
**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)

РЕКОМЕНДАЦИИ

**Р
52.08.930 –
2023**

**ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ МЕТОДАМИ ИОННОГО
ПАВОДКА И ПОСТОЯННОГО ПУСКА СОЛЕВОГО РАСТВОРА**

Санкт-Петербург

ФГБУ «ГГИ»

2023

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ С.В. Бузмаков (руководитель разработки, ответственный исполнитель); Г.В. Рымша, канд. техн. наук; А.В. Юхно; А.С. Лубенцов; А.А. Кулешов; А.Д. Пнюшков

3 СОГЛАСОВАНЫ:

- с Управлением государственной наблюдательной сети и научных исследований (УГСН) Росгидромета 26.12.23;

- с Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун») 25.12.2023

4 ОДОБРЕНЫ решением методической комиссии ФГБУ «ГГИ», протокол от 24.10.2023 № 6

5 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 27.12.2023 № 625

6 ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ головной организацией по стандартизации Росгидромета ФГБУ «НПО «Тайфун» 26.12.2023.

ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ Р 52.08.930–2023

7 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

8 СРОК ПРОВЕРКИ 2028 год

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины, определения, обозначения и сокращения	3
4 Общие положения	10
4.1 Метод ионного паводка	10
4.1.1 Краткое описание метода ионного паводка.....	10
4.1.2 Расчётные уравнения ионного паводка	11
4.2 Метод постоянного пуска солевого раствора	16
4.2.1 Краткое описание метода	16
4.2.2 Расчётные уравнения постоянного пуска раствора.....	17
5 Условия применимости методов	19
6 Экологическая безопасность применения методов.....	21
7 Требования к используемым средствам измерений	21
8 Порядок выполнения измерений	24
8.1 Подготовка оборудования	24
8.2 Требования к выбору участка смешения	25
8.3 Требования к выбору пускового створа	27
8.4 Требования к выбору измерительного створа и установке датчика в поток	28
8.5 Порядок выполнения измерений методом ионного паводка	30
8.6 Порядок выполнения измерений методом постоянного пуска солевого раствора	34
9 Обработка результатов измерений	35
9.1 Расчёт расхода воды	35
9.2 Оценка достоверности расчётного расхода воды	38
10 Применение методов для определения расходов воды на гидрологических постах при возможности производства сравнительных измерений.....	40

Р 52.08.930–2023

11 Применение методов для определения расходов воды на гидрологических постах при невозможности производства сравнительных измерений.....	43
Приложение А (обязательное) Инструкция по производству полевой градуировки для установления объёмного коэффициента пропорциональности	45
Приложение Б (рекомендуемое) Форма журнала контрольной градуировки кондуктометров или солемеров	48
Приложение В (справочное) Минимально необходимый комплект оборудования для измерения расхода воды методом ионного паводка	49
Приложение Г (справочное) Комплект оборудования для применения метода постоянного пуска солевого раствора.....	50
Приложение Д (справочное) Конструкция пусковой ёмкости для измерения расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора.....	51
Приложение Е (справочное) Дополнительный комплект оборудования для производства полевой градуировки..	53
Приложение Ж (обязательное) Формы книжек КГ-13М1 и КГ-13М2 для записи результатов измерения расхода воды	54
Приложение И (справочное) Примеры расчёта расхода воды методом ионного паводка основным и уточнённым алгоритмом	64
Приложение К (справочное) Пример расчёта расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора	70
Приложение Л (обязательное) Форма дополнения к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2 в период сравнительных испытаний	75
Библиография.....	79

Введение

Данные рекомендации разработаны с целью актуализации и дополнения методической основы по измерению расходов воды методом ионного паводка и постоянного пуска солевого раствора, изложенной в нормативах [1] – [5] и международных стандартах ISO 555-1:1973 и ISO 555-2:1987, которые в данный момент отменены и актуализируются.

Настоящие рекомендации разработаны с целью применения в рамках режимных наблюдений на гидрологических постах сети Росгидромета, а также единичных измерений расходов воды в рамках экспедиций, инженерно-гидрометеорологических изысканий и иных видов работ.

По всем вопросам, связанным с применением настоящих рекомендаций, следует обращаться к разработчикам в лабораторию гидрологических приборов Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный гидрологический институт» (199053, г. Санкт-Петербург, В.О., 2-я линия, д. 23, тел. (812) 323-12-05, e-mail: priem@ggi.nw.ru).

РЕКОМЕНДАЦИИ

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ МЕТОДАМИ ИОННОГО ПАВОДКА И ПОСТОЯННОГО ПУСКА СОЛЕВОГО РАСТВОРА

Дата введения – 2024–06–01

Срок действия – до 2029–06–01

1 Область применения

Настоящие рекомендации предлагают порядок измерения расходов воды на малых и средних реках, удовлетворяющих условиям применимости методов, с расходами воды менее 30 м³/с для метода ионного паводка и менее 1 м³/с для метода постоянного пуска солевого раствора.

Настоящие рекомендации предназначены для инженерно-технического персонала подразделений гидрологической сети Росгидромета (отделов гидрологии управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, гидрологических станций, гидрометеорологических обсерваторий, постов) и его лицензиатов, научно-исследовательских учреждений, разработчиков специализированного оборудования для производства работ по измерению расхода воды методом ионного паводка и постоянного пуска солевого раствора.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 8.563–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

РД 52.08.163–88 Дополнение к Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках

Примечание – При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверять действие ссылочных нормативных документов:

- стандартов – в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год;

- нормативных документов Росгидромета – по РД 52.18.5–2012 и ежегодно издаваемому информационному указателю нормативных документов (ИУНД), опубликованному по состоянию на 1 января текущего года.

Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учётом всех внесённых в него изменений. Если заменён ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учёта данного изменения. Если ссылочный документ заменён (изменён), то при пользовании настоящими рекомендациями следует руководствоваться заменённым (изменённым) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 В настоящих рекомендациях применены термины по ГОСТ 19179–73, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **датчик**: Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

3.1.2 **измерительный зонд (автоматизированный комплекс)**: Прибор для измерения показателя среды с функцией автоматической регистрации данных с заданной периодичностью во внутреннюю память и возможностью дистанционной передачи их в центр сбора данных.

3.1.3 **измерительный створ**: Поперечное сечение русла реки, в котором устанавливается датчик для измерения удельной электропроводности воды или концентрации индикатора, находящееся ниже створа полного перемешивания.

3.1.4 **индикатор**: Вещество электролитической природы, вводимое в поток с целью оценки степени его разбавления потоком.

3.1.5 **логгер**: Прибор для измерения параметра среды с функцией автоматической регистрации данных с заданной периодичностью во внутреннюю память без возможности их дистанционной передачи.

3.1.6 **метод ионного паводка**: Определение расхода воды, основанное на мгновенном введении в поток индикатора определённого объёма или массы и измерения степени его разбавления в некоторой точке ниже по течению.

3.1.7 **метод постоянного пуска раствора индикатора**: Определение расхода воды, основанное на вводе индикатора с постоянным расходом истечения из пусковой ёмкости в поток и измерении

степени его разбавления до состояния постоянства концентрации ниже по течению.

3.1.8 минерализация: Суммарный количественный показатель содержания растворенных в воде веществ.

3.1.9 молекулярная диффузия: Перенос молекул индикатора в пространстве потока, обусловленный градиентами температуры и минерализации воды.

3.1.10 наблюдатель: Лицо, производящее измерение.

3.1.11 оценочные морфометрические характеристики: Приближенная оценка морфометрических характеристик потока данная наблюдателем в полевых условиях перед производством пуска, без использования средств измерений.

3.1.12 пуск: Введение индикатора в поток единовременным опрокидыванием в твёрдом (сухом) виде или выливанием в виде раствора (мгновенный) или же с постоянным расходом истечения из специальных подающих устройств (постоянный).

3.1.13 пусковая ёмкость: Бутыль, используемая для подачи раствора в поток.

3.1.14 пусковой створ: Створ в русле реки, в котором осуществляется введение индикатора в поток, обеспечивающий наилучшие характеристики начального разбавления (смешения с потоком).

3.1.15 солевая волна (ионный паводок): Графическое изображение изменения концентрации индикатора или удельной электропроводности воды в измерительном створе по времени.

3.1.16 солевое облако: Форма перемещения индикатора в потоке, изменяющаяся по мере разбавления по его ширине и глубине, имеющая переднюю кромку с низкими концентрациями индикатора, центральную зону – с максимальными и тыл – с низкими концентрациями.

3.1.17 солевой раствор (пусковой раствор): Смесь поваренной соли и воды в заданном соотношении.

3.1.18 створ полного перемешивания: Такое поперечное сечение русла реки, в котором обеспечивается условие равномерного распределения концентрации вводимого индикатора как по ширине, так и глубине потока.

3.1.19 стрежневая часть потока: Зона в поперечном сечении русла с наибольшими скоростями течения.

3.1.20 турбулентная диффузия: Перенос молекул индикатора в пространстве потока, обусловленный турбулентным движением водной среды.

3.1.21 удельная электропроводность воды; УЭП: Количественная характеристика способности воды проводить электрический ток.

3.1.22 устойчивое состояние: Достижение условия постоянства минерализации или УЭП в измерительном створе в результате постоянного пуска солевого раствора.

3.1.23 участок смешения: Участок русла реки, на котором происходит перемешивание индикатора с водами потока, от пускового до измерительного створа.

3.1.24 чувствительный элемент датчика: Функциональная часть электронного датчика, находящаяся под непосредственным воздействием физической величины.

3.2 В настоящих рекомендациях применены следующие условные обозначения:

- A – площадь под кривой графика ионного паводка $C = f(t)$ в единицах минерализации, (мг/л) · с;
- $A_{уэп_{25}}$ – площадь под кривой графика ионного паводка $УЭП_{факт} = f(t)$ в единицах $УЭП_{25}$, (мкСм/см) · с;
- B – средняя оценочная ширина русла на участке смешения, м;
- $C_{уст}$ – минерализация воды по достижению устойчивого состояния, мг/л;

Р 52.08.930–2023

- $C_{\text{фон}}$ – фоновое значение минерализации воды в потоке, мг/л;
- C_t – минерализация воды, измеряемая наблюдателем в момент времени t , мг/л;
- C_1 – минерализация воды вводимого раствора, мг/л;
- F – оценочная площадь сечения русла, м^2 ;
- h – средняя оценочная глубина русла на участке смешения, м;
- k_v – объёмный коэффициент пропорциональности для перехода от значений УЭП к минерализации, см/мкСм;
- k_m – массовый коэффициент пропорциональности для перехода от значений УЭП к минерализации, мг · см/(мкСм · л);
- L – длина участка смешения, м;
- m – масса вводимой в поток соли, г;
- Q – расход воды измеряемого водотока, $\text{м}^3/\text{с}$;
- q – постоянный расход истечения из пусковой ёмкости, мл/с;
- $Q_{\text{датч},i}$ – расход воды, рассчитанный по i -му датчику, $\text{м}^3/\text{с}$;
- $Q_{\text{контр}}$ – контрольный ИРВ, полученный стандартным методом (основным средством измерения), $\text{м}^3/\text{с}$;
- $Q_{\text{оа}}$ – расход воды, рассчитанный по основному алгоритму, $\text{м}^3/\text{с}$;
- $Q_{\text{уа}}$ – расход воды, рассчитанный по уточнённому алгоритму, $\text{м}^3/\text{с}$;
- $Q_{\text{ср}}$ – средний арифметический расход воды, рассчитанный по данным двух и более датчиков, $\text{м}^3/\text{с}$;

- RC – относительная концентрация индикатора по достижению устойчивого состояния, л/л;
- RC_i – относительная концентрация раствора в градуировочном резервуаре по завершению шага процедуры градуировки, л/л;
- $RC_{\text{втор. р}}$ – относительная концентрация вторичного раствора, л/л;
- $RC_{\text{кон}}$ – относительная концентрация раствора в градуировочном резервуаре по завершению последнего шага процедуры градуировки, л/л;
- $T_{\text{в}}$ – значение температуры воды в измерительном створе на момент измерения, °С;
- $t_{\text{добег}}$ – время добегания соляного раствора до измерительного створа, с;
- V – объём вводимого соляного раствора, мл;
- V_0 – объём отобранной речной воды для заполнения градуировочной ёмкости, мл;
- $V_{\text{макс}}$ – оценочная максимальная скорость течения на участке смешения в точке погружения датчика, м/с;
- $V_{\text{мин}}$ – оценочная минимальная скорость течения на участке смешения в точке погружения датчика, м/с;
- $V_{\text{ср}}$ – оценочная средняя скорость потока по экспертной оценке наблюдателя, м/с;
- $V_{\text{ср.уч}}$ – средняя скорость течения на участке смешения в точке погружения датчика, м/с;
- $V_{\text{пов}}$ – оценочная поверхностная скорость, м/с;
- X – объём отобранного пускового раствора для приготовления вторичного раствора, мл;

- U_i – единичная порция вторичного раствора, вводимого на каждом шаге процедуры полевой градуировки, мл;
- $\delta_{си}$ – средняя квадратическая ошибка измерения фиксируемого показателя с помощью средства измерения, в единицах фиксируемого показателя погрешность измеряемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- $\Delta_{фп,фон}$ – разница в фоновом значении фиксируемого показателя до и после измерения в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- ω – площадь живого сечения потока, м²;
- $УЭП_{кон}$ – значение удельной электропроводности воды в градуировочном резервуаре по завершению последнего шага процедуры градуировки, мкСм/см;
- $УЭП_{уст}$ – удельная электропроводность воды по достижению устойчивого состояния, мкСм/см ;
- $УЭП_{факт}$ – фактическая удельная электропроводность воды (величина, обратная электрическому сопротивлению воды, определяемая при фактической температуре водной среды в момент измерения), мкСм/см;
- $УЭП_{факт,t}$ – фактическая удельная электропроводность воды в момент времени t , мкСм/см.;
- $УЭП_{фон}$ – фоновая удельная электропроводность воды, приведённая к температуре 25 °С, мкСм/см;
- $УЭП_{25}$ – удельная электропроводность воды, приведённая к температуре 25 °С, мкСм/см. Величина, обратная электрическому сопротивлению воды при температуре 25 °С, находящейся между двумя

электродами с поверхностью 1 см^2 , расстояние между которыми равно 1 см ;

- УЭП_{25,t} – удельная электропроводность воды, приведённая к температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$, фиксируемая в момент времени t , мкСм/см;
- ФП_{пик} – наивысшее значение фонового показателя, достигнутое в ходе ионного паводка, в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- ФП_{фон} – фоновое значение фиксируемого показателя, в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- ФП_{фон,ис} – фоновое значение фиксируемого показателя в измерительном створе, в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- ФП_{фон,пс} – фоновое значение фиксируемого показателя в пусковом створе, в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л);
- ФП_t – значение фиксируемого показателя в момент времени t , в единицах фиксируемого показателя, мкСм/см (мг/л).

