом, для которого характерны повышенные значения горизонтальных градиентов температуры.

Распределение температуры тесно связано с распределением давления, ветра и вертикальных движений.

Широко используется модель связи полей геопотенциала двух изобарических поверхностей и средней температуры слоя, заключенного между ними

$$V_T = V_2 - V_1 \text{ или } V_T = \frac{9.8}{\ell} \frac{\partial H_{p_1}^{p_2}}{\partial n},$$

где n – нормаль к изогипсе ОТ.

Термический ветер – это приращение вектора геострофического ветра при переходе с нижнего уровня H_{p_1} на верхний H_{p_2} .

Модель связи между полями температуры и давления (геопотенциала) имеет вид:

$$H_{p_1}^{p_2} = H_{p_2} - H_{p_1} = 6,74 \ell g \frac{P_1}{P_2} T_m$$

На приземной карте погоды в условиях неоднородной подстилающей поверхности или при неравномерном распределении облачности температуры в соседних пунктах могут резко отличаться, хотя и находятся в одной воздушной массе. В свободной атмосфере поле температуры

более сглаженное, чем у земной поверхности. На картах АТ температура хорошо характеризует свойства воздушной массы. Локальные изменения температуры воздуха с течением времени можно оценить с помощью формулы

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \omega(\gamma - \gamma_a) + \frac{\gamma_a}{\rho g} \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y}\right) + \frac{\varepsilon}{C_p}.$$

Анализ формулы показывает, что изменение температуры в любом пункте зависит от:

- 1) адвекции $-\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right)$;
- 2) вертикальных движений $-\omega(\gamma_a - \gamma)$;
- 3) изменения давления $\frac{\gamma_a}{\rho g} \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y}\right)$;
- 4) притока тепла $\frac{\varepsilon}{C_p}$.

Изменение при геострофической адвекции выражается формулой

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_g = -\frac{1}{\ell} T_v H_n \sin \varepsilon,$$

то есть зависит от величин градиентов температуры, абсолютного геопотенциала и от угла между ними.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите факторы локальных изменений температуры воздуха у земли и на высотах. Каков вклад каждого из них в изменение температуры?
2. Как рассчитывается геострофическая и агеострофическая адвекция температуры воздуха за 12 часов, за 24 часа?
3. Как строится траектория частицы воздуха на 24 часа назад по потоку, на 12 часов назад по потоку?
4. Как можно определить характер и величину адвекции температуры воздуха по высотному термобарическому полю?
5. Как изменяется температура воздуха на заданном уровне за счет вертикальных движений воздуха при различной стратификации атмосферы?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967.–551 с.

Лекция 13.

Характеристики влажности, используемые в синоптическом анализе.

Факторы локального изменения влажности во времени.

Классификация осадков. Поля ливневых, обложных и морозящих осадков.

Цель лекции: изучение характеристик поля влажности и осадков. Поле влажности может быть проанализировано на приземных синоптических картах по данным точки росы (T_d), а на высотных - по данным дефицита точки росы (D). Переход к другим характеристикам влажности водяного пара, из которых наиболее употребительными являются массовая доля (удельная влажность) и относительная влажность, легко осуществляется с помощью АД.

Для изучения и практического определения изменений влажности воздуха в атмосфере основным является уравнение переноса влаги. С учетом главных факторов, для точки росы ненасыщенного водяным паром воздуха уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial T_d}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T_d}{\partial x} + v \frac{\partial T_d}{\partial y}\right) + (\gamma_{a_{T_d}} - \gamma_{T_d}) + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial T_d}{\partial z},$$

где, k – коэффициент турбулентности.

Локальные изменения влажности в ненасыщенном воздухе в приземном слое атмосферы происходят в основном в результате горизонтального переноса водяного пара и турбулентного влагообмена с подстилающей поверхностью. Турбулентный влагообмен обуславливает суточный ход приземной влажности воздуха. Он же играет основную роль в трансформационном изменении влажности воздуха.

