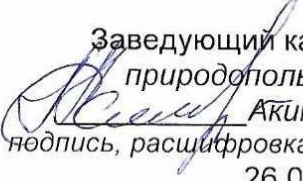


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
природопользования
 Акимов Л.М.
подпись, расшифровка подписи
26.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.10 Водно-балансовые исследования

1. **Шифр и наименование направления подготовки:** 05.03.06 – Экология и природопользование
2. **Профиль подготовки:** Геоэкология и природопользование
3. **Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
4. **Форма обучения:** очная
5. **Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра природопользования
6. **Составитель программы:** Парт Анна Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент, факультет географии, геоэкологии и туризма; anna_razinkova@mail.ru
7. **Рекомендована:** Протокол о рекомендации: НМС ф-та географии, геоэкологии и туризма от 19.05.2025 г. №8

8. **Учебный год:** 2025 / 2026

Семестр: 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование комплекса знаний о водно-балансовых исследованиях, их научном и практическом значении;
- расчет гидрометеорологических элементов уравнения водного баланса различных водных объектов.

Задачи учебной дисциплины:

- приобретение навыков составления уравнений водного баланса для различных водных объектов;
- освоение методологии производства водно-балансовых исследований;
- освоение навыков расчетов элементов водного баланса озер, водохранилищ, речных бассейнов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части учебного рабочего плана по направлению бакалавриата 05.03.06 - Экология и природопользование.

Входными знаниями являются знания основ физики, географии, биологии, гидрологии и математической статистики.

Данная дисциплина является предшествующей для дисциплин «Воднотехнические изыскания», «Водохозяйственные расчеты», «Гидроэкология», «Природоохранные мероприятия и природообустройство».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код	Индикатор	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен проводить гидрометрические, водно-балансовые исследования и воднотехнические изыскания при решении конкретных задач использования, мониторинга и охраны водных ресурсов	ПК-3.1	Участвует в проведении комплекса гидрометрических работ	Знать: основные методы водно-балансовых исследований, их практическое значение. Уметь: вычислять и анализировать водные балансы различных водных объектов. Владеть: навыками камеральной обработки результатов водно-балансовых наблюдений.
ПК-3	Способен проводить гидрометрические, водно-балансовые исследования и воднотехнические изыс-	ПК-3.2	Владеет и применяет методы гидрофизики и водно-балансовых исследований в процессе воднотехнических изыс-	Знать: основные методы водно-балансовых исследований, их практическое значение. Уметь: вычислять и анализировать водные балансы различных водных

кания при решении конкретных задач использования, мониторинга и охраны водных ресурсов		каний и водохозяйственных расчетов	объектов. Владеть: навыками камеральной обработки результатов водно-балансовых наблюдений.
--	--	------------------------------------	--

12. Объем дисциплины в зачетных единицах / час. — 3 / 108.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		6 семестр
Аудиторные занятия	44	44
в том числе: лекции	14	14
практические	—	—
лабораторные	30	30
Самостоятельная работа	64	64
Форма промежуточной аттестации – зачет		
Итого:	108	108

13.1 Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Метод водного баланса и его практическое применение	1. Представление о методе водного баланса. 2. Научное и практическое значение метода водного баланса. Общий вид уравнения водного баланса.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.2	Водные балансы речных бассейнов	1. Общие положения. Расчетные уравнения. 2. Основы методики определения элементов водного баланса.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.3	Методы измерения и	1. Общие сведения. Методы	Онлайн-курс

	расчета атмосферных осадков	измерения количества атмосферных осадков. 2. Расчет атмосферных осадков в пунктах наблюдений.	«Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.4	Методы исследования стока и влагозапаса почво-грунтов	1. Водно-физические свойства почво-грунтов и способы их определения. Методы и приборы для определения влажности влагозапасов почво-грунтов. 2. Наблюдения за глубиной промерзания оттаивания почво-грунтов.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.5	Методы снегомерных наблюдений	1. Наблюдение за снежным покровом, организация снегомерных маршрутов, производство снегосъемок. 2. Обработка и анализ результатов наблюдений за снежным покровом.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.6	Методы измерений и расчета испарения	1. Методы и производство наблюдений за испарением с почвы, со снежного покрова, с водной поверхности.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
1.7	Водные балансы озер и водохранилищ	1. Основные составляющие водного баланса озер и водохранилищ. 2. Уравнение водного баланса озер и водохранилищ. 3. Методы вычислений элементов уравнения водного баланса на площадь зеркала озер и водохранилищ. 4. Антропогенное влияние на составляющие водного баланса.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
2. Практические занятия			
2.1	Вычисление элементов водного баланса (приходная часть)	1. Вычисление атмосферных осадков, расчет количества осадков на площадь зеркала водного объекта. 2. Вычисление стока по основной реке, учет боковой приточности.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353

2.2	Вычисление элементов водного баланса (расходная часть)	Вычисление испарения с водной поверхности, расчет испарения на площадь зеркала водного объекта Вычисление аккумуляции, невязки водного баланса.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353
		Составление уравнения водного баланса, анализ полученных результатов.	Онлайн-курс «Гидрофизика и водно-балансовые исследования» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353

13.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п / п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Метод водного баланса и его практическое применение	2	—	4	9	15
2	Водные балансы речных бассейнов	2	—	4	9	15
3	Методы измерения и расчета атмосферных осадков	2	—	4	9	15
4	Методы исследования стока и влагозапаса почвогрунтов	2	—	4	9	15
5	Методы снегомерных наблюдений	2	—	4	9	15
6	Методы измерений и расчета испарения	2	—	5	9	16
7	Водные балансы озер и водохранилищ	2	—	5	10	17
Итого:		14	30	30	64	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для понимания и освоения материала необходимо регулярное посещение лекций, выполнение лабораторных работ. По указанию преподавателя необходимо самостоятельно изучать нормативные документы, а также мировой опыт организации водно-балансовых исследований.

При подготовке к промежуточной аттестации студенты изучают и конспектируют рекомендуемую преподавателем учебную литературу по темам лекционных и лабораторных занятий.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов включают использование электронных учебников и ресурсов интернет, в том числе электронного образовательного портала Moodle.

Качество подготовки обучающегося обеспечивается разработкой и применением в учебном процессе методических указаний, в том числе электронных изданий, учебных пособий с грифом учебно-методических объединений по соответствующему направлению подготовки для обеспечения эффективной подготовки к занятиям, самостоятельной работы студентов, качественного выполнения практических и самостоятельных работ.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Михайлов, В.Н. Гидрология: учебник для вузов / В.Н. Михайлов, С.А. Добролюбов. - М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. - 753 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=455009
2	Основы гидравлики, гидрологии и гидрометрии: учебное пособие / авт.-сост. М. Решетько - Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 193 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442801

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. Учебник. - СПб.: изд. РГГМУ, 2007. - 314 с.
4	Бабкин, Владимир Иванович. Водный баланс речных бассейнов / В.И. Бабкин, В.С. Вуглинский. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 191 с.
5	Бабкин, Владимир Иванович. Водный баланс речных бассейнов / В.И. Бабкин, В.С. Вуглинский. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 191 с.
6	Болгов, Михаил Васильевич. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения / М.В. Болгов, В.М. Мишон, Н.И. Сенцова; Рос. акад. наук, Ин-т вод. проблем; [отв. ред. А.Е. Асарин]. — М.: Наука, 2005. — 317, [1] с.
7	Мишон, В.М. Бассейн Верхнего Дона: гидрология, гидрография и водные ресурсы / В.М. Мишон, М.С. Болгова, Н.И. Сенцова; науч. ред. В.И. Федотов. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. — 138 с.: ил., табл. — (Труды Научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета; Вып. 23).
8	Методы изучения гидрологического режима водных объектов / В.С. Вуглинский, Г.С. Клейн, И.Н. Образцов и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 391 с.
9	Орлов В.Г., Сикан А.В. Основы инженерной гидрологии/ Учебное посо-

	бие. Направление "Экология и природопользование". Специальность "Геоэкология". - СПб.: изд. РГГМУ. 2003. - 187 с.
10	Состояние и перспективы развития систем гидрологических наблюдений и информационное обеспечение потребителей //Тезисы докладов VI Гидрол. съезда. Секция 1. - СПб: Гидрометеиздат, 2004 г. - 141 с.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