3.3 В настоящих рекомендациях применены следующие сокращения:

- ГП – гидрологический пост;
- ИРВ – измеренные расходы воды;
- ИС – измерительный створ;
- КР – кривая расходов;
- ПС – пусковой створ;
- ПСР – пропускная способность русла;
- СД – соотношение дозирования;

Р 52.08.930–2023

- СИ – средство измерения;
- ТВ – точка введения;
- УГМС – управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
- ФП – фиксируемый показатель;
- ЦГМС – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, филиал УГМС.

4 Общие положения

4.1 Метод ионного паводка

4.1.1 Краткое описание метода ионного паводка

4.1.1.1 Сущность метода ионного паводка заключается в определении расхода воды по степени разбавления вводимого в поток индикатора – чем выше измеряемый расход воды, тем значительно больше разбавляется вводимый индикатор. В качестве индикатора могут выступать различные химические соединения, но в настоящих рекомендациях в качестве индикатора рассматривается только поваренная соль (хлорид натрия NaCl).

4.1.1.2 Наблюдатель вводит в поток с известной фоновой минерализацией концентрированный солевой раствор, который смешивается с потоком по мере своего продвижения вниз по течению, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Перемещение индикатора в потоке на примере пуска флуоресцентного вещества

На некотором расстоянии вводимый солевой раствор равномерно перемешивается как по глубине, так и ширине потока. Производя непрерывную регистрацию данных изменения минерализации или удельной электропроводности воды в нижнем створе, на основе закона сохранения массы вещества, можно судить о степени разбавления вводимого солевого раствора потоком и о величине расхода воды.

4.1.2 Расчётные уравнения ионного паводка

4.1.2.1 В пусковом створе в поток с фоновой минерализацией $C_{\text{фон}}$ вводится солевой раствор объёмом V с известной минерализацией C_1 и массой m соли в нём. Затем, через некоторый промежуток времени t , раствор в виде солевого облака должен быть отнесён потоком на такое расстояние L , чтобы обеспечивалось его равномерное распределение по живому сечению потока ω (как по глубине, так и по ширине). Такой створ называется створом полного перемешивания.

Солевое облако при продвижении увеличивает свои размеры и изменяет форму за счёт турбулентной и молекулярной диффузий. Перемешивание по глубине и ширине потока в продольном профиле приводит к тому, что солевое облако имеет переднюю кромку с относительно низкими концентрациями соли, центральную зону высоких концентраций, за которой следует тыл облака, где значения концентраций вновь снижаются.

При этом во время прохождения солевой волны выполняется уравнение баланса массы индикатора, а минерализация C в потоке переменна

$$(C_1 - C_{\text{фон}})V = \iint_{\omega L} (C_t - C_{\text{фон}}) dL d\omega. \quad (1)$$

Путь, проходимый солевым облаком, пропорционален скорости потока $v_{\text{ср}}$

$$dL = v_{\text{ср}} dt. \quad (2)$$

В измерительном створе, максимально соответствующем условиям створа полного перемешивания, наблюдателем непрерывно фиксируются значения минерализации C_t или же удельной электропроводности ($УЭП_{25,t}$ или $УЭП_{\text{факт},t}$). По данным измерений строится график изменения минерализации во времени $C = f(t)$ или же $УЭП = f(t)$. Графическое изображение этих функций называют солевой волной или ионным паводком. Её подошвой является фоновое значение минерализации $C_{\text{фон}}$ или электропроводности $УЭП_{\text{фон}}$, а проходящее солевое облако формирует пик и ветви спада и подъёма. При этом интеграл приращения УЭП по времени численно равен площади $A_{\text{уэп}}$ под

кривой графика УЭП = $f(t)$, а минерализации – площади A под графиком $C = f(t)$, как показано на рисунке 2.

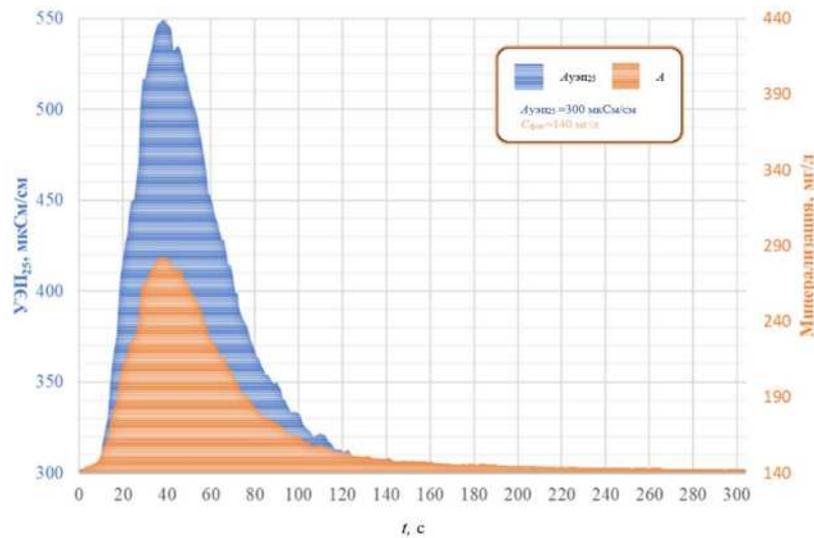


Рисунок 2 – График ионного паводка в величинах УЭП и минерализации

В створе полного перемешивания можно пренебречь изменением минерализации по площади живого сечения потока, и тогда, подставляя уравнение формулы (2) в формулу (1), получаем

$$(C_1 - C_{\text{фон}})V = Q \int_t (C_t - C_{\text{фон}}) dt. \quad (3)$$

Расход воды Q в таком случае пропорционален степени разбавления вводимого раствора, выраженной в виде интеграла приращений минерализации в момент времени t над фоновым значением

$$Q = \frac{V(C_1 - C_{\text{фон}})}{\int_t (C_t - C_{\text{фон}}) dt}. \quad (4)$$

Так как $C_1 \gg C_{\text{фон}}$, а $V \cdot C = m$, формула (4) упрощается и принимает конечный вид

$$Q = \frac{m}{\int_t (C_t - C_{\text{фон}}) dt} = \frac{m}{A}. \quad (5)$$

4.1.2.2 В большинстве случаев для определения минерализации используют датчики УЭП. При этом для перехода к значениям минерализации используются два расчётных алгоритма – основной и уточнённый.

Основной алгоритм основан на использовании массового коэффициента пропорциональности k_m , который численно равен отношению площадей под кривыми графиков $C = f(t)$ и $УЭП_{25} = f(t)$. Его значение для природных вод с $УЭП_{\text{фон}} < 500$ мкСм/см установлено ранее эмпирически согласно [6] и равно 0,486. Для более точных расчётов рекомендуется вводить в данный коэффициент поправку исходя из фонового значения $УЭП_{\text{фон}}$ по зависимости в формуле (6), в соответствии с [7]

$$k_m = (2 \cdot 10^{-9} УЭП_{\text{фон}}^2 + 2 \cdot 10^{-5} УЭП_{\text{фон}} + 0,4798). \quad (6)$$

Расчётная формула для вычисления расхода воды методом ионного паводка с использованием измерения $УЭП_{25}$ по основному алгоритму представляет собой уравнение по формуле

$$Q = \frac{m}{k_m \int_t (УЭП_{25,t} - УЭП_{\text{фон}}) dt} = \frac{m}{k_m \cdot A_{уэп_{25}}}. \quad (7)$$

Основной алгоритм не учитывает нелинейность перехода от значений УЭП к минерализации под воздействием температуры, особенностей минерального состава вод, а также изменений объёма (массовой доли соли) раствора.

Поэтому в случаях произведения измерений в водах с $УЭП_{фон} > 500$ мкСм/см, наличии антропогенных загрязнений (сбросов) или же вод со специфическим минеральным составом, необходимо использовать уточнённый расчётный алгоритм. Согласно ему, переход от значений УЭП к значениям минерализации осуществляется за счёт выполнения процедуры полевой градуировки, которая заключается в эмпирическом установлении соотношения между УЭП и минерализацией. Для этого в отобранный объём речной воды последовательно добавляют порции разбавленного пускового раствора и измеряют соответствующие им приращения УЭП. Инструкция по производству полевой градуировки приведена в приложении А.

В результате выполнения полевой градуировочной процедуры рассчитывают объёмный коэффициент пропорциональности k_v , а формула вычисления расхода воды представляет собой уравнение по формуле

$$Q = \frac{V}{k_v \int_t (УЭП_{25,t} - УЭП_{фон}) dt} = \frac{V}{k_v A_{уэп_{25}}}. \quad (8)$$

В случае использования средства измерения (СИ), измеряющего не УЭП₂₅, а фактическую УЭП_{факт}, требуется либо применять уточнённый расчётный алгоритм, либо вести перерасчёт $УЭП_{факт} \rightarrow УЭП_{25} \rightarrow C$ согласно стандартным аналитическим формулам $УЭП_{25} = f(УЭП_{факт,t})$ и таблицам $C = f(УЭП_{25})$, приведённым в Руководстве по эксплуатации [8] (таблица Б.1).

4.1.2.3 Для бурных потоков допускается использовать разновидность метода ионного паводка, при которой соль в поток вводится в сухом виде, а не в виде раствора. Такой пуск принято называть сухим, а расчётными формулами являются выражения, основанные на законе сохранения массы вещества в соответствии с формулами (5) и (7).

4.2 Метод постоянного пуска солевого раствора

4.2.1 Краткое описание метода

4.2.1.1 Для измерения весьма малых расходов воды от 0,01 л/с до 1 м³/с рекомендуется применять метод постоянного пуска солевого раствора.

Его физическая сущность схожа с методом ионного паводка, а разница заключается в том, что наблюдателю необходимо подавать солевой раствор с неким постоянным, пренебрежимо малым относительно расхода потока, расходом истечения из пусковой ёмкости.

4.2.1.2 В случае применения этого метода на выбранном участке смешения в реку с расходом Q и фоновой минерализацией $C_{\text{фон}}$ с небольшим постоянным расходом q , не превышающим 1 % от расхода в реке, производят пуск солевого раствора концентрацией C_1 , как показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример постоянного пуска солевого раствора, подкрашенного для наглядности

4.2.2 Расчётные уравнения постоянного пуска раствора

4.2.2.1 На расстоянии, достаточном для полного смешения раствора с водами потока в измерительном створе должно выполняться условие равенства весовых расходов вещества в измерительном и пусковом створах, что изображено на рисунке 4.

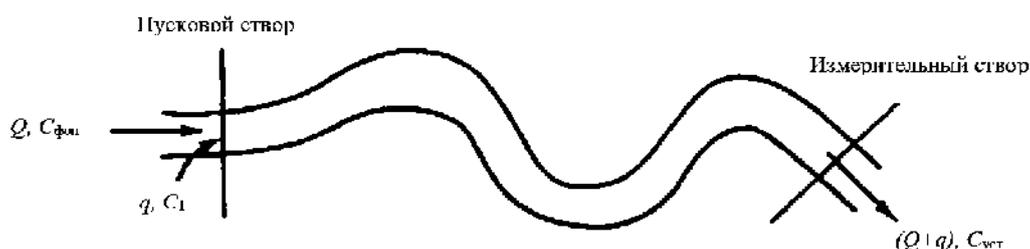


Рисунок 4 – Условие равенства весовых расходов вещества в измерительном и пусковом створах

4.2.2.2 По прошествии достаточного промежутка времени t , в потоке наступит состояние устойчивого равновесия, при котором минерализация $C_{уст}$ или УЭП_{уст} в измерительном створе становится постоянной, как показано на рисунке 5.

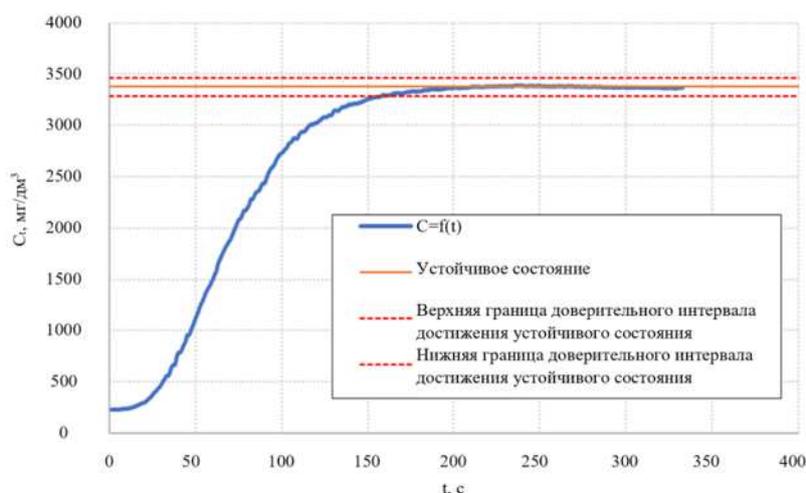


Рисунок 5 – Достижение состояния устойчивого равновесия

Тогда весовые расходы соли в пусковом и измерительном створах должны быть равны между собой и записываться по формуле

$$QC_{\text{фон}} + qC_1 = (Q + q) C_{\text{уст}}. \quad (9)$$

Конечное выражение принимает вид

$$Q = q \frac{(C_1 - C_{\text{уст}})}{(C_{\text{уст}} - C_{\text{фон}})} \approx q \frac{C_1}{(C_{\text{уст}} - C_{\text{фон}})}. \quad (10)$$

Входящие в формулу (10) величины q и C_1 известны. Фоновая минерализация в речной воде $C_{\text{фон}}$ и минерализация в измерительном створе $C_{\text{уст}}$ должны быть определены в результате пуска раствора.

4.2.2.3 Для случая измерения удельной электропроводности воды УЭП, для перехода от минерализации к значениям УЭП в формуле используется объёмный коэффициент пропорциональности k_v , и тогда согласно [9] расчётная зависимость приобретает следующий вид

$$Q = \frac{q}{RC} = \frac{q}{k_v(\text{УЭП}_{\text{уст}} - \text{УЭП}_{\text{фон}})}, \quad (11)$$

где $\text{УЭП}_{\text{уст}} - \text{УЭП}$ по достижении устойчивого состояния, мкСм/см;

RC – относительная концентрация индикатора по достижению устойчивого состояния, л/л.

4.2.2.4 Метод постоянного пуска солевого раствора особенно эффективен при измерении малых расходов воды до значения $1 \text{ м}^3/\text{с}$, но более трудоёмок и требует применения большего количества оборудования.

5 Условия применимости методов

5.1 Методы ионного паводка и постоянного пуска солевого раствора рекомендуется использовать как основной способ измерения расхода воды на малых реках при следующих условиях:

- невозможности надёжного определения морфометрических характеристик русла;
- небезопасности нахождения наблюдателя в потоке;
- малой глубины потока, сопоставимой с измерительными элементами традиционных СИ (винтов гидрометрических вертушек, преобразователей скоростей течения, трансдюсеров профилографов и т.д.);
- большой турбулентности и высоких скоростях течения.