По фазовому состоянию осадки могут быть жидкими (дождь, морось), твердыми (снег, крупа, град) и смешанными (снег с дождем, дождь с градом). Кроме того, интенсивность осадков определяется качественно. Визуально их делят на слабые, умеренные и сильные.

По морфологической классификации выделяют следующие виды осадков: морось, дождь, снег, мокрый снег, крупа, град.

Генетическая классификация основывается на том, что характер осадков (интенсивность, вид осадков, размер зон), определяется классом преобладающих вертикальных движений, обуславливающих образование осадков, а следовательно, преобладающими формами облаков, из которых они выпадают. На этом основании выделяют следующие виды осадков: обложные, ливневые и морозящие.

Синоптическая классификация делит осадки на внутримассовые и фронтальные.

В каждой точке пространства поле осадков характеризуется суммой за фиксируемый интервал времени. В зависимости от длительности этого времени интервала выделяют следующие типы полей осадков: сформировавшиеся, короткопериодные, накопленные и срочных наблюдений.

Вопросы для самоконтроля:

1. Каковы основные факторы локальных изменений влажности воздуха у земли?
2. Какой фактор играет основную роль в трансформационном изменении влажности и обуславливает суточный ход влажности?
3. Какие классификации осадков вы знаете?
4. Какие типы полей осадков выделяют в зависимости от длительности временного интервала?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 14.

Виды вертикальных движений воздуха их пространственно – временной масштабный и связь с погодными условиями. Расчёт упорядоченных вертикальных движений. Качественная оценка знака и интенсивности упорядоченных вертикальных движений воздуха по структуре барического поля

Цель лекции: изучение, анализ и расчет некоторых характеристик поля вертикальных движений.

Вертикальные движения представляют интерес и как сами по себе, и потому, что они формируют суточный ход метеовеличин, передают энергию с одних уровней на другие и является главным фактором в формировании облачности, осадков, таких метеоявлений как грозы и град.

В зависимости от причин, вызывающих вертикальные движения воздуха, различают:

1. упорядоченные
2. конвективные
3. турбулентные (неупорядоченные)
4. орографические
5. вертикальные токи при волновых движениях различного происхождения.

Упорядоченные движения выше слоя трения являются следствием не стационарности горизонтальных движений, в пограничном слое – силы трения. Вызывают существенные изменения в распределении температуры и влажности с высотой, играют важную роль в формировании явлений погоды, связанных с конденсацией водяного пара.

Конвективные возникают за счет неравномерного прогрева подстилающей поверхности под действием силы плавучести при сверхадиабатическом вертикальном градиенте. С ними связано возникновение кучево-дождевых облаков, ливней, гроз, града, шквалов.

Турбулентные возникают за счёт изменения вектора ветра с высотой, т.е. влияния сил турбулентного трения. При достаточном влагосодержании могут привести к развитию облаков типа St, Sc и выпадению морозящих осадков. Турбулентные движения в свободной атмосфере возникают обычно при нестационарности атмосферных движений.

Орографические вертикальные движения обусловлены влиянием на воздушные течения горных препятствий. Они представляют собой подъем воздуха по наветренной стороне гор и возникновение орографической облачности и осадков, опускание воздуха по подветренному склону – размывание облачности и осадков (фёновый эффект).

Расчёт упорядоченных вертикальных движений воздуха производится по формулам А.Ф. Дюбюка – Н.В. Лебедевой:

$$\tau_{850} = -3,5(\Delta\bar{P}_0 + \frac{d}{dt}\Delta P_0)$$

$$\tau_{700} = \tau_{850} - 2,1(\frac{d}{dt}\Delta H_{850} + \frac{d}{dt}\Delta H_{700})$$

$$\tau_{500} = \tau_{700} - 2,8(\frac{d}{dt}\Delta H_{700} + \frac{d}{dt}\Delta H_{500})$$

О знаке и интенсивности τ можно судить ориентировочно по структуре барического поля.