№ п/п	Источник
11	ЗНБ ВГУ www.lib.vsu.ru
12	Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» https://urait.ru
13	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" (http://biblioclub.ru/)
14	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" http://www.studmedlib.ru
15	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" http://rucont.ru
16	Электронный курс по дисциплине на портале «Электронный университет ВГУ» – Режим доступа: по подписке. - https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
17	Водный кодекс Российской Федерации (от 03.06.2006 г.) № 74 - ФЗ
18	ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» - Москва: Госстандарт СССР, 1988. – 47 с.
19	Раткович, Д. Я. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна / РАН. Ин-т водных проблем.— М., 1997. — 262 с.
20	Руководство воднобалансовым станциям. Государственный гидрологический институт. – Л: Гидрометиздат, 1973. – 301 с.
21	Семин В.А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды: Учебное пособие/ В.А.Семин. – М.: Высшая школа, 2001. – 320 с.
22	Руководящие документы Росгидромета http://ipk.meteorf.ru
23	Государственный водный реестр http://www.sur-base.ru

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Программа курса реализуется с элементами дистанционных технологий на платформе «Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». Режим доступа: <https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4353>

При реализации учебной дисциплины используются программные пакеты лицензионного ПО:

- Win Pro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc;
- Office STD 2013 RUS OLP NL Acdmc;
- Win Svr Std 2012 RUS OLP NL Acdmc 2Proc;
- СПС "Консультант Плюс" для образования;

- неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Универсальный Russian Edition;
- неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition;
- неисключительные права на ПО Kaspersky Security для файловых серверов;
- MS P.Point;
- STADIA;
- интернет-браузер Mozilla Firefox.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

для лекционных занятий – учебная аудитория (учебный корпус № 5 ВГУ), оснащенная специализированной мебелью, мультимедийной аппаратурой (мультимедиа-проектор, компьютер, стационарный экран);

для практических занятий – учебно-научная гидрометеорологическая обсерватория: компьютеры "Intel Celeron" с мониторами Samsung /лицензионное ПО/, принтер струйный Epson, автоматизированный комплекс приема спутниковой гидрометеороинформации, автоматизированная метеостанция М-49, психрометры, метеометр МЭС-2, барометры-анероиды, гигрографы, снегомер весовой, гидрометрические вертушки, эхолот, актинометр, огороженная площадка, прилегающая к корпусу, для стандартных метеонаблюдений с комплексом оборудования для измерения температуры, осадков, ветра, облачности, явлений погоды.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
1	Метод водного баланса и его практическое применение	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
2	Водные балансы речных бассейнов	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
3	Методы измерения и расчета атмосферных осадков	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
4	Методы исследования стока и влагозапаса почво-грунтов	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
5	Методы снегомерных наблюдений	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
6	Методы измерений и расчета испарения	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
7	Водные балансы озер и водохранилищ	ПК-8	ПК-8.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет		Перечень вопросов, практическое задание (см. п. 20.2)		

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины, осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Текущая аттестация проводится в формах:

- устного опроса (индивидуальный опрос, доклады);
- письменных работ (контрольные, лабораторные работы);
- тестирования;
- оценки результатов самостоятельной работы (презентация).

Критерии оценивания приведены ниже.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков при изучении дисциплины.

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- устный опрос.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- контрольно-измерительных материалов, включающих 2 теоретических вопроса и расчетную аналитическую задачу в области гидрофизики и водно-балансовых исследований.

Тесты

1. Температура, начиная с которой, перестает существовать различие между жидкостью и паром называется:

- 1) критическая (Правильный ответ);**
- 2) пороговая;
- 3) существенная;
- 4) оптимальная.

2. Плотность какой воды является наибольшей при 4° С:

- 1) снеговой;
- 2) дождевой;
- 3) речной;
- 4) океанической (Правильный ответ).**

3. При какой температуре плотность воды максимальна:

- 1) 0°;
- 2) 4° (Правильный ответ);**

- 3) 10° ;
- 4) 83° .

4. Как влияет увеличение давления на температуру кипения воды:

- 1) температура кипения понижается;
- 2) температура кипения повышается (Правильный ответ);**
- 3) температура кипения не изменяется;
- 4) температура кипения стабилизируется около 97° .

5. С увеличением минерализации теплоемкость воды:

- 1) увеличивается;
- 2) не изменяется;
- 3) уменьшается (Правильный ответ);**
- 4) совпадает с теплоемкостью почвы.

6. Количество тепла, которое необходимо затратить на подогрев водоема массой m от температуры T_1 до температуры T_2 выражается формулой:

- 1) $Q = mC(T_2 - T_1)$; $Q = m C (T_1 - T_2)$ (Правильный ответ);**
- 2) $Q = mC(T_2 + T_1)$; $Q = m C (T_1 + T_2)$;
- 3) $Q = mCT_1T_2$; $Q = m C T_1 T_2$;
- 4) $Q = mCT_2 / T_1$; $Q = m C T_1 / T_2$.

7. Количество тепла, которое затрачивается при переводе 1 кг вещества из жидкого состояния в газообразное называется:

- 1) относительной теплотой испарения;
- 2) скрытой удельной теплотой испарения (Правильный ответ);**
- 3) явной удельной теплотой испарения;
- 4) использованной теплотой испарения.

8. Количество тепла, необходимого для того, чтобы превратить в пар массу воды m при начальной температуре T_n выражается формулой:

- 1) $Q_n = mC(T_k - T_n) - L_u m$;
- 2) $Q_n = mC(T_k + T_n) + L_u m$;
- 3) $Q_n = mC(T_k + T_n) - L_u m$;
- 4) $Q_n = mC(T_k - T_n) + L_u m$ (Правильный ответ).**

9. Количество тепла, которое не вызывает нагревания, а расходуется на превращение льда в воду, называется:

- 1) скрытой теплотой таяния льда;
- 2) явной теплотой таяния льда;
- 3) относительной теплотой плавления льда;
- 4) скрытой теплотой плавления льда (Правильный ответ).**

10. Количество протекшего через слой воды тепла при установившемся тепловом потоке определяется выражением:

- 1) $Q = -\lambda F \frac{T_2 - T_1}{Z} \tau$ (Правильный ответ);**

- 2) $Q = -\lambda F \frac{T_2 + T_1}{Z} \tau$;
 3) $Q = -\lambda F (T_2 - T_1) Z \tau$;
 4) $Q = -\lambda F (T_2 + T_1) Z \tau$.

11. Выберите верное утверждение:

- 1) вязкость воды возрастает с ростом температуры;
2) вязкость воды убывает с ростом температуры (Правильный ответ);
 3) вязкость воды не зависит от температуры;
 4) вязкость воды не меняется с ростом температуры.

12. В каком виде грунта высота капиллярного поднятия воды наибольшая:

- 1) песок среднезернистый;
 2) песок мелкозернистый;
 3) суглинок;
4) глина (Правильный ответ).

13. Аналитическая зависимость скорости звука от температуры воды имеет вид:

- 1) $U = 1557 + 0,0245(74 - t)^2$;
 2) $U = 1557 - 0,0245(74 + t)^2$;
3) $U = 1557 - 0,0245(74 - t)^2$; (Правильный ответ);
 4) $U = 1557 + 0,0245(74 + t)^2$.

14. Отношение отраженной солнечной энергии к поступающей называется:

- 1) альберс;
2) альбедо (Правильный ответ);
 3) альбано;
 4) альбетр.

15. При замутнении воды альбедо:

- 1) уменьшается;
2) увеличивается (Правильный ответ);
 3) неизменно;
 4) колеблется.

16. Уровень радиации, проникшей в воду, на глубине:

- 1) уменьшается (Правильный ответ);**
 2) увеличивается;
 3) не изменяется;
 4) колеблется.

17. Прозрачность воды зависит от:

- 1) температуры;
 2) солёности;
 3) атмосферного давления;
4) взвешенных частиц (Правильный ответ).

18. Эффективное излучение водной поверхности представляет собой:

- 1) разность между собственным излучением воды и поглощенным (Правильный ответ);**
- 2) сумму собственного излучения воды и поглощенного;
- 3) произведение собственного излучения воды и поглощенного;
- 4) отношение собственного излучения воды к поглощенному.

19. Какого слоя не существует в ледяном покрове пресного водоема:

- 1) слой водного льда;
- 2) слой водно-снегового льда;
- 3) слой снежно-шугового льда (Правильный ответ);**
- 4) слой водно-шугового льда.

20. От верхней к нижней поверхности ледяного покрова в результате взаимного ограничения роста кристаллов:

- 1) их число уменьшается, а размер увеличивается (Правильный ответ);**
- 2) их число увеличивается, а размер уменьшается;
- 3) их число уменьшается и размер уменьшается;
- 4) их число увеличивается и размер увеличивается.