5.2 При невозможности измерения расхода воды объёмным способом или с помощью водослива или лотка, метод постоянного пуска солевого раствора рекомендуется использовать как основной способ измерения малых расходов воды до значения $1 \text{ м}^3/\text{с}$.

5.3 Методы ионного паводка, сухого пуска и постоянного пуска солевого раствора применимы исключительно для потоков с явно выраженным турбулентным движением жидкости. Средняя скорость течения на участке смешения должна составлять не менее $0,13 \text{ м/с}$ для мгновенного и постоянного пусков раствора индикатора, и не менее $0,60 \text{ м/с}$ для сухого пуска.

5.4 Метод ионного паводка пуском солевого раствора наиболее целесообразно использовать в диапазоне расходов воды от $0,1$ до $20 \text{ м}^3/\text{с}$, сухим пуском – до $30 \text{ м}^3/\text{с}$, метод постоянного пуска солевого раствора – от $0,01$ до 100 л/с .

5.5 Методы нецелесообразно применять для русел:

- с площадью сечения более 20 м^2 и средней глубиной на участке смешения более $1,5 \text{ м}$ при средних скоростях на нём до $0,30 \text{ м/с}$;

Р 52.08.930–2023

- с площадью сечения более 25 м² и средней глубиной 2,0 м соответственно – при больших скоростях течения (более 1 м/с).

5.6 Методы применимы в условиях зарастания русла при соблюдении основных условий (см. 5.1–5.5), а также дополнительных по 8.2.2, 8.2.4, 8.3.2.

5.7 Методы применимы в условиях ледостава, ледохода, шугохода при соблюдении основных условий (см. 5.1–5.6), а также дополнительных по 7.9, 8.1.4, 8.2.9, 8.3.5, 8.4.10, 8.5.6 и 8.6.6.

5.8 Методы применимы в высокоминерализованных, загрязнённых водах, агрессивных средах при соблюдении требований по 8.5.3. При этом целесообразно применять указанные методы с соблюдением требований по максимальной величине фоновой минерализации в зависимости от величины измеряемого расхода согласно данным таблицы 1.

Т а б л и ц а 1 – Требования по верхнему порогу УЭП_{фон}, при которых целесообразно проводить измерения

Расход воды, м ³ /с	Q < 0,1	0,1 ≤ Q < 0,5	0,5 ≤ Q < 1	1 ≤ Q < 5	Q ≥ 5
УЭП _{фон} , мкСм/см	10 ⁴	5 · 10 ³	2,5 · 10 ³	1,5 · 10 ³	10 ³

5.9 Методы неприменимы на участках рек, имеющих значительные зоны с обратным течением и (или) мёртвым пространством.

5.10 Участок, пусковой и измерительный створы смешения должны соответствовать требованиям, согласно 8.2–8.4.

5.11 Все работы, связанные с производством измерений расхода воды должны быть исполнены с соблюдением правил [10].

5.12 Границы допускаемой относительной погрешности измерений расходов воды с использованием описанных методов при соблюдении требований к их применению составляют не более ±10 %.

6 Экологическая безопасность применения методов

6.1 Методы ионного паводка и постоянного пуска солевого раствора являются экологически безопасными и не оказывают долгосрочных негативных последствий на гидрэкосистему измеряемых водотоков в случае использования растворов низких концентраций (до 250 г/л). Это подтверждается рядом научных исследований. В частности, этот тезис находит отражение в статьях [11], проводивших анализ комплексного воздействия соляных пусков на окружающую среду, коллектива исследователей из Испании о воздействии на водную растительность [12] и китайских учёных о воздействии на микроорганизмы и бактериальные сообщества [13].

6.2 Для соблюдения требований природоохранного законодательства Российской Федерации, сформулированных в методике [14] и Федеральном законе [15], главным условием является выполнение требований к подбору соотношения дозирования (СД), закреплённых в таблице 3 согласно 8.5.3 и 8.5.6 настоящих рекомендаций.

6.3 В случае применения метода на реках рыбохозяйственного значения или на особо охраняемых природных территориях перед использованием метода рекомендуется разработать проект предельно допустимых сбросов согласно статье 22 Федерального закона [15] и методике [14].

7 Требования к используемым средствам измерений

7.1 В качестве СИ для измерения расхода воды методом ионного паводка или постоянного пуска солевого раствора допускаются:

- датчики, логгеры УЭП, а также многопараметрические зонды и анализаторы качества воды с функцией измерения УЭП или общего

Р 52.08.930–2023

количества твёрдых растворенных веществ;

- солемеры, датчики, логгеры, зонды и анализаторы качества воды с функцией измерения минерализации воды;

- полуавтоматические и автоматические системы для измерения расхода воды методом ионного паводка.

7.2 Применяемые СИ для измерения УЭП должны соответствовать следующим требованиям:

- производить измерения в диапазоне значений УЭП от 2 до $1 \cdot 10^4$ мкСм/см для работы с природными водами, от 100 до $2 \cdot 10^5$ мкСм/см для работы со сточными водами;

- обеспечивать точность измерений $\pm (5 \div 20) \%$ [16] от измеряемого показателя или ± 5 мкСм/см (для диапазона от 2 до 1000 мкСм/см) в зависимости от того, какая величина больше;

- разрешение датчика в диапазоне измерения от 20 до 200 мкСм/см должно быть не более 2 мкСм/см, в диапазоне от 200 до 1000 мкСм/см не более 2,5 мкСм/см, от 1000 до $1 \cdot 10^4$ не более 50 мкСм/см, от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^5$ не более 100, более $1 \cdot 10^5$ – 200 мкСм/см.

7.3 Применяемые СИ для измерения минерализации или общего количества твёрдых растворённых веществ должны соответствовать следующим требованиям:

- производить измерения в диапазоне изменения значений минерализации от 2 до 3200 мг/л для работы с природными водами, и до 64 000 мг/л – с антропогенно изменёнными;

- обеспечивать точность измерений $\pm (5 \div 20) \%$ от измеряемого показателя или ± 2 г/л (для диапазона от 2 до 400 г/л) в зависимости от того, какая величина больше.

7.4 В случае использования устройства с функцией непрерывной регистрации значений показателя дискретность таких записей не должна превышать 10 с, а объёма памяти устройства должно хватать для

непрерывной регистрации хода всего ионного паводка.

7.5 Достоверность и качество выполнения измерений должны обеспечиваться использованием СИ, типы которых утверждены Росстандартом в соответствии с ГОСТ Р 8.563, прошедших поверку в установленном порядке в соответствии с утверждёнными поверочными схемами в организациях, аккредитованных на право поверки СИ [17].

7.6 Эксплуатация СИ должна производиться в строгом соответствии с его руководством по эксплуатации.

7.7 В период эксплуатации датчика УЭП, общего количества твёрдых растворённых веществ или минерализации необходимо проверять на правильность работы по стандартному образцу согласно руководству по эксплуатации не реже 1 раза в квартал, ведя журнал контрольной градуировки согласно приложению Б. При этом обязательными являются внеочередные проверки правильности работы датчика после резкой смены анализируемой среды, например, переход от систематического анализа пресных речных вод к болотным, или от естественных к существенно загрязнённым, или от естественных пресных к морским солёным.

7.8 С частотой не менее 1 раза в полгода или после каждого выявленного случая загрязнения должна осуществляться очистка чувствительных элементов датчика от неорганических соединений с помощью соответствующих очищающих растворов.

7.9 В случае производства работ при отрицательных температурах воздуха в связи с необходимостью соблюдать температурный режим эксплуатации СИ, необходимо использовать дата-логгеры, а не приборы с проводными контроллерами, для которых лимитирующими будут температуры воздуха, а не водной среды.

8 Порядок выполнения измерений

8.1 Подготовка оборудования

8.1.1 Перед началом измерений необходимо удостовериться в исправной работе датчика для измерения УЭП или минерализации. Для этого нужно провести тестовое испытание с помощью стандартных растворов, или в воде с известным значением измеряемого показателя. В случае использования нескольких датчиков – убедиться в сходимости значений по ним в пределах 10 мкСм/см для водотоков с $УЭП_{фон} < 1000$ мкСм/см или 50 мкСм/см в случае более высоких фоновых показателей.

8.1.2 При визуальном осмотре необходимо установить отсутствие физических дефектов, загрязнений чувствительных элементов датчика.

8.1.3 Проверять уровень заряда аккумулятора устройства и объёма свободной внутренней или внешней памяти. Эти показания должны обеспечить надёжное функционирование устройства в процессе измерения.

8.1.4 В случае подготовки к измерению расходов воды в зимних условиях, по возможности подготовить с собой необходимый для приготовления пускового раствора объём горячей воды в специализированной термотаре. Контроллеры СИ в процессе зимних измерений необходимо располагать в термоконтейнерах, чехлах.

8.1.5 Минимально необходимый комплект оборудования для измерения расхода воды методом ионного паводка приведён в приложении В.

8.1.6 Для применения метода постоянного пуска солевого раствора комплект должен включать в себя оборудования из перечня согласно приложению Г. Конструкция самодельной пусковой бутылки представлена в приложении Д.

8.1.7 В случае необходимости производить процедуру градуировки в полевых условиях необходимо дополнительное оборудование в составе, согласно приложению Е.

8.1.8 В случае использования устройств с автоматической фиксацией времени перед использованием проверить точность записи временных интервалов с помощью механического поверенного секундомера.

8.2 Требования к выбору участка смешения

8.2.1 Для применения метода ионного паводка пуском солевого раствора и постоянного пуска солевого раствора на всём протяжении участка смешения режим течения жидкости должен быть выраженным турбулентным, со средней скоростью не менее 0,13 м/с. Для сухого пуска – бурным, со средней скоростью не менее 0,60 м/с.

8.2.2 Участок смешения должен быть такой длины, чтобы обеспечивалось условие полного смешения вводимого индикатора с потоком как в продольном, так и поперечном сечениях F , м². Длина участка смешения назначается в зависимости от поверхностной скорости течения $v_{\text{пов}}$, м/с и средней ширины русла B , м на нём, и по общему правилу должна составлять не менее 7 ширин русла. В таблице 2 даны более подробные требования по длине участка смешения в зависимости от этих показателей, определяемых в рамках рекогносцировочных работ.

В случае зарастания русла длина участка смешения может быть сокращена на величину от 20 % до 30 % от указанных в таблице 2 значений. При наличии малого числа излучин и участков с изменением ПСР длина участка смешения должна быть увеличена на величину от 20 % до 30 % от указанных в таблице 2 значений с обязательным использованием не менее двух датчиков.

Т а б л и ц а 2 – Длина участка смешения в зависимости от оценочных характеристик потока

Скорость поверхностная $V_{\text{пов}}$, м/с	Длина участка смешения от средней площади F , м ²				
	$F \leq 0,05$	$0,05 < F \leq 0,1$	$0,1 < F \leq 0,5$	$0,5 < F \leq 5$	$F > 5$
$V_{\text{пов}} \leq 0,30$	50 В	(7–20) В	(7–15) В	(15–20) В	(15–20) В
$0,30 < V_{\text{пов}} \leq 0,60$	100 В	30 В	25 В	25 В	(20–25) В
$0,60 < V_{\text{пов}} \leq 1,5$	200 В	50 В	40 В	30 В	(25–30) В
$V_{\text{пов}} > 1,5$	250 В	100 В	60 В	(35–40) В	35 В

Таблица 2 носит рекомендательный характер, для предварительной оценки длины участка смешения. Для подбора оптимальной длины участка смешения, в связи с индивидуальными особенностями русла, допускается использовать эмпирический подход.

8.2.3 На выбранном участке смешения должны отсутствовать значительные объёмы боковой приточности, превышающие 5 % измеряемого расхода воды или водозаборы, выходы грунтовых вод, сбросы промышленных, канализационных и оросительных вод. Фоновое значение УЭП, общего количества твёрдых растворённых веществ или минерализации не должны значительно различаться в пусковом и измерительном створах (в пределах 10 мкСм/см для водотоков с $УЭП_{\text{фон}} < 1000$ мкСм/см или 50 мкСм/см в случае более высоких фоновых показателей).

8.2.4 На выбранном участке смешения должны отсутствовать значительные мёртвые пространства, водоворотные зоны, и участки потока с обратными течениями, сплошной водной растительностью (занимающей более 80 % глубины потока).

8.2.5 Рекомендуется выбирать участки, на которых наблюдаются изменения пропускной способности русла (сужения, перекаты, плёсы, водопады), излуины.

8.2.6 Русловые завалы, крупные валуны и иные препятствия не являются ограничивающим фактором, а, напротив, способствуют перемешиванию раствора в потоке.

8.2.7 Разветвление потока на рукава на участке смешения допустимо, если их объединение в общий поток произошло на существенном расстоянии (не менее трети участка смешения) выше по течению от створа измерения.

8.2.8 Отношение оценочной средней ширины русла на участке смешения к средней глубине потока на участке B/h не должно превышать 25.

8.2.9 В условиях частичного ледостава на участке смешения не допускается наличие выходов русловых вод на поверхность льда.

8.3 Требования к выбору пускового створа

8.3.1 Пусковой створ должен быть приурочен к наиболее узкой части русла с наивысшими скоростями течения (по возможности бурным течением) и достаточной глубиной для наилучшего начального разбавления и предотвращения первичного осаждения соли.

8.3.2 Не допускается назначение пускового створа на участке со значительным зарастанием русла.

8.3.3 На пусковом створе должны обеспечиваться безопасные условия для введения наблюдателем раствора в поток.

8.3.4 Рекомендуется назначать пусковой створ ниже по течению мостовых переходов, водосливных сооружений, как показано на рисунке 6.

8.3.5 В условиях ледостава пусковой створ должен быть приурочен либо к зоне промоины с высокими скоростями течения, либо прорубленной майне или лунке.



Рисунок 6 – Пример пускового створа

8.4 Требования к выбору измерительного створа и установке датчика в поток

8.4.1 Измерительный створ должен совпадать или быть ниже по течению относительно створа полного смешения.

8.4.2 Измерительный створ должен быть приурочен к относительно широкой части русла с равномерным распределением относительно низких скоростей течения по поперечному сечению.

8.4.3 Датчик должен быть установлен в зоне потока, где проходит основной расход воды, с характерными для него скоростями течения (не максимальными, не минимальными).

8.4.4 В период проведения сравнительных испытаний методов с традиционными или же при первом применении метода на водном объекте, при значительной ширине потока (более 15 м) и турбулентности (средние скорости на участке смешения более 0,60 м/с), необходимо применять не менее двух датчиков УЭП или общей минерализации или последовательное перемещение одного датчика в разные части потока в несколько однородных пусков согласно 8.4.5. При невозможности производства сравнительных измерений необходимо произвести измерения не менее чем в 4 точках по ширине потока.

