



## Пояснительная записка

Программа кандидатского экзамена по научной специальности **1.6.16 Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия** включает основную и дополнительную программы. Основная программа разрабатывается на основании программы–минимум кандидатского экзамена по научной специальности, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации. Дополнительная программа, разрабатывается индивидуально для каждого экзаменуемого и включает вопросы по научному направлению, по которому подготавливается научно-квалификационная работа (диссертация).

Основная программа кандидатского экзамена составлена на основании следующих документов:

– Федеральный закон РФ от 29.12 2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

– Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;

– Постановление Правительства РФ от 30 ноября 2021 г. № 2122 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»

– Положение о кандидатских экзаменах (принято Ученым советом КарНЦ РАН 25.05.2018, протокол № 7).

В основу настоящей программы положены следующие разделы: общая гидрология, гидрология рек, озераведение, русловые процессы, речной сток и гидрологические расчеты, гидрохимия и контроль качества воды, использование и охрана водных ресурсов, гидрологические прогнозы.

Составители программы:

С.Р. Богданов Ведущий научный сотрудник, профессор, д.ф.-м.н.

Н.А. Белкина Ведущий научный сотрудник, д.г.н.

А.Ю. Тержевик Ведущий научный сотрудник, к.т.н.

Н.И. Пальшин Старший научный сотрудник, к.г.н.

Р.Э. Здоровеннов Старший научный сотрудник, к.г.н.

Г.Э. Здоровеннова Старший научный сотрудник, к.г.н.

Т.В. Ефремова Старший научный сотрудник, к.г.н.

## **1. Основы гидрологии суши**

Предмет гидрологии. Разделы гидрологии. Понятие о гидросфере. Круговорот воды на земном шаре. Влагооборот и баланс влаги в атмосфере. Основные черты и показатели водного баланса континентов. Ежегодно возобновляемые природные воды и их значение в хозяйственной деятельности человека. Водные ресурсы. Водообеспеченность территории России в целом и наиболее крупных экономических регионов. Современное водопотребление и его возможное изменение в ближайшей перспективе. Регулирование речного стока путем строительства водохранилищ. Проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов. Методы и организация гидрологических наблюдений и исследований. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Роскомгидромет), ее структура и роль в гидрологическом обеспечении различных отраслей народного хозяйства.

## **2. Основные физические свойства воды, снега и льда**

Вода, как вещество, ее молекулярная структура и изотопный состав. Физические свойства воды. Плотность воды и ее аномалии. Теплоемкость. Теплопроводность. Тепловое расширение. Вязкость и внутреннее трение. Агрегатные состояния воды и фазовые переходы. Физико-механические свойства льда. Физические свойства снега. Оптические свойства снежного и ледяного покровов.

## **3. Река и ее бассейн**

Речная долина и ее элементы. Речное русло и его морфометрические характеристики. Структура и густота речной сети. Понятие о режимах движения жидкости. Движение воды в реках. Турбулентность русловых потоков. Число Рейнольдса. Число Фруда. Зависимость скорости течения от уклона и шероховатости русла. Связь расходов и уровней воды (кривые расхода). Изменение гидравлических элементов руслового потока в зависимости от уровня воды. Понятие об установившемся и неустановившемся движении воды. Кривые подпора и спада, способы их построения. Теория движения паводочной волны. Уравнения Сен-Венана. Способы приближенного расчета движения паводка по руслу. Питание рек: дождевое, снеговое, подземное, ледниковое. Фазы водного режима. Половодье. Паводки. Межень. Осадки, как фактор формирования речного стока. Способы и точность измерения осадков. Снежный покров и его основные характеристики. Снегомерные съемки. Запас воды в снежном покрове на территории России. Интенсивность снеготаяния и способы ее расчета. Водоотдача снежного покрова. Методы определения запасов воды в снежном покрове. Самолетная