21. Смерзание ледяных кристалликов и отдельных массивов льда в местах их соприкосновения, находящихся в условиях повышенного удельного давления называется:

- 1) рекристаллизация;
- 2) режеляция (Правильный ответ);**
- 3) взгонка;
- 4) сублимация.

22. Изменение кристаллической структуры льда и снега вследствие перераспределения атомов и молекул между отдельными кристаллами называется:

- 1) рекристаллизация (Правильный ответ);**
- 2) режеляция;
- 3) взгонка;
- 4) сублимация.

23. Процесс испарения с поверхности льда и снега или переход влаги из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу, называется:

- 1) рекристаллизация;
- 2) режеляция (Правильный ответ);**
- 3) взгонка;
- 4) сублимация.

24. Процесс конденсации влаги на поверхности льда и снега, минуя жидкую фазу, называется:

- 1) рекристаллизация;
- 2) режеляция;
- 3) взгонка;
- 4) сублимация (Правильный ответ).**

25. Выберите верное утверждение:

- 1) с увеличением объема пор плотность льда уменьшается (Правильный ответ);**

- 2) с увеличением объема пор плотность льда увеличивается;
- 3) с уменьшением объема пор плотность льда уменьшается;
- 4) с уменьшением объема пор плотность льда не изменяется.

Задачи

Задача 1

Требуется определить среднюю интенсивность изменения запаса тепла в непроточном водоеме за май (декабрь) и накопление (или расходование) тепла в нем за эти месяцы.

Средние за май и декабрь значения тепловых потоков, в Вт / м²:

- поглощенная водой суммарная солнечная радиация $S_p = 252$ (43);
- турбулентный теплообмен с атмосферой $S_k = - 22$ (100);
- эффективное излучение $S_{эф} = 50$ (58);
- тепло, затраченное на испарение $S_{и} = 70$ (7,2);
- теплообмен с грунтом дна $S_{дн} = 6$ (- 3).

Значения остальных составляющих уравнения для рассматриваемого периода близки к нулю.

Решение варианта 1:

Средние значения интенсивности изменения запаса тепла в мае и декабре определим с помощью уравнения:

$$S_5 = 252 + 22 - 50 - 70 + 6 = 160 \text{ Вт / м}^2$$

$$S_{12} = 43 - 100 - 58 - 7,2 - 3 = - 125,2 \text{ Вт / м}^2.$$

Таким образом, в мае тепло в водоеме накапливалось, а в декабре — расходовалось. В расчете на единицу площади водоема накопление тепла в мае составило

$\Delta S_5 = 160 \times 31 \times 86\,400 = 429 \times 10^6 \text{ Дж / м}^2$, а расходование тепла в декабре — $\Delta S_{12} = - 125,2 \times 31 \times 86\,400 = - 335 \times 10^6 \text{ Дж / м}^2$, где 31 — число суток в месяце, 86 400 — число секунд за сутки.

Номер варианта	S_k 5 (май)	$S_{дн}$ 5 (май)	$S_{дн}$ 12 (дек.)
1	- 22	+ 6	- 3
2	- 19	+ 2	- 5
3	- 10	+ 8	- 4
4	- 9	+ 5	- 2
5	- 16	+ 4	- 3
6	- 15	+ 5	- 4
7	- 24	+ 7	- 2
8	- 8	+ 5	- 3

Задача 2

Определить среднюю температуру воды в непроточном водоеме в конце месяца при следующих исходных данных:

Средние месячные значения тепловых потоков, Вт / м²:

- поглощенная водой суммарная солнечная радиация $S_p = 270$;
- турбулентный теплообмен с атмосферой $S_k = 75$;
- эффективное излучение $S_{эф} = 53$;
- тепло, затраченное на испарение $S_{и} = 137$;

- теплообмен с грунтом дна $S_{\text{дн}} = -15,2$.
 Средняя температура воды в начале месяца $t_n = 16,1^\circ \text{C}$.
 Средняя глубина водоема $h = 9 \text{ м}$.
 В месяце 30 сут.

Решение варианта 1:

Используя выражение $S = S_p + S_k - S_{\text{эф}} - S_{\text{и}} - S_{\text{дн}}$, рассчитываем результирующий тепловой поток: $S = 270 + 75 - 53 - 137 - 15,2 = 138,8 \text{ Вт / м}^2$.

Приращение запаса тепла в водоеме за месяц составит:

$$\Delta S = 140,2 \cdot 30 \cdot 86400 = 364 \cdot 106 \text{ Дж / м}^2.$$

На основании формулы интенсивности изменения запаса тепла:

$$S = c \rho h (t_k - T_n) / \tau,$$

где h – глубина,

ρ – плотность воды,

c – удельная теплоемкость воды,

t_k – температура в начале расчетного периода,

T_n – температура в конце расчетного периода,

τ – продолжительность расчетного периода,

можно записать:

$$\Delta S = C \cdot \rho \cdot \Delta t \cdot h / \tau$$

Принимая удельную теплоемкость воды $C_p = 4190 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$, плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг / м}^3$ и учитывая, что продолжительность расчетного периода τ равна одному месяцу, получаем изменение средней температуры воды в водоеме за месяц:

$$\Delta t = \Delta S \tau / c \rho h = (364 \cdot 106 \cdot 1) / (4190 \cdot 1000 \cdot 9) = 9,6^\circ \text{C}.$$

Средняя температура воды в конце месяца: $t_k = t_n + \Delta t = 16,1 + 9,6 = 25,7^\circ \text{C}$.

Номер варианта	$S_{\text{дн}} \text{ Вт / м}^2$
1	- 15,2
2	- 14
3	- 16
4	- 12
5	- 11
6	- 10
7	- 12,2
8	- 15
9	- 11,2
10	- 13

Задача 3

Определить количество тепла, образовавшегося в потоке за сутки за счет механической энергии движения воды.

Исходные данные:

скорость течения $v = 1,7 \text{ м / с}$;

глубина $h = 3,5 \text{ м}$;

уклон $i = 0,0007$;

ширина $B = 25 \text{ м}$;

длина потока $l = 300$ м.

Решение варианта 1:

Используем формулу определения тепла в потоке за счет механической энергии $S \text{ э. д.} = \rho \times Q \times l \times V \times h \times B$, где ρ - плотность воды $\text{кг} / \text{м}^3$, v - скорость течения $\text{м} / \text{с}$, i - уклон потока, h - глубина потока, Q – расход воды, B - ширина потока. Определим приток тепла в секунду на 1 м^2 зеркала воды:

$$S \text{ э. д.} = 9,81 \times 1000 \times 1,7 \times 3,5 \times 0,0007 = 40,9 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

За сутки приход тепла в расчете на 1 м^2 поверхности потока равен

$$D = 40,9 \times 86\,400 = 3534 \text{ кДж} / \text{м}^2.$$

Для всей площади зеркала воды потока, равной $F = 300 \times 25 = 7500 \text{ м}^2$, количество тепла, образовавшегося за счет механической энергии движения воды за сутки, $Q = 7500 \times 3534 = 26500 \text{ МДж}$.

Номер варианта	глубина h (м)	i - уклон	Скорость течения, V м / с
1	3,5	0,0007	1,7
2	3,5	0,0008	1,5
3	2,5	0,0009	1,8
4	3,2	0,0006	1,7
5	3,6	0,0009	1,22
6	2,5	0,0011	0,9
7	2,7	0,0012	1,2
8	1,8	0,0010	1,1

Задача 4

Определить полное количество тепла, затрачиваемого на таяние льда в водоеме.

Исходные данные:

Начальная температура льда $t_n = -15^\circ \text{C}$.

Толщина льда $h = 0,75$ м.

Плотность льда $\rho_{\text{л}} = 916 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Площадь зеркала водоема $F = 1,3 \text{ км}^2$.

Решение варианта 1:

Определяем затраты тепла на прогрев льда от $T_n = -15^\circ \text{C}$ до $T_k = 0^\circ \text{C}$. На единицу поверхности (на кв. м.) они составят

$$D = C_{\text{р}} \times \rho_{\text{л}} \times h \times T_n = 2100 \times 916 \times 0,75 \times (-15) = -21,64 \times 10^6 \text{ Дж} / \text{м}^2.$$

Здесь $C_{\text{р}}$ — удельная теплоемкость воды, равная $2100 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$, затраты тепла на прогрев льда на всей площади водоема $D_{\text{п}} = -21,64 \times 10^6 \times 1,3 \times 10^6 = -28,1 \times 10^{12} \text{ Дж}$, множитель 10^6 — коэффициент перехода от квадратных километров к квадратным метрам.