8.4.5 В случае установки двух или более датчиков, измерения по ним необходимо приурочить к тем или иным характерным зонам скоростей течения потока (один – на стрежне, другой – в зоне замедленного течения), при этом датчик должен находиться в проточной зоне потока, как показано на рисунке 7.



Рисунок 7 – Пример измерительного створа

8.4.6 Датчик в измерительном створе не должен устанавливаться в мёртвых пространствах или зонах с обратными течениями.

8.4.7 Недопустимо устанавливать датчик для измерения УЭП, общего количества твёрдых растворённых веществ или минерализации в зоне, где вследствие бурного течения образуются пузырьки воздуха.

8.4.8 Датчик в измерительном створе должен устанавливаться из расчёта невозможности его заиления, занесения или повреждения в момент измерения.

8.4.9 Глубина установки датчика может быть любой, но с соблюдением условий невозможности его оголения или нарушения требований (см. 8.4.3, 8.4.5–8.4.8).

8.4.10 В условиях ледостава необходимо создать дополнительные условия для измерения УЭП или минерализации. Датчик погружается либо в зону промоины, либо в майну или лунку, при этом минимальное заглубление должно быть не менее 5 см – вне зоны распространения переохлаждённых вод.

8.5 Порядок выполнения измерений методом ионного паводка

8.5.1 Перед началом измерений наблюдателю необходимо выполнить рекогносцировочное обследование участка реки согласно РД 52.08.163, с целью:

- определения оценочных величин измеряемого расхода воды Q , средней ширины B и средней глубины русла h на участке смешения и скоростей течения v_{cp} на нём с занесением в раздел «Характеристика участка смешения» и составления плана-схемы участка смешения. В приложении Ж представлены формы модернизированных книжек для записи результатов измерения расхода воды: методом ионного паводка книжка КГ-13М1 и методом постоянного пуска солевого раствора книжка КГ-13М2;

- выбора пускового створа в соответствии с требованиями (см. 8.3);
- оценки необходимой длины участка смешения L для достаточного поперечного и продольного перемешивания раствора в потоке (см. 8.2);
- выбора измерительного створа на определённом ранее расстоянии L по требованиям (см. 8.4).

Оценочные морфометрические характеристики заносятся в книжку КГ-13М1 или КГ-13М2.

8.5.2 После выбора пускового и измерительного створов наблюдателю необходимо зафиксировать фоновое значение УЭП или минерализации в них. Разница не должна превышать значение, зафиксированное в 8.2.3. Если она превышает указанное значение,

необходимо выбрать другой участок смешения и повторить описанную процедуру. Данные об используемом СИ заносят в строку «Применяемое средство измерений» титульного листа обложки книжек КГ-13М1 или КГ-13М2. Дополнительно в пусковом створе измеряется температура воды, которая вместе с фоновым значением и данной наблюдателем оценкой измеряемого расхода воды заносится в таблицу 3 книжек КГ-13М1 или КГ-13М2.

8.5.3 Приготовление пускового раствора. Наблюдателем на основании предварительной оценки расхода должно быть определено достаточное для корректного измерения расхода воды количество соли. Для этого используется понятие оценочное соотношение дозирования (СД) – необходимое количество соли на 1 м³/с потока. СД устанавливается эмпирически и зависит от площади сечения потока на участке смешения, скорости течения на нём и фоновой УЭП. СД назначается одинаковым как для пуска солевого раствора, так и для сухого пуска. Подбор СД в зависимости от оценочной средней площади сечения на участке смешения F , м²; фоновой электропроводности, приведённой к УЭП_{фон} представлен в таблице 3. Полученное оценочное СД заносится в таблицу 4 книжки КГ-13М1.

Т а б л и ц а 3 – Соотношение дозирования

Фоновая УЭП, мкСм/см	Оценочное СД, кг : м ³ /с			
	$0 < F \leq 1,0$	$1 < F \leq 5$	$5 < F \leq 10$	$F > 10$
$2 < \text{УЭП}_{\text{фон}} \leq 300$	0,5–1,5	0,5–2,5	1,0–3,0	1,0–4,5
$300 < \text{УЭП}_{\text{фон}} \leq 500$	0,5–2,0	1,0–2,5	1,0–4,0	1,0–5,0
$500 < \text{УЭП}_{\text{фон}} \leq 1000$	1,0–2,5	1,5–3,5	2,0–4,5	2,5–7,0
$\text{УЭП}_{\text{фон}} > 1000$	2,0–3,5	2,5–4,0	3,0–5,5	3,5–10

8.5.4 В случае высоких скоростей течения на участке смешения (более 0,8 м/с) указанные в таблице 3 значения допускается снижать в 2–4 раза.

8.5.5 Точное СД в сложных условиях (высокоминерализованных водах, горных реках с развитой турбулентностью, площадями сечения более 15 м²) устанавливается в результате опытов по достижению необходимого поднятия пика ионного паводка для конкретных условий.

8.5.6 По экологическим соображениям концентрация раствора не должна превышать 20 %, таким образом, сухую соль необходимо разбавлять объёмом воды в следующих стандартных соотношениях: либо 1 кг соли на 5 л воды, либо 1 кг соли на 6 л воды, для ультрапресных вод – 1 кг соли на 7 л воды. Соотношение подбирается в зависимости от естественного фона минерализации в потоке – чем он выше, тем более концентрированный раствор необходимо приготовить. В случае высокой фоновой минерализации (УЭП > 1000 мкСм/см) допускается использовать соотношение 1 кг соли на 4 л воды. Для разбавления используется вода из измеряемого водотока. В зимних условиях, когда температура воды находится в пределах от 0 °С до 4 °С, рекомендуется разбавлять соль заранее подготовленной горячей водой с низкой минерализацией. Данные о пусковом растворе заносят в таблицу 4 книжки КГ-13М1.

8.5.7 Перемешивание раствора осуществляется до момента полного разбавления соли в пусковой ёмкости. Наблюдателю требуется удостовериться в этом, проверив наличие осадка на дне пусковой ёмкости.

8.5.8 В случае производства полевой градуировки наблюдатель должен отобрать незначительный объём (10–50 мл) пускового раствора и смешать его с 1 л речной воды, приготовив тем самым вторичный раствор, который погружается в подготовленной ёмкости в поток для поддержания температуры среды.

8.5.9 После приготовления раствора в измерительном створе производится установка датчика для измерения УЭП или C_t . Если выбранное СИ имеет функцию автоматической регистрации данных измерений, то необходимо начать её с дискретностью от 1 до 10 с. В

случае использования СИ без функции записи на измерительном створе остаётся второй наблюдатель, фиксирует ход ионного паводка в книжке КГ-13М1 с интервалом до 5 с при стремительном течении ионного паводка (продолжительностью до 10 мин) и не более 30 с при его долгом развитии.

8.5.10 В случае необходимости пуска солевого раствора с очень малым содержанием индикатора, допускается приготовление большого стандартного объёма раствора и пуска части его в поток. При этом количество пущенной соли считается пропорционально. Например, при необходимости пуска 100 г соли в поток пускается 500 мл раствора концентрацией 1 кг соли на 5 л воды.

8.5.11 Пуск индикатора осуществляется в стрежневую часть потока простым опрокидыванием пусковой ёмкости с раствором или сухой солью в одну точку, или, по возможности, интегрально – по всей ширине потока. Интегральный способ является приоритетным, если при этом имеется возможность не нарушать технику безопасности. С началом подъёма ионного паводка в измерительном створе фиксируются значения фиксируемого показателя в таблице 5 книжки КГ-13М1 (либо сохраняются в электронном виде с пометкой об этом и фиксацией только значения суммы).

8.5.12 В случае применения сухого пуска обязательно использование интегрального способа пуска в поток – равномерно по ширине потока, или его зоне с наибольшим расходом воды.

8.5.13 Измерение продолжается до тех пор, пока значение фиксируемого показателя не вернётся к своему фоновому значению, или стабилизируется на некоторой иной отметке в рамках погрешности используемого СИ (см. 7.2).

8.5.14 В случае производства полевой градуировки наблюдатель производит необходимые процедуры, описанные в приложении Б с занесением в таблицу 7 книжки КГ-13М1.

8.6 Порядок выполнения измерений методом постоянного пуска солевого раствора

8.6.1 Необходимые действия на начальном этапе производства работ аналогичны (см. 8.5.1–8.5.7), при этом производство полевой градуировки является необходимым только при производстве высокоточных измерений или переходе к режимным наблюдениям.

8.6.2 В измерительном створе устанавливается датчик УЭП (кондуктометр), общего количества твёрдых растворённых веществ или солемер по требованиям (см. 8.4) без необходимости регистрировать данные с течением времени. Наблюдатель в таблице 5 книжки КГ-13М2 фиксирует лишь четыре величины – фоновое значение фиксируемого показателя, значение фиксируемого показателя по достижении устойчивого состояния, амплитуду разброса значений фона и направленность стабилизации.

8.6.3 В измерительном створе наблюдателю необходимо установить пусковую ёмкость в строго горизонтальной плоскости и зафиксировать трубку для подачи раствора на определённой высоте над потоком или определённой глубине в потоке. Вместимость пусковой ёмкости зависит от величины измеряемого расхода воды и расхода истечения из неё. Требования по выбору вместимости пусковой ёмкости в зависимости от оценки измеряемого расхода даны в таблице 4.

8.6.4 С помощью мерного сосуда вместимостью 500–1000 мл с высокой точностью объёмным методом необходимо измерить расход истечения из пусковой ёмкости. Он должен быть несоизмеримо мал по сравнению с измеряемым расходом водотока (не более 1 % от него). При этом важно соблюсти постоянство высотной отметки выходного конца трубки, так как при изменении её положения зависит расход истечения из пусковой ёмкости. Расход истечения может варьироваться наблюдателем с помощью насадок на трубку, требования по его величине

в зависимости от оценки измеряемого расхода даны в таблице 4. Установленный расход истечения из пусковой ёмкости заносят в таблицы 8 или 9 книжки КГ-13М2.

Т а б л и ц а 4 – Требования по выбору вместимости пусковой ёмкости

Оценка измеряемого расхода воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Вместимость пусковой ёмкости, л	Расход истечения из пусковой ёмкости q , $\text{мл}/\text{с}$
$Q \leq 0,5$	0,5–1,5	0,5–5
$0,5 < Q \leq 1$	5–10	5–15
$1 < Q \leq 50$	20–30	15–25
$Q > 50$	50–70	25–50

8.6.5 В пусковом створе производится подача солевого раствора в поток с постоянным расходом истечения до тех пор, пока в измерительном створе фиксируемый показатель не достигнет определённой величины и не стабилизируется на этом уровне, который фиксируется в таблицах 8 или 9 книжки КГ-13М2.

8.6.6 В зимнее время наблюдатель должен не допустить замерзания раствора в трубке. Даже при применении тёплого раствора трубка может частично замерзнуть, что приведёт к изменению расхода истечения. При обнаружении такого процесса наблюдателю рекомендуется провести обогрев трубки подручными средствами.

9 Обработка результатов измерений

9.1 Расчёт расхода воды

9.1.1 Для расчёта расхода воды методом ионного паводка используются два расчётных алгоритма – основной, основанный на уравнении баланса сохранения массы соли и формализованный в виде расчётных формул (5) и (7) и уточнённый, базирующийся на законе

сохранения объёма раствора соли и формализованного в виде расчётной формулы (8).

В случае необходимости перехода от одних единиц измерения к другим наблюдатель заполняет информацию в таблице 6 книжек КГ-13М1 или КГ-13М2 (см. раздел 8).

9.1.2 Расчёт основным алгоритмом ведут на основании данных из таблиц 2, 4, 5 и заносят в таблицу 8 книжки КГ-13М1, который производится по следующей формуле в случае измерения УЭП₂₅

$$Q = \frac{m}{k_m A_{уэп_{25}}}, \quad (12)$$

где Q – расход воды, м³/с;

k_m – массовый коэффициент пропорциональности, мг · см/(мкСм · л)

$A_{уэп_{25}}$ – площадь под кривой графика ионного паводка в единицах УЭП₂₅, (мкСм/см) · с;

m – масса вводимого индикатора, г.

При этом k_m рассчитывают по формуле (6) в зависимости от фонового значения УЭП (при УЭП_{фон} > 500) или назначается равным 0,486 для слабоминерализованных вод (УЭП_{фон} < 500 мкСм/см).

В случае измерения минерализации солемером выражение формулы (12) приобретает вид

$$Q = \frac{m}{A}, \quad (13)$$

где A – площадь под кривой графика ионного паводка в единицах минерализации, мг/л.

9.1.3 Расчёт уточнённым алгоритмом ведут на основании данных из таблиц 4, 5, 7 и заносят в таблицу 9 книжки КГ-13М1, который производится по расчётной формуле в случае измерения УЭП₂₅

$$Q = \frac{V}{k_v A_{уэп_{25}}}, \quad (14)$$

где Q – вычисляемый расход воды, м³/с;

k_v – объёмный коэффициент пропорциональности, см/мкСм;

V – объём вводимого солевого раствора, л.

Данная расчётная схема реализована в единицах УЭП₂₅. При измерении УЭП_{факт} необходимо производить перевод значений в УЭП₂₅ согласно рекомендациям (см. 4.1.2.2) как при расчёте ионного паводка, так и при полевой градуировке.

При этом k_v рассчитывается по результатам полевой градуировки в соответствии с приложением А.

9.1.4 Расчёт расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора производят по формулам (15) и (16) на основании данных таблицы 8 книжки КГ-13М2.

9.1.5 В случае измерения УЭП формула имеет вид

$$Q = \frac{q}{k_v (УЭП_{уст} - УЭП_{фон})}, \quad (15)$$

где УЭП_{уст} – УЭП по достижении устойчивого состояния, мкСм/см;

q – расход истечения из пусковой ёмкости, л/с.

9.1.6 В случае измерения минерализации формула имеет вид

$$Q = q \frac{(0,95 \cdot C_1 - C_{уст})}{(C_{уст} - C_{фон})}, \quad (16)$$

где C_1 – минерализация вводимого соляного раствора, мг/л;

$C_{уст}$ – минерализация воды по достижению устойчивого состояния, мг/л;

$C_{фон}$ – фоновая минерализация, мг/л.

Минерализация вводимого раствора C_1 определяется эмпирически делением массы используемой в растворе соли в миллиграммах на объём раствора в литрах. Коэффициент 0,95 вводится из-за вытеснения солью доли исходного объёма воды.

Пример расчёта расхода воды методом ионного паводка приведён в приложении И, а методом постоянного пуска солевого раствора – в приложении К.