В пограничном слое $\tau_{mp} \approx -3,5(kP_n + P_{nn})$, где k - кривизна изобар, P_n - барический градиент, P_{nn} - сгущение или разрежение изобар по нормали. Вклад 2-го члена намного меньше чем 1-го. Поэтому качественные выводы можно делать, анализируя кривизну изобар и величину градиента.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение и характеристику упорядоченных вертикальных движений воздуха. Как оценивается знак и интенсивность этих движений по структуре барического и изаллобарического полей?
2. Дайте определение и характеристику конвективных движений воздуха, охарактеризуйте связь их с погодными условиями.
3. Какие основные способы применяются для вычисления скорости конвективных и упорядоченных вертикальных движений воздуха?
4. Что такое динамическая турбулентность? Как можно вычислить скорость турбулентных вертикальных движений воздуха в однородной воздушной массе?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.

Лекция 15.

Понятия воздушной массы (ВМ), очага её формирования. Классификация ВМ. Характеристика погоды в теплых и холодных воздушных массах различной стратификации в разные сезоны года. Трансформация ВМ.

Цель лекции: изучение видов характеристик воздушных масс в разные сезоны года.

ВМ называются некоторое количество воздуха в тропосфере, сравнимое по размерам с большими частями материков или океанов, обладающее определенными общими свойствами и длительно перемещающееся как одно целое в какое-либо течение общей циркуляции атмосферы.

Район, в котором воздух приобретает свойства единой воздушной массы называется очагом формирования воздушных масс. В понятие очаг формирования включают не только географический район, но и барическую систему с которыми наиболее часто связано формирование типичной для этого района воздушных масс. Задача синоптического анализа заключается в том, чтобы выявить физические свойства любой воздушной массы в любой её стадии развития и определить последующие изменения погоды в результате перемещения, эволюции и взаимодействия воздушных масс.

Воздушные массы могут быть подразделены на типы по тем широтным зонам, в которых находятся очаги их формирования. Основными типами являются: арктический воздух, воздух умеренных широт (полярный), тропический и экваториальный.

По температуре все воздушные массы делятся на теплые, холодные и нейтральные. По особенностям вертикального распределения температуры вводятся понятия устойчивой и неустойчивой воздушной массы.

Теплые устойчивые воздушные массы над материками наблюдаются в холодную половину года. Для неё характерны сплошная облачность из St и Sc, морозящие осадки, адвективные туманы.

Для теплых неустойчивых воздушных масс характерна конвективная облачность (часто в ночные часы) ливневые осадки, грозы. В ночные часы при прояснении возникают радиационные туманы. Над материками наблюдаются летом.

Холодные устойчивые воздушные массы формируются в основном зимой при интенсивном радиационном выхолаживании в системе малоподвижного обширного антициклона, особенно в центральной части. В холодных устойчивых воздушных массах во внутриконтинентальных районах очень низкая температура, инверсии большой толщины, слабый ветер, хорошая видимость, антропогенные туманы. В прибрежных районах – низкие St и Sc, дымки. Этот дополнительный тип погоды наблюдается чаще на западных и северных перифериях антициклона.

Для холодных неустойчивых воздушных масс во внутриконтинентальных районах характерна вполне устойчивая погода, ясная тихая с низкими температурами воздуха, в переходные сезоны – иногда с заморозками, высокой относительно влажностью, иногда радиационными туманами. Днём кучевая или кучево-дождевая облачность с ливневыми дождями иногда с грозами, ветер сильный, порывистый.

Изменение свойств воздушных масс при перемещении за счёт тепло- и влагообмена с подстилающей поверхностью называется трансформацией. Над морем и сушей она имеет существенные различия.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение воздушной массы. Перечислите типы воздушных масс по термодинамической и географической классификациям.
2. Объясните понятие очага формирования воздушной массы.
3. Перечислите консервативные характеристики воздушной массы.
4. Каковы особенности трансформации воздушных масс над сушей и океаном в различные время года?
5. Охарактеризуйте условия погоды в теплых неустойчивых воздушных массах над континентом и над океаном в различные сезоны года.
6. Условия погоды в холодных устойчивых воздушных массах над континентом и над океаном.
7. Условия погоды в теплых устойчивых воздушных массах над океаном и над континентом в различные сезоны года.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. –А-Ата, 1967. – 551 с.