Затраты тепла на таяние льда, имеющего температуру 0°C , в расчете на единицу поверхности: $D_1 = \rho_{\text{л}} \times C_{\text{р}} \times h_{\text{л}} = -916 \times 3,33 \times 10^5 \times 0,75 = -228,8 \times 10^6 \text{ Дж} / \text{м}^2$.

На всю площадь водоема они составят $D_{\text{п}} = -228,8 \times 10^6 \times 1,3 \times 10^6 = -297,4 \times 10^{12} \text{ Дж}$.

Общее количество тепла, затрачиваемое на таяние льда, складывается из затрат тепла на прогрев льда до 0°C и затрат тепла на таяние льда, имеющего

температуру 0 °С, т. е. $D = (-28,1 \times 10^{12}) + (-297,4 \cdot 10^{12}) = -325,5 \times 10^{12}$ Дж. (-325500 ГДж).

Номер варианта	t_n	h
1	- 15	0,75
2	- 10	1,0
3	- 9	1,5
4	- 8	1,8
5	- 7	2,0
6	- 6	2,1
7	- 5	2,2
8	- 4	2,4

Задача 5

Определить температуру воды в нижнем створе бесприточного участка реки при следующих исходных данных:

в верхнем створе бесприточного участка реки температура воды $t_b = 8,1^\circ \text{C}$;

расход воды в верхнем створе $270 \text{ м}^3 / \text{с}$;

расход воды в нижнем створе $279 \text{ м}^3 / \text{с}$;

температура грунтовых вод $t_{гр} = 6,1^\circ \text{C}$;

площадь зеркала воды между створами $F = 3 \text{ км}^2$;

теплообмен с атмосферой $S_0 = 215 \text{ Вт} / \text{м}^2$;

теплообмен с грунтом дна $S_{дн} = -9 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

Решение варианта 1:

Вычислим количество тепла, поступающего с русловыми водами через верхний створ: $S_b = (4,19 \cdot 270 \cdot 8,1) / 3 = 3054 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

Определим количество тепла, поступающего с грунтовыми водами.

Расход грунтовых вод $Q_{гр}$ равен разности расходов воды в верхнем и нижнем створах, т. е.: $Q_{гр} = Q_{ниж} - Q_{вер} = 279 - 270 = 9 \text{ м}^3 / \text{с}$ (испарением с водной поверхности пренебрегаем).

Зная расход и температуру грунтовых вод, находим: $S_{гр} = (4,19 \times 9 \cdot 6,1) / 3 = 77 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

Количество тепла S , уносимого рекой со стоком воды с расчетного участка, определим по уравнению теплового баланса, которое для рассматриваемого случая имеет вид: $S = S_{атм} + S_b + S_{гр} + S_{дно}$.

Подставив в это уравнение значения входящих в него величин с учетом знака, определяющего направление потока, найдем: $S = 215 + 3054 + 77 - 9 = 3337 \text{ Вт} / \text{м}^2$.

Температуру воды в нижнем створе рассчитаем по формуле: $T = 3 S / C_p Q = 3 \times 3337 / (4,19 \times 279) = 8,6$

Номер варианта	$t_b, ^\circ \text{C}$	$S_{дн}, \text{Вт} / \text{м}^2$
1	8,1	- 9
2	6,2	- 8
3	7,1	- 7
4	5,8	- 8
5	7,7	- 6
6	6,5	- 8

7	5,9	– 7
8	5,7	– 9

Эссе

1. Выпишите уравнение водного баланса:

- для речного бассейна за отдельные годы;
- для океанов и морей в целом;
- для всей суши.

Поясните значение членов уравнения.

- **Для речного бассейна** за отдельные годы:

$$Q = P - E \pm S$$

где Q – речной сток; P – осадки; E – испарение; $\pm S$ – накопление или расходование влаги в речном бассейне;

- **Для океанов и морей в целом:**

$$P_{\text{М. ок}} = E_{\text{М. ок}} - Q = E_{\text{М. ок}} - V_{\text{М. ок}} + V_{\text{с}} = E_{\text{М. ок}} - (V_{\text{М. ок}} - V_{\text{с}})$$

- **Для всей суши:**

$$P_{\text{с}} = E_{\text{с}} + Q = E_{\text{с}} + V_{\text{М. ок}} - V_{\text{с}} = E_{\text{с}} + (V_{\text{М. ок}} - V_{\text{с}})$$

где $P_{\text{М. ок}}$ и $P_{\text{с}}$ – годовое количество осадков соответственно над Мировым океаном (океанами и морями) и над сушей; $E_{\text{М. ок}}$ и $E_{\text{с}}$ – годовое значение испарения соответственно с Мирового океана и с суши; Q – годовое количество воды, приносимой реками в океан и моря; $V_{\text{М. ок}}$ и $V_{\text{с}}$ – годовое количество водяных паров в атмосфере, переходящих с океанов на сушу $V_{\text{М. ок}}$ и с суши на океан $V_{\text{с}}$.

2. Перечислите условия применимости уравнения водного баланса Земного шара.

➤ Эти уравнения справедливы лишь в среднем для многолетнего периода, но не для отдельных лет, так как предполагают отсутствие переходящих из года в год запасов воды на суше и в Мировом океане;

➤ Для отдельных лет, строго говоря, эти уравнения должны быть дополнены так называемыми «аккумуляционными» составляющими водного баланса, которые в настоящее время неизвестны и вряд ли могут быть оценены надежно из-за недостаточности исходной информации и малой точности их определения для огромных территорий суши и океана.

3. Перечислите виды водного баланса, дайте им краткую характеристику.

➤ В зависимости от поставленных задач и имеющихся данных водные балансы могут быть полными (детальными) или частными (приближенными).

➤ **Полный водный баланс** – баланс, охватывающий все статьи прихода (осадки, приток речных и подземных вод и др.), расхода (испарение, отток воды и др.) и изменения запаса воды на поверхности и в толще изучаемого природного объекта.

➤ **Частный водный баланс** – это баланс, когда один или несколько (суммарно) элементов водного баланса не могут быть измерены и определяются путем расчета как остаточный член уравнения водного баланса (по разности всех других элементов, измеряемых в натуре для данного объекта).

4. Для какой части территории суши возможно составление уравнения водного баланса?

➤ Общий вид уравнения водного баланса за любой промежуток времени составляется для произвольно выбранной части территории суши площадью A и объемом V , ограниченной сверху поверхностью раздела суши или атмосферы, с боков—вертикальной цилиндрической поверхностью, проходящей через внешнюю границу (контур) площади A , а снизу — кровлей водоупорных пород, подстилающих водоносную толщу почво-грунтов зоны интенсивного водообмена, т. е. зоны, дренируемой гидрографической сетью, находящейся в пределах данной части территории.

5. Общий вид уравнения водного баланса для территорий, в пределах которых отсутствуют водохранилища и пруды.

Для территорий, в пределах которых отсутствуют водохранилища и пруды, величина ΔS представляет собой алгебраическую сумму изменений запасов воды в сезонном снежном покрове $\Delta S_{\text{сн.}}$, наледях, ледниках и многолетних снежниках $\Delta S_{\text{ледн.}}$, в озерах $\Delta S_{\text{оз.}}$ и болотах $\Delta S_{\text{бол.}}$, в русловой сети $\Delta S_{\text{русл.}}$ в зоне аэрации почвогрунтовой толщи ΔM , в водоносных слоях ΔG , дренируемых гидрографической сетью данной территории, т. е.

$$\Delta S = \Delta S_{\text{сн.}} + \Delta S_{\text{ледн.}} + \Delta S_{\text{оз.}} + \Delta S_{\text{бол.}} + \Delta S_{\text{русл.}} + \Delta M + \Delta G$$

При наличии прудов и водохранилищ в величину ΔS должно включаться также изменение запасов воды в этих прудах и водохранилищах $\Delta S_{\text{пр. вдхр.}}$

6. Дайте определение «замкнутого» речного бассейна, выпишите уравнение водного баланса замкнутого речного бассейна в естественных условиях и охарактеризуйте его элементы.