гамма-съемка снежного покрова. Ледники как источник питания рек талыми водами. Испарение с водной поверхности, способы измерения и расчета. Испарение снега. Испарение с почвы. Транспирация растительного покрова. Суммарное испарение с поверхности бассейна и способы его расчета; средняя многолетняя величина суммарного испарения на территории России. Применение методов теплового баланса и турбулентной диффузии для расчета испарения. Инфильтрация дождевой воды в почву. Эмпирические формулы для расчета скорости инфильтрации. Инфильтрация талой воды в мерзлую почву; роль льдистости и температуры почвы. Потери воды на инфильтрацию при формировании дождевых паводков и снегового половодья. Задержание воды на поверхности бассейна в бессточных углублениях и его роль в формировании паводков. Вода в почво-грунтах и ее движение. Влажность и влагоемкость почвы. Залегание подземных вод. Воды зоны аэрации и насыщения, грунтовые и артезианские воды. Подземное питание рек. Взаимосвязь рек и подземных вод. Закономерности движения подземных вод. Закон Дарси. Факторы и типы подземного питания рек; способы его определения. Основные черты и показатели подземного питания рек России; соотношение поверхностного и подземного стока в различных географических районах страны в разные сезоны года. Классификации рек по источникам питания и водному режиму. Гидрологическое районирование территории России.

#### **4. Водный баланс речного бассейна и реки**

Уравнение водного баланса бассейна за многолетний период, гидрологический год, сезон и за периоды паводка и половодья. Уравнение водного баланса речной системы и участка реки. Руслевые запасы воды и способы их расчета. Кривые истощения руслевых запасов воды. Изменения водного баланса бассейна, вызываемые лесом, болотами, и хозяйственной деятельностью человека. Методы количественной оценки влияния хозяйственной деятельности на элементы водного баланса.

#### **5. Речной сток; методы его расчетов и прогнозов**

Методы исследований речного стока. Цикличность в многолетних колебаниях годового стока и их причины. Средний многолетний годовой сток (норма стока). Методы и точность его определения при наличии данных гидрометрических наблюдений за стоком. Метод географической интерполяции характеристик стока. Карты нормы стока. Влияние зональности и высотной поясности физико-географических факторов на распределение нормы стока; азональные факторы стока и их учет при определении нормы стока. Применение теории вероятностей к анализу многолетних колебаний годового стока и к расчетам его величины различной обеспеченности.

Используемые в этих расчетах типы кривых распределений, параметры кривых и точность их определения. Формулы для вычисления коэффициента вариации годового стока при отсутствии данных наблюдений о расходах воды. Внутригодовое распределение стока. Зависимость его от климатических факторов и аккумуляции воды в бассейне реки. Основные черты сезонного распределения стока на территории России. Влияние леса, болот, озер и многолетней мерзлоты почво-грунтов. Методы прогнозов месячного и квартального стока рек по данным о запасах и распределении воды в русловой сети бассейна, а также и притоке воды в нее. Весеннее половодье на равнинных реках и его факторы. Потери талой воды за время снеготаяния на инфильтрацию, испарение и поверхностное задержание. Основные характеристики весеннего половодья на равнинных реках России. Влияние леса на половодье. Методы расчета максимального расхода воды половодья при наличии и отсутствии данных наблюдений за стоком. Проектирование расчетных гидрографов реки за период половодья при наличии и отсутствии многолетних наблюдений за стоком. Весенне-летнее половодье на горных реках. Расчет распределения и таяния снега по высотным зонам. Ледники и их роль в формировании половодья. Основные характеристики весенне-летнего половодья на горных реках. Долгосрочные прогнозы стока за период весеннего и весенне-летнего половодья равнинных и горных рек. Прогноз притока воды в водохранилища крупных ГЭС. Дождевые паводки. Связь между продолжительностью, интенсивностью и повторяемостью ливней; связь между интенсивностью и площадью выпадения ливня. Способы расчета интенсивности ливней различной вероятности превышения. Способы расчета потерь дождевых вод за время формирования паводка. Современные методы математического моделирования процессов формирования речного стока. Концептуальные модели формирования стока на водосборе с сосредоточенными параметрами. Физико-математические модели формирования стока на водосборе с распределенными параметрами. Уравнения стекания воды по руслу и их численное решение. Уравнения влаго- и теплопереноса в зоне аэрации и их численное решение. Численное моделирование формирования снежного покрова и снеготаяния. Краткосрочные прогнозы гидрографов дождевых паводков и половодий на основе математических моделей формирования стока. Меженный и минимальный сток и его факторы. Методы расчета стока рек в маловодный период года при наличии и отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Пересыхание и перемерзание рек. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Статистический и балансовые методы его оценки. Метод учетного руслового баланса.