9.2 Оценка достоверности расчётного расхода воды

9.2.1 Основным объективным критерием качества измерения является разница в расчётных расходах воды, полученных по нескольким датчикам, установленным в разных частях потока. В случае использования двух или более датчиков (см 8.4.4, 8.4.5) в измерительном створе разница в расчётном расходе воды между ними должна находиться в интервале от 5 % до 20 % в зависимости от характеристик русла на участке смешения согласно критериям из наставлений [18] (таблица 11). В такой ситуации необходимо заполнить таблицы 2–4 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2) согласно приложению Л.

9.2.2 В качестве оценки достоверности полученного значения расхода воды используются также вспомогательные критерии, приведённые в зависимостях (17) – (20):

- пик ионного паводка должен превышать величину погрешности измеряемого показателя $\delta_{СИ}$ не менее, чем в 4 раза

$$\frac{4\delta_{\text{СИ}}}{\Phi\text{П}_{\text{пик}} - \Phi\text{П}_{\text{фон}}} \leq 1; \quad (17)$$

- дрейф фона графика ионного паводка (его хвоста) $\Delta_{\text{фп,фон}}$ не должен составлять более 10 % величины поднятия пика ионного паводка

$$\frac{\Delta_{\text{фп,фон}}}{\Phi\text{П}_{\text{пик}} - \Phi\text{П}_{\text{фон}}} \leq 0,10; \quad (18)$$

- продолжительность добега фронта солевого раствора до измерительного створа $t_{\text{добег}}$ не должна быть менее 30 с;
- фактическое расчётное СД не должно быть выше или ниже указанных в таблице 3 показателей;
- соблюдены граничные условия, формализованных в виде двух численных выражений зависимостей (19) и (20), а также характерных условий для каждого из методов, закреплённых в разделе 5

$$L/B \geq 7; \quad (19)$$

$$B/h \leq 25. \quad (20)$$

9.2.3 В конце камеральной обработки результатов измерения наблюдатель оценивает достоверность полученного результата на основании качественных и количественных критериев в таблицах 10 и 11 книжки КГ-13М1 или КГ-13М2. В случае недостоверности измеренного расхода воды, такое значение не может быть принято. Необходимо провести повторное измерение с изменением исходных условий.

10 Применение методов для определения расходов воды на гидрологических постах при возможности производства сравнительных измерений

10.1 Метод ионного паводка или постоянного пуска солевого раствора может быть использован в качестве основного в рамках режимного гидрометрического учёта стока либо во всём диапазоне измеряемых расходов воды, либо частично, согласно условиям их применимости (см. раздел 5).

10.2 Для перехода от традиционных методов измерения расходов воды на гидрологическом посту (ГП) к методу смешения необходимо проведение сравнительных измерений, которые заключаются в одновременном измерении каждого расхода воды на ГП методом смешения и традиционным способом.

Период сравнительных измерений не должен быть менее одного года. За этот период должно быть получено не менее 30 сравнительных измеренных расходов воды (ИРВ) в разные фазы водности. Если на ГП наблюдаются ледовые явления, то не менее 10 ИРВ – в период их прохождения. Данные о сравнительных ИРВ заносятся в таблицу 9 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2).

10.3 Максимальное расхождение по всем ИРВ в период сравнительных измерений не должно превышать 20 % от измеряемой величины, при условии, что традиционный способ измерения расхода не подлежит сомнению, согласно наставлению [18] (таблица 11). Если это условие выполняется, то метод может быть принят как основной в той амплитуде колебания уровня воды, при которой имеются сравнительные измерения. Если условие не выполняется, то период сравнительных наблюдений продлевается ещё на один год. При систематических отклонениях под сомнение должно быть поставлено положение о допустимой точности традиционного способа измерения расхода. В таких

случаях рекомендуется: временно перенести гидроствор для измерения традиционным СИ, увеличить количество измеряемых скоростных горизонтов и вертикалей, использовать иное традиционное СИ.

10.4 Если метод уже принят как основной, но уровень воды находится значительно ниже или выше измеренных в период сравнительных измерений значений, требуется провести измерение традиционным способом. Если расхождение сравнительных ИРВ находится в интервале от 5 % до 20 % согласно наставлению [18] (таблица 11) амплитуда применимости метода смешения должна быть расширена.

10.5 В период сравнительных измерений необходимо использовать не менее двух однотипных датчиков УЭП, общего количества твёрдых растворённых веществ или солемеров, расположенных у каждого из берегов измеряемого потока, либо приуроченных к участкам сечения русла с различными скоростями течения. Сравнительные характеристики расхода вносятся в таблицы 2–4 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2).

10.6 В период сравнительных измерений обязательным является осуществление процедуры полевой градуировки и расчёт как по основному, так и уточнённым алгоритмам с дальнейшим сравнением результатов в таблице 5 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2). Расхождение по двум алгоритмам не должно превышать 5 %. В дальнейшем, при устойчивом переходе допускается применение только основного алгоритма.

10.7 На ГП необходимо провести работы для фиксации не менее трёх участков смешения в зависимости от амплитуды изменения расходов воды. Чем выше значение расхода, тем длиннее должен быть участок смешения. Процедура по нахождению оптимальной длины участка смешения описана ниже:

а) по результатам измерений расходов воды на ГП в предшествующие годы выделяется три группы водности – малая, средняя и высокая с занесением в таблицу 1 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2);

б) в момент измерения расхода воды из выбранной группы водности проводится серия пусков с изменением положения пускового и (или) измерительного створа(ов). Варьируется длина участка смешения. Необходимо провести испытания до тех пор, пока рассчитанный расход воды будет оставаться неизменным (с точностью до 5 %) с каждым новым шагом по длине участка. Всего должно быть выполнено не менее трёх шагов;

в) строится зависимость $Q = f(L)$. Оптимальной является та длина участка смешения, при которой величина расчётного расхода воды стабилизируется на одном значении на расстоянии 100 м, как показано на рисунке 7;

г) такая процедура проводится для каждого из трёх диапазонов изменения расхода воды с установлением оптимальной длины участка смешения и положений пускового и измерительного створов для каждой из них с занесением информации о зафиксированных участках смешения в таблицу 8 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2).

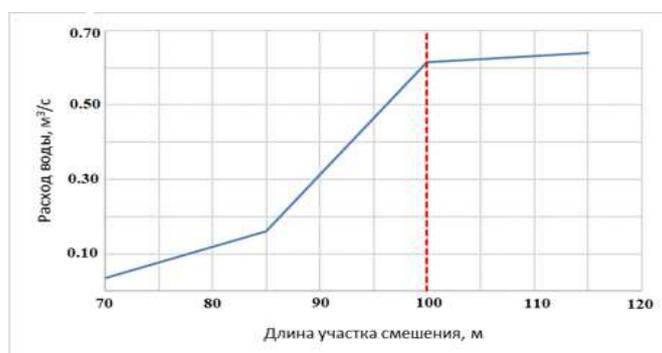


Рисунок 7 – Пример определения минимальной длины участка смешения

10.8 Работы по назначению участков смешения для трёх групп водности, пусковых, измерительных створов для них производятся под руководством и плану начальника станции, который так же назначает ответственное (-ые) лицо (-а) для выполнения данных работ.

10.9 В период сравнительных измерений также необходимо фиксировать характеристики продолжительности ионного паводка и информацию о скоростях течения в таблице 6 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2).

10.10 Ответственный исполнитель заполняет в свободной форме Протокол о переходе от стандартных методов измерения расхода воды к использованию метода ионного паводка или постоянного пуска солевого раствора, составляемый с отражением в нём материалов таблиц 1, 7–9 (Дополнение к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2).

11 Применение методов для определения расходов воды на гидрологических постах при невозможности производства сравнительных измерений

11.1 Метод ионного паводка или постоянного пуска солевого раствора может применяться как основной для гидрометрического учёта стока в нескольких основных случаях:

- на ГП, где измерение расходов воды было прекращено ввиду сложности измерения стандартными СИ;

- на ГП, где ведутся наблюдения за уровнем воды, но, ввиду ряда условий измерения расхода воды не производятся, но необходимость в них есть. К таким условиям можно отнести малые глубины, каменистое или неустойчивое русло, зарастающее русло, небезопасность самого процесса измерения скоростей течения в русле;

- при экспедиционных исследованиях;

- при выполнении инженерных гидрометрических изысканий на малых реках.

11.2 При каждом измерении необходимо следовать рекомендациям (см. 8.5.1–8.5.11) для метода ионного паводка и (см. 8.6.1–8.6.6) для метода постоянного пуска солевого раствора. Ключевым моментом при таких измерениях (выполняемых впервые) является точное определение створов измерения по 11.3.

11.3 Далее выполняются положения (см. 10.7), но измерениями должны быть обеспечены не менее 4 точек по ширине потока, чтобы более точно оценить степень смешения раствора. Расхождение результатов расчёта расхода воды, полученного в каждой из точек должно находиться в интервале от 5 % до 20 % в зависимости от характеристик русла в соответствии с наставлением [18] (таблица 11), а условия зависимостей (17) – (20) выполняться – эти условия являются единственным подтверждением надёжности отдельного измерения и дальнейшего учёта стока на его основе.

Приложение А (обязательное)

Инструкция по производству полевой градуировки для установления объёмного коэффициента пропорциональности

А.1 Приготовление вторичного раствора:

1) отберите 1000 мл речной воды из потока, в котором производится измерение расхода воды, в ёмкость для вторичного раствора (закрывающуюся бутылку с узким горлом вместимостью от 1,5 л). Из общей ёмкости с вводимым раствором градуированной стеклянной мерной колбой или шприцом отберите от 10 до 20 мл раствора и смешайте с отобранной 1000 мл речной воды. Полученная смесь и называется вторичным раствором с относительной концентрацией индикатора $RC_{\text{втор. р}}$

$$RC_{\text{втор. р}} = \frac{X}{V_0 + X}, \quad (\text{A.1})$$

где X – объём отобранного пускового раствора, мл;

V_0 – объём отобранной речной воды, мл;

2) поместите ёмкость со вторичным раствором в речной поток, для поддержания температуры водной среды;

3) в конце измерений отберите ещё 1000 мл речной воды в градуировочную ёмкость. Такой может быть чистая стеклянная или пластиковая ёмкость с широким горлом (с габаритами входного отверстия, позволяющими беспрепятственно производить измерения датчиком кондуктометра), вместимостью от 1,5 л;

4) в резервуаре для градуировки с 1000 мл речной воды произведите измерение фоновой электропроводности речной воды $УЭП_{\text{фон}}$;

5) используя мерную колбу и шприц, введите в градуировочный резервуар вторичный раствор объёмом u (от 2 до 10 мл в зависимости от концентрации вводимого раствора и того, как высоко поднялся пик ионного паводка). Измерьте электропроводность получившегося раствора. Важно использовать разные ёмкости для отбора вводимого раствора для приготовления вторичного раствора и отбора вторичного раствора на каждом из шагов градуировки;

P 52.08.930–2023

6) Повторите процедуру (5) до достижения значений электропроводности пика ионного паводка, но не менее трёх раз суммарно, каждый раз фиксируя электропроводность. При этом концентрация индикатора на каждом шаге i будет определяться по формуле

$$RC_i = \frac{RC_{\text{втор. р}} \cdot \sum y}{(V_0 + \sum y)}, \quad (\text{A.2})$$

где $\sum y$ – нарастающий объём вводимого вторичного раствора, мл;

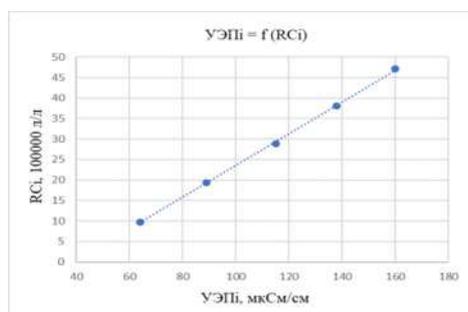
7) По завершении процедуры градуировки с использованием данных соотношений $RC_i/UЭП_i$ для всех шагов градуировки строится график зависимости $RC = f(UЭП)$. При корректной процедуре градуировки график должен представлять собой прямую линию, а её наклон – коэффициент пропорциональности k_v , также рассчитываемый математически по формуле

$$k_v = \frac{RC_{\text{кон}}}{(UЭП_{\text{кон}} + UЭП_{\text{фон}})}, \quad (\text{A.3})$$

где $UЭП_{\text{кон}}$ – значение $UЭП$ в градуировочном резервуаре по завершению последнего шага процедуры градуировки, мкСм/см;

$RC_{\text{кон}}$ – относительная концентрация раствора в градуировочном резервуаре по завершению последнего шага процедуры градуировки, л/л.

А.2 Образец градуировки с $V_0 = 1000$ мл и $y_i = 10$ мл во время измерений расхода воды на ручье Западный-1 приведён на рисунке А.1.



V_i , мл	$\sum y$, мл	$UЭП_i$, мкСм/см	RC_i , 10^{-5} (л/л)
1000	0	41	0,00
1010	10	64	9,80
1020	20	89	19,4
1030	30	115	28,8
1040	40	138	38,1
1050	50	160	47,1
$RC_{\text{втор. р.}}$, 10^{-3} (л/л)			9,90

$$k_v = \frac{RC_{\text{кон}}}{(UЭП_{\text{кон}} - UЭП_{\text{фон}})} = \frac{47,1 \cdot 10^{-5}}{(160 - 41)} = 3,96 \cdot 10^{-6} \text{ см/мкСм}$$

Рисунок А.1 – Градуировка на ручье Западный-1 26.08.2021

Градуировка – процедура, требующая предельной точности и аккуратности. Поэтому в случаях использования кондуктометров с автоматической температурной компенсацией, эту процедуру требуется делать в лабораторных условиях. В противном случае доля погрешности, вносимая градуировкой в конечную оценку расхода воды, может быть велика.

Приложение Б
(рекомендуемое)

**Форма журнала контрольной градуировки
кондуктометров или солемеров**

Дата процедуры	Наименование СИ	Используемый раствор	Тип процедуры	Краткое описание процедуры
Примечание – Тип процедуры: 1 – заводская градуировка; 2 – градуировка с помощью стандартного раствора; 3 – градуировка сравнительным испытанием; 4 – градуировка с помощью растворов соли на основе дистиллированной воды и вычисления эталонной характеристики; 5 – обработка чувствительных элементов датчика.				