Замкнутый речной бассейн — это речной бассейн, у которого водоразделы поверхностный и подземных вод совпадают, поэтому подземный сток полностью формируется в пределах данного бассейна, то есть приток подземных вод извне отсутствует ($Q_{\text{п. подз.}} = 0$).

Отток подземных вод $Q_{\text{о. подз.}}$ из таких бассейнов происходит лишь через замыкающий створ основной реки (в виде подземной составляющей $Q_{\text{подз.}}$ общего речного стока Q).

Уравнение водного баланса замкнутого речного бассейна в естественных условиях имеет вид

$$P - E - Q = \Delta S$$

а при расчленении общего речного стока Q на поверхностную $Q_{\text{пов.}}$ и подземную $Q_{\text{подз.}}$ составляющие оно может быть представлено в виде

$$P - E - Q_{\text{пов.}} - Q_{\text{подз.}} = \Delta S$$

7. Дайте определение «висячего» речного бассейна, выпишите уравнение водного баланса висячего речного бассейна в естественных условиях и охарактеризуйте его элементы.

Висячий речной бассейн – это речной бассейн, у которого водоразделы поверхностных и подземных вод не совпадают.

Сток в замыкающих створах этих рек Q' включает в себя в основном лишь поверхностную составляющую общего речного стока $Q_{\text{пов.}}$, т. е. занижен на величину не дренируемого подземного стока $Q_{\text{пов.}}$.

К числу висячих речных бассейнов относятся обычно водосборы малых рек засушливых районов, для которых характерно глубокое залегание основных безнапорных водоносных горизонтов.

Уравнение водного баланса таких речных бассейнов имеет вид:

$$P - E - Q'_{\text{пов.}} = \Delta S$$

8. Выпишите уравнение водного баланса горного ледника для короткого интервала времени и охарактеризуйте его элементы.

Уравнение водного баланса горного ледника для короткого интервала времени (месяц, сезон и т. д.) имеет вид:

$$P_{\text{ледн.}} + Q_{\text{мет, лав.}} + \Delta S_{\text{п. з.}} - Q_o - E_{\text{ледн.}} = \Delta S_{\text{ледн.}}$$

$P_{\text{ледн.}}$ - количество выпавших твердых осадков за расчетный период на поверхность ледника;

$Q_{\text{мет, лав.}}$ - количество льда и снега, поступивших на поверхность ледника за счет лавин и метелевого переноса снега;

$\Delta S_{\text{п. з.}}$ - количество талой воды, поступившей к леднику с прилегающих склонов гор и замерзшей в толще фирна;

Q_o - отток вод от ледника за счет растаявшего снега и льда и притока к нему талых вод с прилегающих склонов гор;

$E_{\text{ледн.}}$ - испарение с поверхности ледника;

$\Delta S_{\text{ледн.}}$ - изменение общего запаса воды в льде и снеге горного ледника за рассматриваемый период.

9. Выпишите уравнение водного баланса для участка реки и охарактеризуйте его элементы.

Уравнение водного баланса для участка реки имеет вид:

$$P_{\text{русл.}} + Q_{\text{п. в.}} + Q_{\text{п. бок.}} + Q_{\text{п. подз.}} - (Q_o + E_{\text{русл.}} + Q_{\text{о. подз.}}) = \Delta S_{\text{русл.}}$$

$P_{\text{русл.}}$ - осадки на водную поверхность реки на данном участке (между верхним и нижним гидрометрическими створами);

$Q_{\text{п. в.}}$ - приток воды на данный участок реки через верхний гидрометрический створ;

$Q_{\text{п. бок.}}$ - боковой приток воды в реку на данном ее участке (сток всех притоков, впадающих в реку, и склоновый поверхностный сток с междуречных прибрежных частей водосборной площади);

$Q_{\text{п. подз.}}$ - приток подземных вод в реку на рассматриваемом ее участке;

Q_o - отток воды через нижний гидрометрический створ реки;

$E_{\text{русл.}}$ - испарение с открытой и заросшей растительностью водной поверхности реки (включая затопляемую высокими водами пойму);

$Q_{\text{о. подз}}$ - отток вод из русла реки подземным путем;

$\Delta S_{\text{русл.}}$ - изменение запаса воды на данном участке реки за расчетный интервал времени.

10. Выпишите уравнение изменения испарения ΔE_x и охарактеризуйте его элементы.

Уравнение изменения испарения ΔE_x м. б. в виде:

$$\Delta E_x = \Delta E_{\text{а. л.}} + \Delta E_{\text{ор}} + \Delta E_{\text{ос. сх.}} + \Delta E_{\text{вдсн.}} + \Delta E_{\text{вдхр.}} + \Delta E_{\text{пр.}} - \Delta E_{\text{русл.}}$$

Здесь ΔE – изменения испарения:

$\Delta E_{\text{а. л.}}$ – с бассейна в результате агролесомелиоративных мероприятий;

$\Delta E_{\text{ор}}$ - из-за орошения засушливых территорий;

$\Delta E_{\text{ос. сх.}}$ – из-за регулирования водного режима почвогрунтов на осушенных землях или болотах;

$\Delta E_{\text{вдсн.}} = \Delta E_{\text{пром.}} + \Delta E_{\text{т. эн.}} + \Delta E_{\text{гор.}} + \Delta E_{\text{сел}}$ – при водоснабжении промышленных предприятий, тепловых электростанций, населения городов и сельских населенных пунктов;

$\Delta E_{\text{вдхр.}} = \Delta E_{\text{зат.}} + \Delta E_{\text{под.}}$ – из за сооружения водохранилищ в результате дополнительного испарения при затоплении и подтоплении земель;

$\Delta E_{\text{пр.}}$ – из-за создания прудов;

$\Delta E_{\text{русл.}}$ – из-за уменьшения испарения с русел и пойм ниже водохранилищ, регулирующих сток, и мест отъема речных вод на переброски и другие нужды.

11. Выпишите уравнение изменения бассейновых запасов воды ΔS_x и охарактеризуйте его элементы.

Уравнение изменения бассейновых запасов воды ΔS_x м. б. в виде:

$$\Delta S_x = \Delta S_{\text{ч}} + \Delta S_{\text{л.}} + \Delta S_{\text{бер.}} - \Delta S_{\text{ос. сраб.}}$$

Здесь ΔS изменения бассейновых запасов воды в результате:

$\Delta S_{\text{ч}}$ - аккумуляции в чаше водохранилища;

$\Delta S_{\text{л.}}$ – аккумуляции в ложе водохранилища;

$\Delta S_{\text{бер.}}$ – аккумуляции в береговой зоне водохранилища;

$\Delta S_{\text{ос. сраб.}}$ - уменьшения суммарных запасов воды в бассейне в результате сработки вековых запасов болотных и грунтовых вод при осушении.

12. Определите понятия «детального» и «приближенного» водного баланса.

➤ Детальные календарные водные балансы и балансы за фазы гидрологического режима (половодье, паводки, межень) составляются для наиболее полно освещенных гидрометеорологическими наблюдениями средних, малых и некоторых больших речных водосборов, расположенных в разных природных зонах.

➤ Приближенные календарные водные балансы рассчитываются за месяцы, сезоны и годы, как правило, для водосборов больших рек - Иртыша и др.

13. Выпишите «детальное» уравнение водного баланса для речного бассейна и охарактеризуйте его элементы.

$$P + Q_{\text{перебр. п}} + Q_{\text{сбр}} - Q_{\text{пов}} - Q_{\text{подз.}} - Q_{\text{заб.}} - Q_{\text{перебр. о}} - E = \Delta S_{\text{сн. ледн.}} + \Delta S_{\text{оз.}} + \Delta S_{\text{вдхр.}} + \Delta S_{\text{бол.}} + \Delta S_{\text{русл.}} + \Delta M + \Delta G \pm \eta$$

P - атмосферные осадки;

$Q_{\text{перебр. п}}$ - переброска воды из других бассейнов;

$Q_{\text{сбр}}$ - воды, поступающие в реку после хозяйственного использования;

$Q_{\text{пов}}$ - поверхностная составляющая речного стока в замыкающем створе реки;

$Q_{\text{подз.}}$ - подземная составляющая речного стока в замыкающем створе;

$Q_{\text{заб.}}$ - забор воды из реки на хозяйственные нужды;

$Q_{\text{перебр. о}}$ - переброска (отведение) воды в другие бассейны;

E - суммарное испарение (и конденсация);

$\Delta S_{\text{сн. ледн.}}$ - изменения запасов воды в снеге, ледяной корке, наледях, ледниках и др.;

$\Delta S_{\text{оз.}}$ - изменение запаса воды в озерах;

$\Delta S_{\text{вдхр.}}$ - тоже в водохранилищах и прудах;

$\Delta S_{\text{бол.}}$ - тоже в болотах;

$\Delta S_{\text{русл.}}$ - тоже в русловой сети;

ΔM - изменение влагозапасов в зоне аэрации бассейна;

ΔG - изменение запаса воды в дренируемых рекой водоносных слоях бассейна;

η - остаточный член или «невязка» водного баланса, включающая неучтенные элементы баланса (например, «горизонтальные» осадки, изменение запасов воды в биомассе и т. д.) и погрешности учитываемых элементов баланса.