## **6. Речные наносы и русловые процессы**

Склоновая и русловая эрозия. Образование и состав наносов, механизм взвешивания наносов. Гидравлическая крупность наносов. Теории движения взвешенных наносов; закономерность распределения наносов в речном потоке. Транспортирующая способность потока. Влекомые наносы и механизм их движения. Методы измерения наносов на гидрологических станциях. Расход и сток взвешенных наносов и способы их определения. Изменения стока наносов от года к году и от сезона к сезону. Сток наносов в периоды паводков и половодья. Карта мутности рек России. Расход влекомых наносов, движение песчаных гряд. Влияние хозяйственной деятельности на сток наносов. Расчет занесения и заиления водохранилищ. Сели. Условия их возникновения и районы наибольшего распространения. Русловой процесс. Гидравлический и геоморфологический подходы к его изучению. Макро-, мезо- и микроформы транспорта наносов и речного русла. Типизация русловых процессов. Понятие о знакопеременных (обратимых) и направленных (необратимых) русловых деформациях. Русла прямолинейные, извилистые, разветвленные на рукава. Плесы и перекаты. Сезонные деформации перекатов. Пойма и ее гидравлические характеристики; типизация пойм. Влияние на русловой процесс естественных и антропогенных изменений стока воды и наносов, изменение общего базиса эрозии. Количественные характеристики руслового процесса разных типов. Гидролого-морфометрические зависимости; способы расчета русловых деформаций. Учет руслового процесса при строительном проектировании. Устойчивость русла и ее количественные показатели. Устьевые области рек. Особенности водного и руслового режима устьев рек. Смешение речных и морских вод, процессы дельтообразования.

## **7. Термика и ледовый режим рек**

Термика рек. Основные черты термического режима рек России и его связь с климатом и источниками питания рек. Уравнение теплового баланса участка реки; основные составляющие баланса и способы их расчета. Термические условия появления плавучего льда. Образование внутриводного льда, шуги. Процесс установления ледостава. Нарастание ледяного покрова. Методика расчета толщины льда. Снежный лед. Наледи. Внутриводный лед, зажоры. Процессы таяния, разрушения ледяного покрова на реках, тепловой и механический факторы вскрытия рек. Ледоход. Особенности вскрытия больших рек, текущих с юга на север и с севера на юг. Затопы льда. Краткосрочные прогнозы ледовых явлений на реках. Долгосрочные прогнозы сроков замерзания и вскрытия рек.

## **8. Озера и водохранилища**

Происхождение и форма озерных котловин. Крупнейшие сточные и бессточные озера мира. Типы формы ложа водохранилищ, их полезный и полный объем. Основные морфометрические характеристики водоемов и методы их определения. Батиграфические кривые озер и водохранилищ. Уравнение водного баланса водоема за многолетний период, год, месяц. Основные составляющие этого баланса и способы его расчета. Роль величины удельного водосбора и гидроклиматических условий в формировании структуры среднего годового водного баланса водоемов, их воднобалансовая классификация. Водообмен водоемов. Многолетние и сезонные колебания уровня воды в озерах. Особенности его колебаний в водохранилищах различного назначения и типа регулирования стока. Уравнение теплового баланса водоема, основные его составляющие и способы их расчета. Термический режим озер в условиях умеренного климата. Стратификация. Слои скачка, его колебания и устойчивость. Конвективное перемешивание водной толщи, упорядоченное перемешивание озер. Замерзание озер и водохранилищ. Таяние ледяного покрова, дрейф и разрушение льда. Течения в озерах и водохранилищах – градиентные и ветровые. Колебания водной поверхности и циркуляция воды при сгонах и нагонах. Сейши. Понятие о теории волн зыби, ветровое волнение и факторы, определяющие параметры ветровых волн на водоемах. Динамическое перемешивание воды в водоемах. Оптические свойства воды в водоемах и ослабление ее освещенности с глубиной. Прозрачность, цвет и мутность воды. Баланс взвешенных веществ. Формирование донных отложений и их классификация. Формирование берегов и заиление водохранилищ. Понятие о водных массах озер и водохранилищ. Круговорот биогенных и органических веществ в водоемах и роль в нем водных организмов. Газовый режим озер и водохранилищ. Особенности термического и газового режима озер с соленой водой, их донные отложения. Влияние озер, водохранилищ и прудов на водный, тепловой, химический сток рек, сток наносов и природные условия побережий. Воздействие хозяйственной деятельности на гидрологический и химический режим озер и водохранилищ.