Приложение В (справочное)

Минимально необходимый комплект оборудования для измерения расхода воды методом ионного паводка

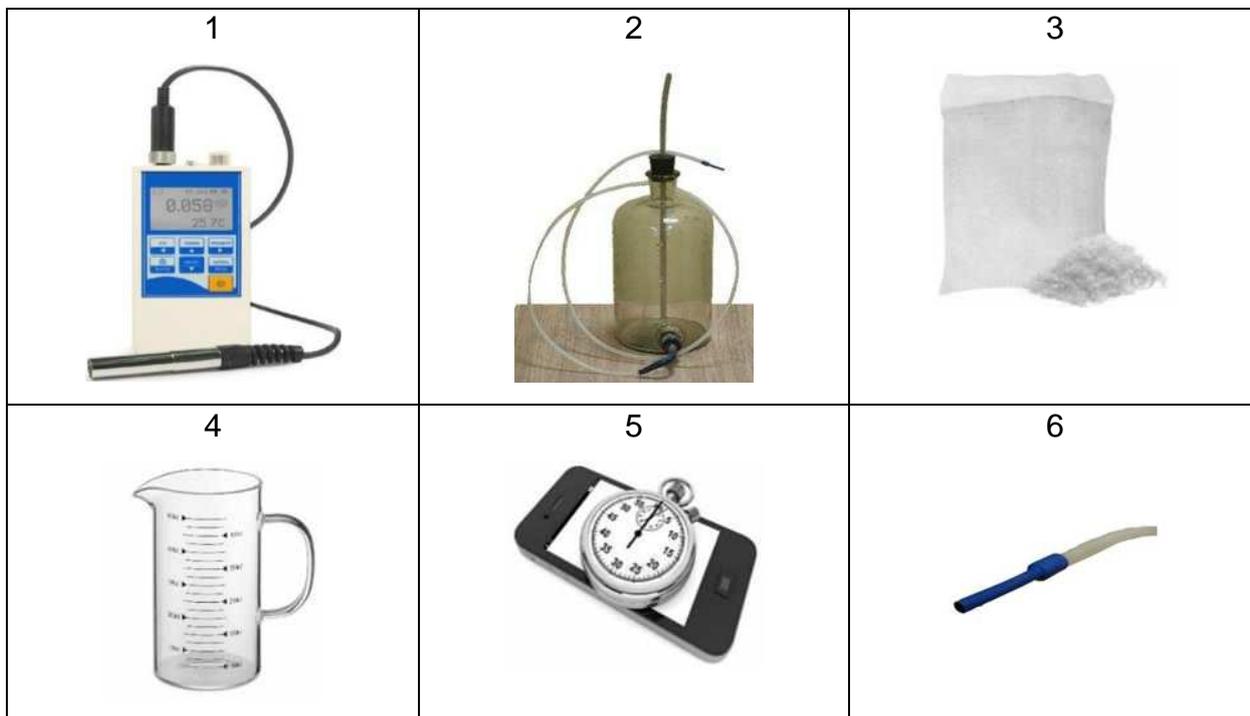


- 1 – датчик УЭП (кондуктометр) или солемер для измерения хода ионного паводка;
2 – бочка или ведро вместимостью 20–65 л для разведения пускового раствора;
3 – соль в количестве согласно СД для приготовления раствора или сухого пуска;
4 – градуированная ёмкость 5–10 л для отбора воды в пусковую ёмкость;
5 – приспособление для размешивания пускового раствора;
6 – секундомер для фиксации времени

Рисунок В.1

Приложение Г
(справочное)

**Комплект оборудования для применения метода постоянного пуска
солевого раствора**



1 – датчик УЭП (кондуктометр) или солемер для фиксации фона и уровня стабилизации измеряемого показателя; 2 – пусковая ёмкость вместимостью 0,5–70 л с системой подачи раствора с постоянным расходом воды для подачи раствора в поток с постоянным расходом; 3 – соль в количестве согласно СД для приготовления раствора; 4 – стакан с рельефной градуировкой и ручкой (мерный сосуд) вместимостью 500–1000 мл для измерения расхода истечения; 5 – секундомер для измерения расхода истечения; 6 – насадка на трубку диаметром от 2 до 20 мм для варьирования расхода истечения

Рисунок Г.1

Приложение Д (справочное)

Конструкция пусковой ёмкости для измерения расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора

Д.1 Существует несколько подходов к созданию пусковой ёмкости, необходимой для измерения расхода воды методом пуска солевого раствора в поток с постоянным расходом истечения. Конструкция пусковой ёмкости представлена на рисунке Д.1, а необходимые для её создания устройства и их назначение приведены в таблице Д.1.



1 – пусковая ёмкость; 2 – силиконовая пусковая трубка;
3 – жёсткая трубка; 4 – прокладки резиновые; 5 – врезка для трубки;
6 – резиновая коническая пробка; 7 – зажим для пусковой трубки

Рисунок Д.1 – Пусковая ёмкость

Т а б л и ц а Д.1

Материал	Назначение
1 Стеклоанная, пластиковая или силиконовая ёмкость вместимостью согласно таблицы 4	Для солевого раствора
2 Силиконовая пусковая трубка внутренним диаметром от 1,5 до 20 мм	Для истечения пускового раствора из ёмкости
3 Жёсткая трубка (из металла, пластика), открытая с обоих концов	Для передачи воздуха в сосуд (передача атмосферного давления)
4 Прокладки резиновые	Для герметизации выходного отверстия
5 Врезка для пусковой трубки, соответствующего диаметра, (см. п. 2)	
6 Резиновая коническая пробка для данного диаметра горловины пусковой ёмкости	Для закупорки горловины ёмкости
7 Зажим для пусковой трубки	Для удобства работы и варьирования расхода истечения

Р 52.08.930–2023

Д. 2 Инструкция по созданию пусковой ёмкости для применения метода постоянного пуска солевого раствора:

1) изначально согласно требованиям таблицы 4 в зависимости от величины расходов водотоков, на которых будет применяться метод постоянного пуска солевого раствора, необходимо определиться с вместимостью пусковой ёмкости;

2) пусковая ёмкость поз. 1 может быть пластиковой, стеклянной или складной силиконовой. При этом необходимо учитывать, что несмотря на большую хрупкость, стекло гораздо лучше отмывается от солей на стенках, поэтому при использовании растворов с разными концентрациями необходимо отдавать предпочтение ёмкости из этого материала;

3) в нижней части ёмкости поз. 1 перовым сверлом делается выходное отверстие поз. 5 диаметром под силиконовую трубку поз. 2 для подачи раствора. Отступ от дна ёмкости должен составлять не менее 2 см. В тоже время отверстие не должно располагаться слишком высоко, тем самым уменьшая эффективный объём раствора в ёмкости;

4) для герметизации выходного отверстия применяют резиновые прокладки поз. 4;

5) в конической пробке сверлом по резине делается отверстие под жёсткую трубку поз. 3, которая служит для передачи атмосферного давления в сосуд, тем самым обеспечивая постоянство давления на жидкость и расхода истечения;

6) дополнительно бутылку необходимо укомплектовать штативом-треногой со съёмной площадкой под пусковую ёмкость, оборудованную тремя фиксаторами бутылки (уголками), расположенными под углом 120° относительно центра, как показано на рисунке Д.2.

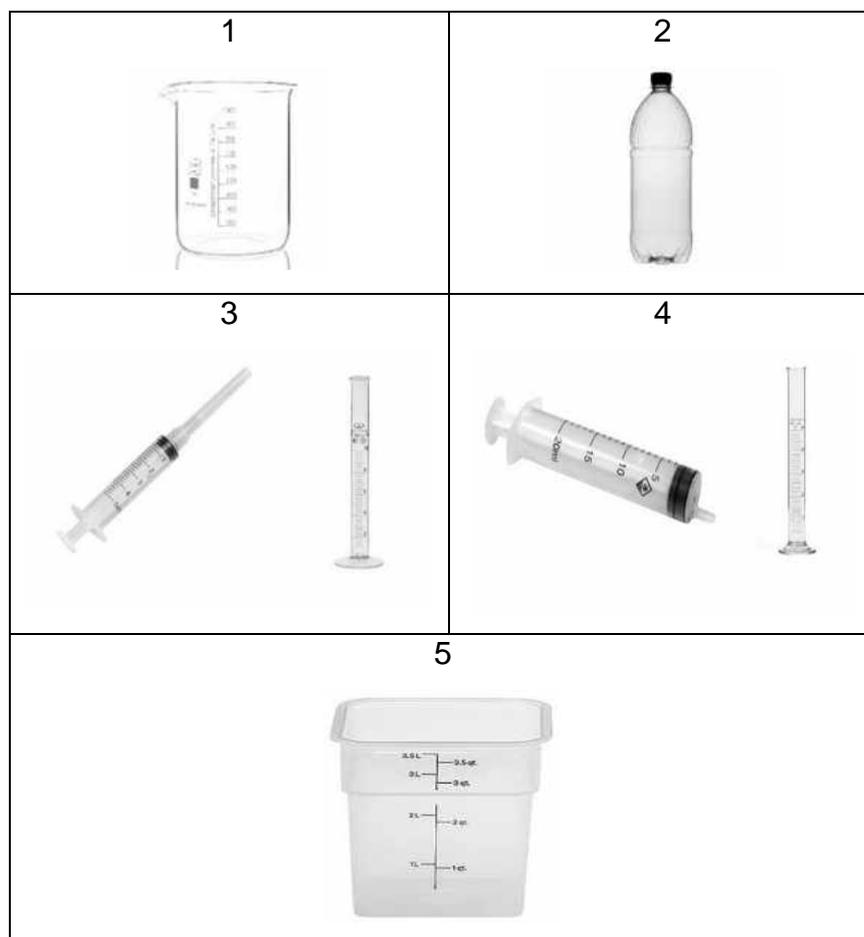


а – вид сбоку, б – вид сверху

Рисунок Д.2 – Штатив-тренога для пусковой ёмкости, разработанный в ГГИ

Приложение Е (справочное)

Дополнительный комплект оборудования для производства полевой градуировки



1 – стакан с рельефной градуировкой (мерный сосуд) вместимостью 1 л для отбора воды для вторичного раствора; 2 – закрывающаяся бутылка вместимостью не менее 1,5 л для разведения вторичного раствора; 3 – шприц или мерный цилиндр вместимостью 10–25 мл для ввода пускового раствора во вторичный раствор; 4 – шприц или мерная колба вместимостью 10–100 мл для ввода вторичного раствора при градуировке; 5 – градуировочная ёмкость вместимостью не менее 2 л для осуществления в ней процедуры градуировки.

Рисунок Е.1

Приложение Ж
(обязательное)

**Формы книжек КГ-13М1 и КГ-13М2 для записи результатов
измерения расхода воды**

**Ж.1 Форма книжки КГ-13М1 для записи результатов измерения
расхода воды методом ионного паводка**

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)

ФГБУ « _____ »

КГ-13М1

КНИЖКА

для записи результатов измерения расхода воды

методом ионного паводка

Тип пуска: $\frac{\text{сухой}}{\text{раствора}}$

за _____ г.

Река _____

ГП _____

Створ № _____

расположен в _____ км $\frac{\text{выше}}{\text{ниже}}$ основного водомерного поста

Расход измерил (наблюдатель) _____

Расход вычислил _____

Применяемое средство измерения _____

ОБСТАНОВКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ

Состояние реки на участке смешения _____

Погода: ясно, пасмурно, туман, дождь, снег _____

Тип используемого СИ _____

Дата последней градуировки датчика СИ _____

Используется ли второе СИ: $\frac{\text{да}}{\text{нет}}$

Тип используемого второго СИ _____

Дата последней градуировки датчика второго СИ _____

Расхождение в показаниях фонового показателя двух СИ _____

Уровень воды на посту до измерения _____, см

Уровень воды на посту после измерения _____, см

ПЛАН-СХЕМА УЧАСТКА СМЕШЕНИЯ

Пусковой створ Координаты: X Y	Измерительный створ Координаты: X Y
---	--

Характеристика участка смешения:**Таблица 1 – Оценочные морфометрические характеристики**

Длина участка смешения L , м	Средняя ширина русла B , м	Средняя глубина русла h , м	Средняя скорость $v_{\text{ср.уч}}$, м/с	Площадь сечения F , м ²
1	2	3	4	5

Количество излучин _____

Количество участков с изменением пропускной способности русла _____

Состояние русла _____

Оценка средней скорости течения $v_{\text{ср.уч}}$ на участке смешения _____Оценка средней площади живого сечения на участке смешения ω _____

ИЗМЕРЕНИЕ

Таблица 2 – Общая информация

Время измерения, ч:мин		Фиксируемый показатель, мкСм/см, г/л			Единица измерения фиксируемого показателя	Интервал записи показателя Δt , с
начала	конца	УЭП ₂₅	УЭП _{факт}	C_t		
1	2	3			4	5

Таблица 3 – Условия измерения

Температура воды $T_B, ^\circ\text{C}$	Фоновое значение ФП (мкСм/см, ррт, мг/л)	Оценка измеряемого расхода воды наблюдателем
1	2	3

Таблица 4 – Информация о пусковом растворе

Масса соли m , кг	Тип соли (химический состав)	Объём раствора V , л	Соотношение раствора, кг : л	Оценочное СД, кг : м ³ /с
1	2	3	4	5

Таблица 5 – Ход ионного паводка

Время от начала пуска, с	Значение Φ_{P_t}	Разница $\Phi_{P_t} - \Phi_{P_{фон}}$	$\Delta t \sum \Phi_{P_t} - \Phi_{P_{фон}}$
1	2	3	4
....			
$\sum_0^{t_k} \Delta t \sum \Phi_{P_t} - \Phi_{P_{фон}} = A$			

График хода ионного паводка



РАСЧЕТ РАСХОДА ВОДЫ

Таблица 6 – Информация о переводе единиц измерения

Массовый коэффициент пропорциональности k_m , мг · см/(мкСм · л)	Коэффициент перехода от общего количества твёрдых растворённых веществ к УЭП ₂₅	Алгоритм перехода от УЭП ₂₅ к C_t
1	2	3

Таблица 7 – Полевая градуировка

V_i , мл	$\sum U_i$, мл	УЭП _i , мкСм/см	$RC_i \cdot 10^{-5}$, л/л	Примечания
$RC_{\text{втор. р.}} \cdot 10^{-3}$, л/л				
k_v , см/мкСм				

Таблица 8 – Расчёт расхода воды с помощью основного алгоритма

Масса соли m , кг	$A_{\text{уэп25}}$, (мкСм/см) · с	k_m , мг · см/(мкСм · л)	Расход воды Q , м ³ /с,
1	2	3	4

Таблица 9 – Расчёт расхода воды с помощью уточнённого алгоритма

Объём раствора V, л	$A_{уэп25}$ (мкСм/см) · с	k_v , см/мкСм	Расход воды Q, м³/с
1	2	3	4

ИТОГОВЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 10 – Оценка достоверности полученного расхода воды

$\frac{4\delta_{си}}{\PhiП_{пик} - \PhiП_{фон}}$, %	$\frac{\Delta\PhiП,фон}{\PhiП_{пик} - \PhiП_{фон}}$, %	СД	Л/В	В/н	$\PhiП_{фон,пс} - \PhiП_{фон,ис}$	$\frac{Q_{датч.1} - Q_{датч.2}}{0,01 \cdot Q_{ср}}$, %	$v_{ср.уч}$, м/с	$t_{добег}$, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 11 – Итоговый расход воды

Значение ИРВ Q, м³/с	Оценка достоверности
1	2
	Достоверен / не достоверен

Заключение о соответствии условиям применимости метода _____

Оценка качества произведённого измерения _____

Примечания наблюдателя _____

Ж.2 Форма книжки КГ-13М2 для записи результатов измерения расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)

ФГБУ «_____»

КГ-13М2

КНИЖКА

**для записи результатов измерения расхода воды
методом постоянного пуска солевого раствора**

за _____ г.