14. Выпишите «Приближенное» уравнение водного баланса для речного бассейна и охарактеризуйте его элементы.

$$P + Q_{\text{перебр. п}} + Q_{\text{сбр}} - Q - Q_{\text{заб.}} - Q_{\text{перебр. о}} - E - \Delta S_{\text{сн. ледн.}} - \Delta S_{\text{оз.}} - \Delta S_{\text{вдхр.}} - \Delta S_{\text{бол.}} = \Delta S_{\text{подз., русл., } \eta} = \Delta M + \Delta G + \Delta S_{\text{русл.}} \pm \eta$$

Q - общий сток в замыкающем створе реки;

$\Delta S_{\text{подз., русл., } \eta}$ - изменение запасов воды в почвогрунтах зон аэрации и насыщения бассейна, в русловой сети, а также другие неучтенные элементы водного баланса и погрешности определения учитываемых составляющих;

➤ Принципиальное различие между уравнениями состоит в том, что в «детальном» уравнении составляющие ΔM , ΔG и $\Delta S_{\text{русл.}}$ определяются независимым путем (по данным фактических измерений влажности почвогрунтов, уровней грунтовых вод, уровней и расходов воды в реках), а во втором - рассчитываются суммарно методом водного баланса (совместно с невязкой η).

15. Определение атмосферных осадков в уравнении водного баланса для речного бассейна.

➤ Атмосферные осадки P определяются по данным их измерений наиболее распространенными на сети станций и постов осадкомерами Третьякова и другими приборами: плювиографами, осадкомерами ГГИ-3000 и ГГИ-500, суммарными осадкомерами.

➤ Осадки, измеренные осадкомерами Третьякова P_o , исправляются путем введения трех поправок:

$$P = P_o + \Delta P_{смач.} + \Delta P_{вет.} + \Delta P_{исп.}$$

P_o – осадки, измеренные осадкометром Третьякова;

$\Delta P_{смач.}$ – поправка на смачивание осадкомерного ведра;

$\Delta P_{вет.}$ – поправка на недоучет осадков под влиянием ветра;

$\Delta P_{исп.}$ – поправка на потери на испарение.

16. Оценка суммарного испарения в уравнении водного баланса для речного бассейна.

➤ Существуют различные методы и приборы для измерения испарения (лизиметры, испарители и т. д.) и расчета испарения.

➤ В большинстве случаев имеющейся информации бывает недостаточно для надежной оценки испарения с участков каждого вида ландшафта, поэтому оно определяется расчетным путем в целом для всего речного водосбора.

➤ При расчетах суммарного испарения за короткие интервалы времени (месяц, декада, сутки) могут быть использованы методы водного и теплового баланса, турбулентной диффузии (аэродинамический), обобщенный комбинированный метод (на основе уравнения теплового баланса и уравнений турбулентного переноса тепла и влаги) и др.

➤ В практике составления текущих водных балансов речных водосборов наибольшее распространение получили расчетные методы.

➤ В соответствии с методом Константинова, месячные и декадные значения испарения с поверхности суши определяются по формуле

$$E_{с. соб.} = E'_{с. соб.} n$$

$E'_{с. соб.}$ – средняя суточная интенсивность испарения в данном расчетном периоде - декаде, месяце, мм / сут;

n – количество суток в расчетном периоде (декада, месяц).

Величина $E'_{с. соб.}$ определяется по таблицам в зависимости от исправленных значений температуры T и абсолютной влажности воздуха – e .

17. Оценка запасов воды в снеге, наледях, ледниках и снежниках.

➤ Учет изменений запасов воды в наледях, ледниках и снежниках $\Delta S_{нал..ледн.}$ производится обычно лишь при специальных исследованиях, а оценка изменений запасов воды в сезонном снежном покрове $\Delta S_{сн.}$ производится при расчетах всех видов водных балансов речных бассейнов.

- На станциях и постах в зимне-весенний период проводятся маршрутно-ландшафтные снегомерные съемки на заранее выбранных постоянных лесных и полевых маршрутах, а также в овражно-балочной сети.

- Эти измерения позволяют оценить запасы воды в снежном покрове (и ледяной корке) на перечисленных видах ландшафта в дни измерений и рассчитать их изменения за месяц или сезон.

- Средние по площади значения снегозапасов и их изменений для однородных в физико-географическом отношении речных водосборов или их частей определяются методом среднего взвешенного с учетом различия в снегозапасах на разных видах ландшафта и занимаемых ими площадей.

18. Оценка запасов воды в озерах, водохранилищах и прудах.

- Запасы воды в озерах $\Delta S_{\text{оз}}$, водохранилищах $\Delta S_{\text{водхр.}}$ и прудах $\Delta S_{\text{пр.}}$ оцениваются по данным уровенных наблюдений и кривым зависимости объемов воды V от уровня $V = f(h)$.

- Изменение запаса воды в водоеме оценивается по разности объемов в конце и начале расчетного периода.

- В целом для речного водосбора изменение запасов воды вычисляется как сумма изменений объемов воды во всех учитываемых озерах и водохранилищах.

- Для неизученных озер, водохранилищ и прудов расчеты могут производиться приближенно на основании данных изученных водоемов, принимаемых в качестве аналогов.

19. Оценка запасов воды в русловой сети.

- Изменения запасов воды в русловой сети $\Delta S_{\text{русл}}$ учитываются лишь для периодов подъема и спада половодья.

- Объем воды в русловой сети подсчитывается отдельно в зависимости от величины реки.

- Объемы воды в русловой сети **больших рек** в общем случае рассчитываются как произведение среднего на расчетном участке расхода воды на среднее время добегания.

- Оценка запасов воды **в средней и мелкой русловой сети** производится суммарно по эмпирической формуле Р. А. Нежиховского по данным о значении среднего модуля стока в бассейне, среднему значению скорости течения и ряду эмпирических параметров.

- Изменение общего запаса воды в русловой сети за расчетный период определяется по разности его значений на конец и начало периода.

- Учет запасов воды в микропонижениях на поверхности водосбора при расчетах текущих водных балансов не производится, за исключением случаев, когда это необходимо для специальных исследовательских целей.

20. Оценка запасов воды в почвогрунтах зоны аэрации речного бассейна.

- Запасы воды в почвогрунтах зоны аэрации ΔM определяется по данным наблюдений за влажностью верхнего метрового слоя почвогрунтов на агрометеорологических станциях, а также на воднобалансовых станциях и пунктах опорной и массовой агроводнобалансовой сети.

- Запасы влаги в зоне аэрации ниже верхнего метрового слоя почвогрунтов обычно не измеряются.

- Влажность почвы на агрометеорологических станциях измеряется на участках, занятых под определенными сельскохозяйственными культурами.

➤ При составлении текущих водных балансов среднее взвешенное значение влагозапасов и их изменений определяется с учетом различия во влажности почвогрунтов только для леса, луга и сельскохозяйственных угодий (как среднее арифметическое из данных для всех полей).

21. Оценка запасов подземных вод речного бассейна.

➤ Изменения запасов подземных вод ΔG определяются по данным уроченных наблюдений h в гидрогеологических скважинах и значениям коэффициентов водоотдачи μ_1 или коэффициентов недостатка насыщения μ_2 .

➤ Для однородных частей водосбора эти изменения при понижении уровня грунтовых вод рассчитываются по формуле

$$\Delta G = \mu_1 \Delta h$$

➤ При повышении уровня подземных вод - по формуле

$$\Delta G = \mu_2 \Delta h$$

➤ В практике воднобалансовых расчетов обычно используются предельные значения указанных коэффициентов $\mu = \mu_1 = \mu_2 = \text{const}$, которые приближенно принимаются равными разности полной и наименьшей влагоемкости почвогрунтов.

➤ Предельные значения коэффициентов водоотдачи (или недостатка насыщения) для основных видов грунтов приводятся в справочниках.