## **9. Гидрология болот**

Образование болот и заболоченность территорий. Развитие болот, понятие о болотном массиве. Строение торфяных болот, их типы. Физические свойства торфа. Водный баланс болот, их тепловой и водный режим. Влияние болот и их осушения на речной сток.

## **10. Гидрохимия поверхностных вод и контроль качества воды**

Химический состав природных вод. Характеристика компонентов состава природных вод: растворенные газы, ионы водорода, главные ионы, органические вещества, биогенные элементы, микроэлементы. Основные факторы формирования химического состава природных вод. Классификация поверхностных вод по минерализации и химическому составу. Способы графического изображения химического состава воды. Гидрохимия местного стока. Гидрохимия рек. Пространственно-временная неоднородность химического состава речных вод. Классификация рек по типам гидрохимического режима О.А. Алекина.

## **11. Сток растворенных веществ и методы его расчета**

Химический состав воды озер и водохранилищ, баланс растворенных веществ. Особенности гидрохимии минеральных озер. Особенности формирования химического состава подземных вод. Загрязнение водотоков и водоемов. Источники и возможные пути поступления загрязнения в водные объекты. Группы загрязняющих веществ (ЗВ) и их показатели. Классификация ЗВ по виду воздействия на водную экосистему. Характеристика наиболее опасных ЗВ. Антропогенное евтрофирование водных объектов. Химический состав сточных вод, образующихся от различных видов хозяйственной деятельности. Трансформация загрязняющих веществ в водоемах и водотоках. Моделирование самоочищения и кислородного режима водотоков. Имитационное моделирование круговорота веществ и биологической продуктивности водоемов. Гидрохимические исследования на водных объектах. Методы и организация гидрохимических наблюдений и исследований. Стационарные, специальные и экспедиционные наблюдения. Основные принципы размещения пунктов наблюдения за качеством воды на сети ОГСНК. Программа и сроки наблюдений. Методы химического анализа природных вод.

## **12. Рациональное использование и охрана водных ресурсов**

Водное законодательство России. Основные положения водного кодекса РФ. Использование водных ресурсов в народном хозяйстве. Потребности в количестве и качестве воды отдельных отраслей. Государственный учет вод и водный кадастр. Организация системы статистической отчетности в России по водопотреблению и водоотведению. Методические основы расчета водохозяйственных балансов. Критерии и стандарты качества воды. Нормирование качества воды для питьевого и рыбохозяйственного использования. Методы, применяемые при оценке качества воды



(классификации, индексы, интегральные показатели). Управление качеством воды. Очистка природных и сточных вод.

### Список литературы основной

1. Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии / под ред. А. Б. Китаева. - Пермь : Изд-во ПГНИУ, 2016.
2. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. Под ред. Лозовика П.А., Ефременко Н.А. СПб.: Нестор-История. 2017. 272 с.
3. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб.: РГГМУ, 2016. 342 с.
4. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. — М. : Географ. ф-т МГУ, 2012. — 163 с
5. Богословский Б.Б. Озероведение. М., 1960. 335 с.
6. Бураков, Д.А. Основы метеорологии, климатологии и гидрологии/ Д.А. Бураков. Красноярск: Изд-во Красноярского гос. аграрного университета, 2011.-278 с.
7. Винников С.Д. Викторова Н.В. Физика вод суши. – Санкт-Петербург, 2009.
8. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Б. Виноградов, Т.А. Виноградова. М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с.
9. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья / под ред. К. К. Эдельштейна. - М. : Перо, 2015.
10. Глинка Н.Л. Общая химия. Л.: Химия, 1983. 702 с.
11. Дмитриев В.В. Прикладная экология / В.В. Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н. Ласточкин. – М.: Академия, 2008. – 608 с.
12. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс). – СПб.: РГГМУ, 2012. – 524 с.
13. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. Курс лекций / В.М. Евстигнеев, Д.В. Магрицкий. - М.: Триумф, 2018. - 272 с.
14. Зилов Е. А. Гидробиология и водная экология: (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем): учебное пособие / Е. А. Зилов ; Иркутский государственный университет, Научно-исследовательский институт биологии. - Иркутск: Издательство Иркутского государственного университета, 2009. - 147 с.
15. Кирюхин В. А. Прикладная гидрогеохимия: учебное пособие. Санкт-Петербург: 2011. - 230 с.
16. Михайлов, В. Н. Гидрология: учебник для вузов / В. Н. Михайлов, С. А. Добролюбов. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 752 с.