Река _____

ГП _____

Створ № _____

расположен в ___ км $\frac{\text{выше}}{\text{ниже}}$ основного водомерного поста

Расход измерил (наблюдатель) _____

Расход вычислил _____

Применяемое средство измерения _____

ОБСТАНОВКА РАБОТ

Состояние реки на участке смешения _____

Погода: ясно, пасмурно, туман, дождь, снег _____

Тип используемого СИ _____

Дата последней градуировки датчика СИ _____

Используется ли второе СИ: $\frac{\text{да}}{\text{нет}}$

Тип используемого второго СИ _____

Дата последней градуировки датчика второго СИ _____

Расхождение в показаниях фонового показателя двух СИ _____

Уровень воды на посту до измерения _____, см

Уровень воды на посту после измерения _____, см

ПЛАН-СХЕМА УЧАСТКА СМЕШЕНИЯ:

Пусковой створ:
Координаты:
X
Y

Измерительный створ:
Координаты:
X
Y

Характеристика участка смешения:

Таблица 1 – Оценочные морфометрические характеристики

L, м	B, м	h, м	$V_{\text{ср.уч}}$, м/с	F, м²
1	2	3	4	5

Количество излучин _____

Количество участков с изменением пропускной способности русла _____

Состояние русла _____

Оценка средней скорости течения $V_{\text{ср.уч}}$ на участке смешения _____

Оценка средней площади живого сечения на участке смешения ω _____

ИЗМЕРЕНИЕ

Таблица 2 – Общая информация

Время измерения, ч : мин		Фиксируемый показатель, мкСм/см, мг/л			Единица измерения фиксируемого показателя
начала	конца	УЭП ₂₅	УЭП _{факт}	C _t	
1	2	3			4

Таблица 3 – Условия измерения

Температура воды $T_{в}, ^\circ\text{C}$	Фоновое значение ФП (мкСм/см, ррт, мг/л)	Оценка измеряемого расхода воды наблюдателем
1	2	3

Таблица 4 – Информация о пусковом растворе

Масса соли m , кг	Тип соли (химический состав)	Объём раствора V , л	Соотношение раствора, кг : л
1	2	3	4

Таблица 5 – Характеристики измерения

Значение ФП _{фон}	Значение ФП _{уст}	Разница ФП _{фон} – ФП _{уст}	Направленность стабилизации
1	2	3	4

РАСЧЕТ РАСХОДА ВОДЫ

Таблица 6 – Информация о переводе единиц измерения

Массовый коэффициент пропорциональности k_m , мг · см/мкСм · л	Коэффициент перехода от общего количества твёрдых растворённых веществ к УЭП ₂₅	Алгоритм перехода от УЭП ₂₅ к УЭП _{факт}
1	2	3

Таблица 7 – Полевая градуировка

V_i , мл	$\sum y_i$, мл	УЭП _i , мкСм/см	$RC_i \cdot 10^{-5}$, л/л	Примечания
$RC_{\text{втор. р.}} \cdot 10^{-3}$, л/л				
k_v , см/мкСм				

Таблица 8 – Расчёт расхода воды в единицах УЭП

q , мл/с	УЭП _{фон} , мкСм/см	УЭП _{уст} , мкСм/см	k_v , см/мкСм	Расход воды Q , м ³ /с
1	2	3	4	5

Таблица 9 – Расчёт расхода воды в единицах минерализации

q , мл/с	УЭП _{фон} , мкСм/см	$C_{\text{фон}}$, мг/л	C_1 , мг/л	УЭП _{уст} , мкСм/см	$C_{\text{уст}}$, мг/л	Расход воды Q , м ³ /с
1	2	2	3		4	5

ИТОГОВЫЕ ТАБЛИЦЫ**Таблица 10 – Оценка достоверности полученного расхода воды**

<i>L/B</i>	<i>B/h</i>	$\Phi_{\text{фон, ПС}} - \Phi_{\text{фон, ИС}}$	$\frac{Q_{\text{датч.1}} - Q_{\text{датч.2}}}{0,01 \cdot Q_{\text{ср}}}, \%$	$v_{\text{ср.уч}},$ м/с	$t_{\text{добег}},$ с
1	2	3	4	5	6

Таблица 11 – Итоговый расход воды

Значение ИРВ $Q,$ м ³ /с	Оценка достоверности
1	2
	Достоверен / не достоверен

Заключение о соответствии условиям применимости метода _____

Оценка качества произведённого измерения _____

Примечания наблюдателя _____

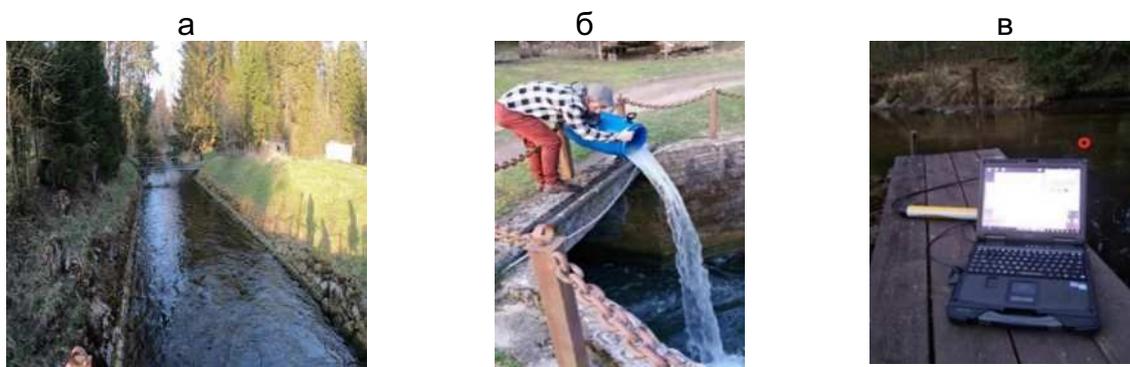
Приложение И (справочное)

Примеры расчёта расхода воды методом ионного паводка основным и уточнённым алгоритмом

И.1 Пример расчёта расхода воды методом ионного паводка мгновенным пуском соляного раствора основным расчётным алгоритмом приведён на основании измерения расхода воды 10.05.2021 на р. Валдайка – оз. Ужин с использованием анализатора качества воды Ott Ecolog с измерением параметра УЭП₂₅ и может быть использован как для сухого пуска, так и для пуска раствора. Расчётные подходы основаны на основном алгоритме.

Измерения производились на спаде весеннего половодья, оценочные морфометрические характеристики приведены в таблице И.1, общая информация об измерении представлена в таблице И.2, об условиях измерения – в таблице И.3. Для измерения был выбран участок смешения, длиной 98 м и включающий в себя прямолинейный участок (рисунок И.1а) нижнего бьефа водосливного сооружения с оз. Ужин (рисунок И.1б) и одну излучину, на выходе с которой в зоне расширения русла замедления потока было установлено СИ (рисунок И.1в). Средняя ширина русла на участке смешения составляла около 7,5 м, глубина – 0,70 м. Пусковой створ был приурочен к водосливному сооружению, раствор (с характеристиками в таблице И.4) подавался непосредственно в нижний бьеф, в зону интенсивного перемешивания водных масс.

График хода ионного паводка продолжительностью 290 с, зафиксирован в таблице И.5 и на рисунке И.2.



а – пусковой створ; б – участок смешения; в – створ измерения

Рисунок И.1 – Фотофиксация на р. Валдайка – оз. Ужин

Т а б л и ц а И.1 – Оценочные морфометрические характеристики

L , м	B , м	h , м	$V_{\text{ср.уч}}$, м/с	F , м ²
1	2	3	4	5
98	7,50	0,70	0,35	2,52

Т а б л и ц а И.2 – Общая информация

Время измерения, ч : мин		Фиксируемый показатель			Единица измерения фиксируемого показателя	Интервал записи фиксируемого показателя Δt , с
начала	конца, t_k	УЭП ₂₅	УЭП _{факт}	C_t		
1	2	3			4	6
17:25	17:31	УЭП ₂₅			мкСм/см	10

Т а б л и ц а И.3 – Условия измерения

Температура воды T_v , °С	Фоновое значение ФП, мкСм/см	Оценка измеряемого расхода воды наблюдателем
1	2	3
11,3	197	2

Т а б л и ц а И.4 – Информация о пусковом растворе

Масса соли m , кг	Тип соли	Объём раствора, л	Соотношение раствора, кг : л	Оценочное СД
1	2	3	4	5
6	Поваренная, мелкая	31	1 : 5,16	3,00

Р 52.08.930–2023

Т а б л и ц а И.5 – Ход ионного паводка на р. Валдайка – оз. Ужин 10.05.2021

Время от начала пуска, с	Значение ФП _t ,	Разница ФП _t – ФП _{фон}	ΣФП _t – ФП _{фон}
0	197	0	0
10	198	1	1
20	203	6	7
30	242	45	52
40	274	77	129
50	274	77	206
60	292	95	301
70	286	89	390
80	273	76	466
90	256	59	525
100	256	59	584
110	241	44	628
120	228	31	659
130	217	20	679
140	210	13	692
150	210	13	705
160	204	7	712
170	202	5	717
180	201	4	721
190	200	3	724
200	200	3	727
210	199	2	729
220	199	2	731
230	198	1	732
240	198	1	733
250	198	1	734
260	198	1	735
270	198	1	736
280	198	1	737
290	197	0	737
$A_{y_{\text{ЭП}}25} = \Delta t \sum_0^{t_k} \Sigma \text{ФП}_t - \text{ФП}_{\text{фон}}$			7370

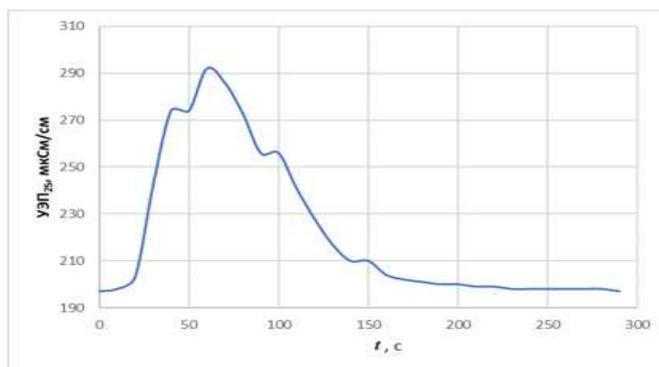


Рисунок И.2 – График хода ионного паводка на р. Валдайка 19.05.2021

Расчёт расхода воды с помощью основного алгоритма производился по зависимости, массовый коэффициент пропорциональности k_m рассчитывался согласно формуле (И.1). Данные для расчёта представлены в таблице И.6, ход расчёта – в выражении формулы (И.2)

$$k_m = (2 \cdot 10^{-9} \text{УЭП}_{\text{фон}}^2 + 2 \cdot 10^{-5} \text{УЭП}_{\text{фон}} + 0,4798) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-9} \cdot 197^2 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 197 + 0,4798 = 0,484 \cdot 10^{-3} \text{ г} \cdot \text{см}/(\text{мкСм} \cdot \text{л}). \quad (\text{И.1})$$

$$Q = \frac{m}{k_m A_{\text{уэп}_{25}}} = \frac{6000}{10^{-3} \cdot 0,484 \cdot 7370} = 1682 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 1,68 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (\text{И.2})$$

Т а б л и ц а И.6 – Расчёт расхода воды с помощью основного алгоритма

Масса соли m , кг	$A_{\text{уэп}_{25}}$	$k_m, \frac{\text{мг} \cdot \text{см}}{\text{мкСм} \cdot \text{л}}$	Расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$
1	2	3	4
6	7370	$0,484 \cdot 10^{-3}$	1,68

Оценка достоверности полученного расхода воды представлена в таблице И.7. По данным расчёта заполняется итоговая таблица И.8.

Т а б л и ц а И.7 – Оценка достоверности полученного расхода воды

$\frac{4\delta_{\text{СИ}}}{\Phi_{\text{пик}} - \Phi_{\text{фон}}}$, %	$\frac{\Delta_{\text{фп,фон}}}{\Phi_{\text{пик}} - \Phi_{\text{фон}}}$, %	СД	L/B	B/h	$\Phi_{\text{фон,пс}} - \Phi_{\text{фон,ис}}$	$\frac{Q_{\text{датч.1}} - Q_{\text{датч.2}}}{0,01 \cdot Q_{\text{ср}}}$, %	$V_{\text{ср.уч}}$, м/с	$t_{\text{добег}}$, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,08	0,00	3,57	13	10	0	-	0,35	42

Т а б л и ц а И.8 – Итоговый расход воды

Значение ИРВ Q, м ³ /с	Оценка достоверности
1	2
1,68	Достоверен

Заключение о соответствии условиям применимости метода

Измерение соответствует всем условиям применимости метода.

Оценка качества произведённого измерения

Измерение можно охарактеризовать как качественное – пик ионного паводка поднялся на достаточную величину, косвенные критерии также выполняются.

И.2 Пример расчёта расхода воды методом ионного паводка мгновенным пуском солевого раствора уточнённым алгоритмом приведён для измерения, описанного в И.1. Для этого в полевых условиях производилась процедура градуировки. Для приготовления вторичного раствора использовалось 10 мл пускового раствора, растворённого в 1000 мл речной воды. Отбор пускового раствора производился мерной градуированной колбой вместимостью 100 мл, речной – градуированным мерным цилиндром, вместимостью 1000 мл. Вторичный раствор подавался в 1000 мл речной воды порционно по 10 мл с фиксацией приращения значений УЭП₂₅ по таблице И.9.

Т а б л и ц а И.9 – Результаты градуировки

V _i , мл	∑u _i , мл	УЭП _i , мкСм/см	RC _i · 10 ⁻⁵ , л/л
1000	0	196	-
1010	10	235	9,80
1030	20	270	19,4
1040	30	310	28,8
1050	40	346	38,1
$RC_{\text{втор. р}} \cdot 10^{-3}$, л/л			9,90
$k_v \cdot 10^{-6}$, см/мкСм			2,54
$k_v = \frac{RC_{\text{кон}}}{(УЭП_{\text{кон}} - УЭП_{\text{фон}})} = \frac{38,1 \cdot 10^{-5}}{(346 - 196)} = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ см/мкСм}$			
Примечание – Градуировка освещает всю амплитуду изменения УЭП в течение ионного паводка (высота подъёма – до 292 мкСм/см, производилась в полевых условиях с соблюдением неизменности температурного режима.			