22. Невязка водного баланса для речного бассейна.

➤ Остаточный член **детального** уравнения водного баланса η включает такие неучтенные элементы баланса, как:

- «горизонтальные» осадки;
- изменение запасов воды в биомассе;
- в микропонижениях на поверхности водосбора;
- в почвогрунтах зоны аэрации ниже верхнего метрового слоя и т. д.;
- а также погрешности при определении элементов баланса.

➤ Величина η различна для речных бассейнов разных природных зон, неодинаковых по размерам, степени и надежности гидрометеорологической и гидрогеологической информации;

➤ Значения η для одного и того же речного бассейна неодинаковы для разных месяцев, сезонов и лет; с увеличением расчетного интервала, времени они, как правило, уменьшаются.

23. Выпишите водный баланс водохранилища и охарактеризуйте его элементы.

➤ Водные балансы водохранилищ составляются за декадный, месячный и годовой интервалы времени и имеют вид:

$$\Delta S_{\text{сн.}} \pm \eta, \quad Q_{\text{п.}} + Q_{\text{п. подз.}} + Q_{\text{сбр.}} + P - (Q_{\text{о.}} + Q_{\text{гр.}} + Q_{\text{заб.}} + E_{\text{вдхр.}}) = \Delta S_{\text{вдхр.}} + \Delta S_{\text{русл.}} + \Delta G +$$

$Q_{\text{п.}}$ – приток в водохранилище поверхностных (речных) вод;

$Q_{\text{п. подз.}}$ – приток подземных вод, не дренируемых реками;

$Q_{\text{сбр}}$ – возвратные (сбросные) воды, т. е. воды, непосредственно поступающие в водохранилище (минуя реки, сток которых учитывается элементом $Q_{\text{п}}$) после использования на орошение земель, водоснабжение населенных пунктов и т. д.;

P - осадки, выпадающие на зеркало водохранилища;

$Q_{\text{о}}$ - воды из водохранилища через сооружения замыкающего гидроузла (турбины, водосливные отверстия, шлюзы, рыбоходы, бревноспуски, ледосбросы, а также потери воды на утечку и фильтрацию через эти сооружения);

$Q_{\text{гр.}}$ - отток воды подземным путем (фильтрация) через борта и ложе водохранилища в нижний бьеф ГЭС (в обход сооружений замыкающего гидроузла);

$Q_{\text{заб}}$ – забор воды из водохранилища на орошение, водоснабжение и т. д.;

$E_{\text{вдхр.}}$ - испарение с зеркала водохранилища;

$\Delta S_{\text{вдхр.}}$ – изменение запаса воды в чаше водохранилища за расчетный интервал времени;

$\Delta S_{\text{русл.}}$ – изменение запаса воды в устьевой части русел основных впадающих в водохранилище рек (в зоне влияния подпора ниже замыкающих гидрометрических створов);

ΔG - водообмен с грунтами ложа и берегов водохранилища;

$\Delta S_{\text{сн.}}$ - изменение запаса воды в водохранилище за счет оседания на берегах зимой (при сработке) и всплывания весной (при наполнении водохранилища) льда и покрывающего его снега;

η - невязка водного баланса.

24. Выпишите водный баланс озер и охарактеризуйте его элементы.

➤ Уравнение водного баланса проточных озер имеет вид:

$$Q_{\text{п}} + Q_{\text{п. подз.}} + Q_{\text{заб.}} + P - (Q_{\text{о}} + Q_{\text{гр.}} + Q_{\text{сбр.}} + E_{\text{оз.}}) = \Delta S_{\text{оз.}} + \Delta G \pm \eta$$

➤ В отличие от уравнения водного баланса для водохранилища в этом уравнении отсутствуют составляющие $\Delta S_{\text{русл.}}$ и $\Delta S_{\text{сн.}}$, значения которых для озер весьма малы;

$Q_{\text{о}}$ - характеризует отток из озера поверхностных (речных) вод;

$Q_{\text{гр.}}$ – отток подземных вод за пределы бассейна озера.

Остальные обозначения - прежние (с той лишь разницей, что относятся к озеру, а не к водохранилищу).

➤ Уравнение водного баланса бессточных озер отличается от общего уравнения водного баланса для озер лишь отсутствием элемента $Q_{\text{о}}$ (поверхностного стока из озера) и имеет вид:

$$Q_{\text{п}} + Q_{\text{п. подз.}} + Q_{\text{заб.}} + P - (Q_{\text{гр.}} + Q_{\text{сбр.}} + E_{\text{оз.}}) = \Delta S_{\text{оз.}} + \Delta G \pm \eta$$

25. Выпишите уравнение общего водного баланса мелиорируемых земель и охарактеризуйте его элементы.

➤ Уравнение общего водного баланса составляется для слоя почвы от поверхности до первого водоупора:

$$\begin{aligned}
 & P + Q_{п. ор.} + I_{м. кан.} + I_{х. кан.} + Q_{п. пов.} + Q_{п. гр.} + Q_{п. почв.} - Q_{о. пов.} - Q_{о. гр.} - Q_{о. почв.} - E - \\
 & E_{кан.} - E_{д.} - Q_{сбр.} = \Delta S + Q_{вд.} \pm \eta \\
 & P + Q_{п. пов.} + Q_{п. гр.} + Q_{п. почв.} - Q_{о. пов.} - Q_{др.} - Q_{о. гр.} - Q_{о. почв.} - E - E_{кан.} - E_{д.} = \\
 & \Delta S + Q_{вд.} \pm \eta \\
 & \text{где } \Delta S = \Delta S_{подз.} + \Delta S_{пов.} \\
 & \Delta S_{подз.} = \Delta M + \Delta G
 \end{aligned}$$

$$\Delta S_{пов.} = \Delta S_{сн.} + \Delta S_{пон.} + \Delta S_{бол.} + \Delta S_{пр.}$$

Уравнения выше, а также приводимые ниже уравнения справедливы для сельскохозяйственного поля, массива и мелиорируемой системы.

P - атмосферные осадки, выпадающие на расчетную площадь

$Q_{п. ор.}, Q_{сбр.}$ - подача и сброс оросительных вод *поверхностным* путем

$I_{м. кан.}, I_{х. кан.}$ - фильтрационные потери из магистральных и хозяйственных каналов, поступающие в виде дополнительного увлажнения на изучаемый массив

$Q_{п. пов.}, Q_{п. гр.}, Q_{п. почв.}$ - приток поверхностных, грунтовых и внутрипочвенных вод;

$Q_{о. пов.}, Q_{о. гр.}, Q_{о. почв.}$ - сток (отток) поверхностных, грунтовых и внутрипочвенных вод. Отток грунтовых вод рассчитывается в слое от водоупора до глубины заложения дрен. Для речных мелиорируемых водосборов, где поверхностный и подземный водоразделы совпадают, элементами $Q_{п. пов.}, Q_{п. гр.}$ и $Q_{п. почв.}$ можно пренебречь;

E - суммарное испарение, включающее в себя физическое (непродуктивное) испарение с почвы и продуктивное испарение - транспирацию влаги растениями. Последнее, как правило, определяется путем вычитания непродуктивного испарения из суммарного;

$E_{кан.}, E_{д.}$ - испарение с водной поверхности каналов и с поверхности капель при орошении дождеванием. Пренебрегать членом $E_{д.}$ при широком использовании этого способа полива нельзя, поскольку потери слоя дождя на испарение в зависимости от температуры, влажности воздуха и скорости ветра могут колебаться от 10 до 25-30 % водоподдачи;

$Q_{др.}$ - сток грунтовых вод по дренам, сформировавшийся за счет инфильтрационного питания их атмосферными осадками;

ΔS - разность между суммами приходных и расходных элементов уравнения водного баланса, характеризующая собой изменение (аккумуляцию или сработку) запасов влаги;

ΔM - запасы влаги в зоне аэрации;

ΔG - запасы влаги в грунтовых водах;

$\Delta S_{сн.}$ - запасы влаги в снеге;

$\Delta S_{пон.}$ - запасы влаги в понижениях;

$\Delta S_{бол.}$ - запасы влаги на переувлажненных и заболоченных участках;

$\Delta S_{пр.}$ - запасы влаги в прудах и водохранилищах;

$Q_{вд.}$ - водообмен верхнего водоносного слоя с нижележащими;

η - невязка водного баланса, включающая неучтенные элементы баланса и погрешности измерения перечисленных составляющих. К числу неучтенных эле-

ментов могут быть отнесены, например, изменение слоя затопления на рисовых чеках, откачка из скважин вертикального дренажа и т. д.;

ΔM , $\Delta S_{сн.}$, $\Delta S_{пов.}$, $\Delta S_{бол.}$, $\Delta S_{пон.}$ – изменения влагозапасов, которые вычисляются по разности их значений на конец и начало выбранного расчетного интервала времени;

$\Delta G = \mu \Delta h$ – изменения запасов грунтовых вод,

где μ – коэффициент водоотдачи (при опускании уровня) или насыщения (при его подъеме), имеющий также более общее название – коэффициент гравитационной емкости пласта;

Δh – разность уровней грунтовых вод предыдущего $h_{нач}$ и последующего $h_{кон}$ измерений.