17. Никаноров А.М. Гидрохимия и методы исследования качества вод суши. Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, 2017. 572 с.
18. Фролова Н.Л. Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока. Учебное пособие. Москва: ООО "Издательство ЮРАЙТ", 2022. 115 с. ISBN: 978-5-534-07353-9
19. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение) : учебное пособие / Р.С. Чалов. — М. : ИНФРА-М, 2016. — 565 с.
20. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М. : Крона. 2009. 684 с.
21. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ. Учебник для вузов / Москва, «Перо», 2014, 399 с.
22. Эдельштейн К.К. Гидрология материков. Учебное пособие / Москва, ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2022. 293 с.
23. Эдельштейн К.К. Лимнология. Учебное пособие / Москва, ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2021. 386 с. ISBN: 978-5-534-08246-3

#### **Дополнительная литература:**

1. Гидрология озер и водохранилищ: терминологический словарь / Т. Г. Флерко, З. Г. Валова, А. И. Павловский; М-во образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 44 с.
2. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.
3. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю.В., Афонин В.В., Желудкова С.В. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
4. Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. М.: Наука, 2004. 448 с.
5. Лозовик П.А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 583-593.
6. Маккавеев, Н.И. Русловые процессы / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов. - М., МГУ, 1986.- 264 с.
7. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям № 250-895 от 21.07.1988 г. Гидрометеоиздат, СПб.
8. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

9. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть I. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). Ростов-на-Дону: «НОК», 2009. 200 с.
10. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Часть II. Реки Европейского Севера и Сибири (гидрохимия и гидроэкология). Ростов-на-Дону: «НОК», 2010. 296 с.
11. РД 52.24.637-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 50 с.
12. Чеботарев, А. И. Общая гидрология / А. И. Чеботарев. - М.: Гидрометеоздат, 1975. - 544 с.
13. Шикломанов, И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы/И.А. Шикломанов- Л.: Гидрометеоздат, 1988. - 152 с.
14. Шикломанов И.А., Шикломанов А.И. Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный ледовитый океан. Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 6. С. 645-654.

### **Критерии оценивания**

Результаты кандидатского экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка выставляется по следующим основаниям:

Оценка «отлично» – ответ построен логично, в соответствии с планом, показано максимально глубокое знание универсальных, общепрофессиональных и профессиональных вопросов, терминов, категорий, понятий, гипотез, концепций и теорий, установлены содержательные межпредметные связи, выдвигаемые положения обоснованы, приведены убедительные примеры, обнаружен аналитический и комплексный подход к раскрытию материала, сделаны содержательные выводы, продемонстрировано знание основной и дополнительной литературы, в т.ч. зарубежных источников.

Оценка «хорошо» – ответ построен в соответствии с планом, представлены различные подходы к проблеме, но их обоснование недостаточно полно. Установлены межпредметные связи, выдвигаемые положения обоснованы, однако наблюдается непоследовательность анализа и обобщения информации, ответ недостаточно подкреплён примерами. Выводы правильны, продемонстрировано знание основной и дополнительной литературы, в т.ч. зарубежных источников.

Оценка «удовлетворительно» – ответ построен недостаточно логично, план ответа соблюдается непоследовательно, недостаточно раскрыты профессиональные знания. Выдвигаемые положения декларируются, но недостаточно аргументированы, не

подкреплены примерами. Не обнаружен аналитический и комплексный подход к раскрытию материала, сделаны выводы, продемонстрировано только знание основной литературы.

Оценка «неудовлетворительно» – ответ построен не логично, план ответа соблюдается непоследовательно, не раскрыты профессиональные знания и умения. Научное обоснование вопросов подменено рассуждениями дилетантского характера. Ответ содержит ряд серьезных неточностей и грубых ошибок. Не обнаружен аналитический и комплексный подход к раскрытию материала, сделанные выводы поверхностны или неверны, не продемонстрировано знание основной и дополнительной литературы.