26. Выпишите уравнение водного баланса зоны аэрации мелиорируемых земель и охарактеризуйте его элементы.

➤ **Зона аэрации** – верхняя зона земной оболочки, между дневной поверхностью и поверхностью грунтовых вод.

➤ Уравнение водного баланса зоны аэрации имеет вид:

$$P + Q_{п. ор.} + I_{м. кан.} + I_{х. кан.} + Q_{п. пов.} + Q_{п. почв.} + Q_{восх. гр.} - Q_{о. пов.} - Q_{о. почв.} - E_{кан.} - E_{д.} - I_{гр.} - Q_{сбр.} = \Delta M + \Delta S_{пон} + \Delta S_{сн} + \Delta S_{бол} + \Delta S_{пр} \pm \eta$$

$Q_{восх. гр.}$ – расход грунтовых вод в зону аэрации или капиллярное подпитывание зоны аэрации (в литературе существует не вполне строгий синоним этого понятия — испарение с поверхности грунтовых вод);

$I_{гр.}$ – пополнение запасов грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков и поливных вод (инфильтрационное питание грунтовых вод).

Элементы $Q_{восх. гр.}$ и $I_{гр.}$ характеризуют вертикальный влагообмен в зоне аэрации.

Остальные обозначения прежние (см. эссе 25).

27. Охарактеризуйте подачу и сброс поверхностных вод мелиорируемых земель.

➤ **Объекты измерения стока** – реки (как источник орошения и водоприемник), оросительные каналы (магистральные, междоусобные, внутрихозяйственные, временные), коллекторы, и т. д.

➤ Учитывается как поверхностный, так и коллекторно-дренажный сток с мелиорированных сельскохозяйственных полей, массивов и естественных угодий.

➤ Сток коллекторно-дренажных вод учитывается на замыкающем и на транзитных створах.

➤ Средства измерения стока назначаются в зависимости от расхода и режима водотока, способа и техники полива или осушения. Могут применяться дистанционные устройства ГР-70, тонкостенные водосливы.

➤ Объем воды, поданной дождевальными машинами, может учитываться гидрометрическим путем.

28. Опишите понятия поливной и оросительной норм.

➤ Поливная норма – объем воды, израсходованный на один полив и отнесенный к поливаемой площади.

- Поливная норма для круга вычисляется как среднее арифметическое из всех расчетных значений (по радиусу круга).
- Оросительная норма - сумма поливных норм за период вегетации.
- Для зерновых культур поливная норма может колебаться в пределах от 2 до 4 тыс. м³ / га, кормовых и технических 6 - 10 тыс. м³ / га, риса 20—40 тыс. м³ / га.
- На орошаемых полях и массивах Центральной Азии, подверженных засолению, в невегетационный период проводятся периодические промывки зоны аэрации. Нормы промывки достигают 10 тыс. м³ / га.

29. Оценка стока с сельскохозяйственных полей.

- При отсутствии измерений весенний и дождевой сток с орошаемых полей и массивов определяется расчетным методом по формуле:

$$Q_{\text{о. пов.}} = P \left[1 - \left(\frac{dM}{\gamma} \right)^b \right] - \Delta S_{\text{пон}}$$

$Q_{\text{о. пов.}}$ - сток с сельскохозяйственных полей;

P - атмосферные осадки;

dM - дефицит влагозапасов в метровом слое почвы (вычисляется как разность между полной влагоемкостью и фактическими влагозапасами почвы);

γ - параметр, вычисляемый как разность между полной влагоемкостью и максимальной гигроскопичностью почвы;

$\Delta S_{\text{пон}}$ - изменение запасов воды в понижениях микрорельефа (все перечисленные величины выражаются в мм);

b - параметр, равный 1,2 для весеннего стока и 1,1 — для летнего.

Формула применима для вычисления слоя стока за отдельный дождь или паводок; погрешность расчета по ней составляет 20-25 %.

30. Суммарное испарение и вертикальный влагообмен в зоне аэрации мелиорируемых земель.

- Два основных метода измерения суммарного испарения: метод водного баланса изолированных почвенных монолитов и метод теплового баланса.
- Метод теплового баланса, основанный на достаточно строгих физических предпосылках, в настоящее время считается наиболее точным для определения среднего суммарного испарения с сельскохозяйственного поля - средняя квадратическая ошибка расчета его за месячные интервалы составляет около 15-20 %.
- Метод водного баланса изолированных монолитов - лизиметров и испарителей имеет сравнительную простоту устройства и эксплуатации.
- На сети рекомендуется использовать лизиметры марки ГР-80 с уровнем грунтовых вод 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 м и площадью испаряющей поверхности 0,2 м², изготавливаемые в комплекте, гидравлические испарители ГР-17, испарители ГГИ-50-50 и ГГИ-500-100.

Перечень вопросов к зачету:

1. Баланс круговорота воды на Земле. Уравнение Э.А. Брикнера.
2. Общий метод водного баланса, его практическое и научное значение.
3. Общий вид уравнения водного баланса.

4. Практическое применение общего вида уравнения водного баланса.
5. Преобразование водного баланса под влиянием антропогенной деятельности.
6. Основные элементы приходной части водного баланса.
7. Основные элементы расходной части водного баланса.
9. Методика наблюдения за атмосферными осадками.
10. Перечислите поправки на смачивания для вычисления атмосферных осадков.
11. Организация наблюдений за атмосферными осадками.
12. Организация наблюдений за снежным покровом.
13. Производство снегомерных съемок.
14. С какой целью производятся наблюдения за испарением с почвы?
15. Какие приборы используются для измерения испарения с почвы?
16. С какой целью производятся наблюдения за испарением со снежного покрова?
17. Какие приборы используются для измерения испарения со снежного покрова?
18. С какой целью производятся наблюдения за испарением с водной поверхности?
19. Какие приборы используются для измерения испарения со снежного покрова?
20. Необходимость наблюдений за глубиной промерзания и оттаивания почвогрунтов.
21. Как определяется глубина промерзания почвы?
22. Основные задачи наблюдений за стоком со склонов.
23. Какова цель изучения режима подземных вод?
24. Что включают в себя наблюдения за режимом подземных вод?
25. Уравнение водного баланса водохранилища.
26. Элементы приходной части уравнения водного баланса водохранилища.
27. Элементы расходной части водохранилища.
28. В чем выражаются элементы водного баланса водохранилищ?
29. Что показывает знак «минус» в аккумуляционной составляющей водного баланса водохранилищ?
30. Что показывает знак «плюс» в аккумуляционной составляющей водного баланса водохранилищ?
31. Уравнение водного баланса проточных озер.
32. В чем отличие уравнения водного баланса водохранилищ от проточных озер?
33. Уравнение водного баланса бессточных озер.
34. В чем отличие уравнения водного баланса проточных и бессточных озер?

Технология проведения промежуточной аттестации включает случайный выбор КИМа, подготовку и устный ответ по теоретическим вопросам, а также решение расчетной задачи с использованием вычислительной техники.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с графиком учебного процесса дважды в год.

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие критерии:

- владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами гидрофизики и водно-балансовых исследований),
- способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- применять теоретические знания для решения практических задач в сфере применения гидрофизических знаний.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется следующее соотношение показателей и шкала оценивания результатов обучения:

Зачтено	Освоено содержание учебного материала. Правильно даны определения основных понятий, ответ самостоятельный без помощи преподавателя; допускается не всегда последовательное изложение материала, даются ответы не на все вспомогательные вопросы. Успешное выполнение практических работ.
Не зачтено	Основное содержание учебного материала по дисциплине не раскрыто, допущены грубые ошибки в определении понятий и терминологии, не даны ответы на вспомогательные вопросы. Отсутствие практических работ.