Расход воды уточнённым алгоритмом рассчитывается на основании данных таблицы И.4 и И.5. Расчёт для измерения на р. Валдайке 11.05.21 представлен в выражении формулы

$$Q = \frac{V}{k_v A_{уэп_{25}}} = \frac{31}{2,54 \cdot 10^{-6} \cdot 7370} = 1656 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 1,66 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (\text{И.3})$$

По данным расчёта заполняется итоговая таблица И.10.

Т а б л и ц а И.10 – Расчёт расхода воды с помощью уточнённого алгоритма

Объём раствора V, л	$A_{уэп_{25}}$	k_v	Расход воды Q, м ³ /с
1	2	3	4
31	7370	$2,54 \cdot 10^{-6}$	1,66

Заключение о соответствии условиям применимости метода

Измерение соответствует всем условиям применимости метода.

Оценка качества произведённого измерения

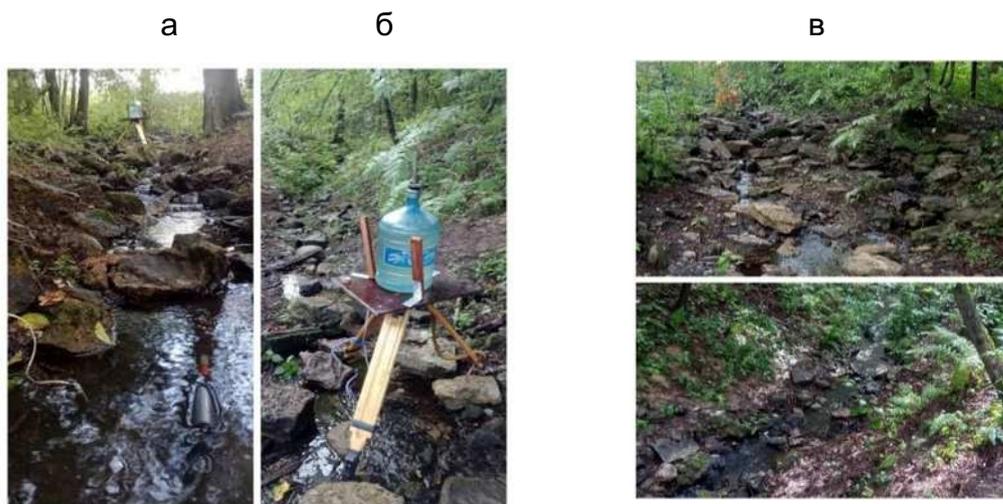
Измерение можно охарактеризовать как качественное – пик ионного паводка поднялся на достаточную величину, градуировка корректна, косвенные критерии также выполняются.

Приложение К (справочное)

Пример расчёта расхода воды методом постоянного пуска солевого раствора

К.1 Пример расчёта расхода воды постоянного пуска солевого раствора приведён на основании измерения расхода воды 07.09.2022 на ручье, вытекающем из пруда Рубаха Наполеона Шуваловского парка с использованием погружного анализатора качества воды Hanna HI98129 с измерением параметра УЭП₂₅.

Оценочные морфометрические характеристики представлены в таблице К.1. Измерения производились на спаде осеннего паводка, общая информация об измерении представлена в таблице К.2, об условиях измерения – в таблице К.3. Пуск осуществлялся на участке русла ниже естественного водослива (водопада), что показано на рисунке К.1в. Участок смешения длиной 22 м на рисунке К.1б представлял собой естественное каменистое русло ручья и включал в себя три излучины, участки с изменениями ПСР, мёртвые пространства, незначительную приточность. Средняя ширина русла на участке смешения составляла около 0,40 м, глубина – 0,12 м. Пусковой раствор имел характеристики, описанные в таблице К.4. Измерительный створ располагался на участке расширения русла и успокоения течения, что показано на рисунке К.1а.



а – пусковой створ; б – участок смешения; в – створ измерения.

Рисунок К.1 – Фотофиксация на ручье б/н – водослив с пруда Рубаха Наполеона

Т а б л и ц а К.1 – Оценочные морфометрические характеристики

L , м	B , м	h , м	$V_{\text{ср.уч}}$, м/с	F , м ²
1	2	3	4	5
22	0,40	0,12	0,19	0,04

Т а б л и ц а К.2 – Общая информация

Время измерения, ч : мин		Фиксируемый показатель			Единица измерения фиксируемого показателя
начала	конца	УЭП ₂₅	УЭП _{факт}	C_t	
1	2	3			4
12:35	12:38	УЭП ₂₅			мкСм/см

Т а б л и ц а К.3 – Условия измерения

Температура воды T_b , °С	Фоновое значение ФП, мкСм/см	Оценка измеряемого расхода воды наблюдателем
1	2	3
13,1	218	2

Т а б л и ц а К.4 – Информация о пусковом растворе

Масса соли m , кг	Тип соли	Объём раствора, л	Соотношение раствор, кг : л
1	2	3	4
3	Поваренная, мелкая	24	1 : 8

В измерительном створе СИ фиксировался подъём значений УЭП до наступления устойчивого состояния, которое было достигнуто в потоке через 6 мин после начала пуска и характеризовалось значением УЭП₂₅ в 3446 мкСм/см с незначительным разбросом, что приведено в таблице К.5.

Т а б л и ц а К.5 – Характеристики измерения

Значение ФП _{фон}	Значение ФП _{уст}	Разница ФП _{фон} – ФП _{уст}	Направленность стабилизации
1	2	3	4
218	3446	3228	↓112

Р 52.08.930–2023

Расчёт расхода воды в единицах минерализации производится по формуле (К.1). Для этого изначально определяется концентрация вводимого раствора $C_{уст}$ как простое отношение массы соли на объём воды, используемой для приготовления раствора

$$C_{уст} = \frac{m}{V} = \frac{3000}{24} = 125000 \text{ мг/л.} \quad (\text{К.1})$$

На следующем расчётном этапе по стандартным таблицам из [8] производится перевод значений фона и устойчивого состояния из единиц УЭП₂₅ в единицы минерализации, согласно таблицы К.6. Расчёт представлен в выражении формулы (К.2).

Т а б л и ц а К.6 – Расчёт расхода воды в единицах минерализации

q , мл/с	УЭП _{25,фон} , мкСм/см	$C_{фон}$, мг/л	C_1 , мг/л	УЭП _{уст} , мкСм/см	$C_{уст}$, мг/л	Расход воды Q , м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7
20,4	218	104	125	3446	1816	0,00139

$$Q = q \frac{(0,95 \cdot C_2 - C_{уст})}{(C_{уст} - C_{фон})} = 20,4 \frac{(0,95 \cdot 125000 - 1816)}{(1816 - 104)} = 1393 \frac{\text{мл}}{\text{с}} = 0,00139 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (\text{К.2})$$

Также в рамках ведения сравнительных наблюдений для перехода к режимным наблюдениям или же производства высокоточных измерений используется уточнённый расчётный алгоритм с использованием данных градуировки согласно таблицы К.7.

Т а б л и ц а К.7 – Результаты полевой градуировки

V_i , мл	$\sum u_i$, мл	УЭП _i , мкСм/см	RC_i , 10^{-3} (л/л)
1000	0	232	-
1050	50	518	1,16
1150	150	1058	3,18
1250	250	1500	4,88
1350	350	1875	6,32
1450	450	2198	7,57
1550	550	2493	8,66
1650	650	2770	9,61
1750	750	2982	10,5
1850	850	3160	11,2
1950	950	3323	11,9
1975	975	3382	12,0
$RC_{\text{втор. р}} \cdot 10^{-3}$ (л/л)			24,3
k_v , см/мкСм			$3,81 \cdot 10^{-6}$
$k_v = \frac{RC_{\text{кон}}}{(УЭП_{\text{кон}} - УЭП_{\text{фон}})} = \frac{12,0 \cdot 10^{-3}}{(3382 - 232)} = 3,81 \cdot 10^{-6} \text{ см/мкСм}$			
<p>Примечание – Градуировка освещает всю амплитуду изменения УЭП в течение ионного паводка в рамках погрешности (высота подъёма – до 3446 мкСм/см), производилась в полевых условиях с соблюдением неизменности температурного режима, штатно.</p>			

Тогда расход воды для измерения 07.09.22 на ручье с водослива с пруда Рубаха Наполеона согласно данным таблицы К.8 будет равен

$$Q = \frac{q}{k_v(УЭП_{\text{уст}} - УЭП_{\text{фон}})} = \frac{20,4}{3,81 \cdot 10^{-6}(3446 - 218)} = 1641 \frac{\text{мл}}{\text{с}} = 0,00164 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (\text{К.3})$$

Т а б л и ц а К.8 – Расчёт расхода воды в единицах УЭП

q , мл/с	УЭП _{фон} , мкСм/см	УЭП _{уст} , мкСм/см	k_v , см/мкСм	Расход воды Q , м ³ /с
1	2	3	4	5
20,4	218	3446	$3,81 \cdot 10^{-6}$	0,00164

Оценка достоверности полученного расхода воды представлена в таблице К.9. По данным расчёта заполняется итоговая таблица К.10.

Р 52.08.930–2023

Т а б л и ц а К.9 – Оценка достоверности полученного расхода воды

<i>L/B</i>	<i>B/h</i>	$\Phi_{\text{фон,пс}} - \Phi_{\text{фон,ис}}$	$\frac{Q_{\text{датч.1}} - Q_{\text{датч.2}}}{0,01 \cdot Q_{\text{ср}}}, \%$	$V_{\text{ср.уч}}, \text{ м/с}$	$t_{\text{добег}}, \text{ с}$
1	2	3	4	5	6
55	3,33	0	-	0,19	82

Т а б л и ц а К.10 – Итоговый расход воды

Значение ИРВ $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	Оценка достоверности
1	2
0,00164	Достоверен

Заключение о соответствии условиям применимости метода

Измерение соответствует всем условиям применимости метода.

Оценка качества произведённого измерения

Измерение можно охарактеризовать как качественное.

Приложение Л (обязательное)

Форма дополнения к книжкам КГ-13М1 и КГ-13М2 в период сравнительных испытаний

ГРУППЫ ГРАДАЦИИ ВОДНОСТИ		
Таблица 1 – Выделенные группы водности		
Группа водности	Критерий	Основания
Маловодная		
Средняя по водности		
Многоводная		
ПУСКОВОЙ СТОВР		
Фотофиксация <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; height: 150px; width: 100%;"></div>	Характеристики в точке введения раствора или сухой соли Скорость течения в точке введения $v_{\text{пов}}$, м/с _____ Ширина русла в B , м _____ Глубина потока в точке введения h , м ____ Оценка начального разбавления _____ Первичное осаждение соли _____ Примечания:	
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТОВР		
Фотофиксация <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; height: 150px; width: 100%;"></div>	Характеристики в точке погружения датчика Скорость течения $v_{\text{пов}}$, м/с _____ Скорость потока $v_{\text{ср}}$, м/с _____ Ширина русла B , м _____ Глубина потока h , м _____ Расстояние от дна чувствительных элементов датчика, м _____ Оценка возможного заиления/занесения чувствительных элементов датчика ____ _____ Примечания:	

Таблица 2 – Характеристики ионного паводка по датчику 1

ФП _{фон,} (мкСм/см, ррт, мг/л)		Высота подъёма, %	Продолжительность, с		
До	После		подъёма	спада	общая
1	2	3	4	5	6

Таблица 3 – Характеристики ионного паводка по датчику 2

ФП _{фон,} (мкСм/см, ррт, мг/л)		Высота подъёма, %	Продолжительность, с		
До	После		подъёма	спада	общая
1	2	3	4	5	6

Таблица 4 – Сравнительная оценка по двум СИ

$Q_{си1},$ (м ³ /с, л/с)	Место установки СИ ₁	$Q_{си2},$ (м ³ /с, л/с)	Место установки СИ ₂	$\Delta Q_{си1} - Q_{си2},$ %
1	2	3	4	5

Таблица 5 – Сравнительная оценка расходов по двум расчётным алгоритмам
(основного $Q_{оа}$ и уточнённого $Q_{уа}$) стандартным методом ($Q_{контр}$)

$Q_{уа},$ м ³ /с	$Q_{оа},$ м ³ /с	Расхождение ИРВ, %		
		$\Delta Q_{уа} - Q_{оа}$	$\Delta Q_{уа} - Q_{контр}$	$\Delta Q_{оа} - Q_{контр}$
1	2	3	4	5

Таблица 6 – Оценка скоростей течения

L, м	Продолжительность, с			Оценка скоростей течения на участке смешения, м/с		
	добегания	до пика	общая	макс.	средн.	мин.
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 7 – Определение оптимальной длины участка смешения

$L_i, \text{ м}$	$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	График $Q = f(L)$ ($Q_{\text{контр}} =$)
1		
2		
3		
4		
5		

Таблица 8 – Характеристика участков смешения для каждой группы водности

Группа	Длина участка смешения $L, \text{ м}$	Пусковой створ	Измерительный створ
Маловодная			
Средняя по водности			
Многоводная			

Таблица 9 – Сравнительные ИРВ

ИРВ $Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	ИРВ $Q_{i \text{ контр}}, \text{ (м}^3/\text{с, л/с)}$	Группа водности	$\Delta Q_i - Q_{i \text{ контр}}, \%$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
Средние			
Максимальные			
Минимальные			

Заключение о возможности перехода к применению метода ионного паводка или постоянного пуска солевого раствора на ГП при режимных наблюдениях _____

Библиография

- [1] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. II. Гидрологические наблюдения и работы на речных станциях и постах. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1972
- [2] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1978
- [3] Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 36. Измерение расходов воды горных рек по способу ионного паводка. – Л.: Гидрометеиздат, 1953
- [4] Международная организация по стандартизации ИСО ISO 9555-1:1994 Измерение потока жидкости в открытых каналах. Методы смешивания с применением индикаторов для измерения в установившемся режиме. Часть 1. Общие положения (Measurement of liquid flow in open channels - Tracer dilution methods for the measurement of steady flow - Part 1: General)
- [5] Международная организация по стандартизации ИСО ISO 9555-3:1992 Измерение потока жидкости в открытых каналах. Методы смешивания с применением индикаторов для измерения в установившемся режиме. Часть 3. Химические индикаторы (Measurement of liquid flow in open channels; tracer dilution methods for the measurement of steady flow; part 3: chemical tracers)
- [6] Ричардсон М., Сентлингер Г., Мур Р.Д., Циммерман А. Количественное определение зависимости между электропроводностью и концентрацией соли для измерения расхода воды методом смешения с помощью сухого

пуска // Слияние: Журнал о научном изучении и управлении водосборными бассейнами – 2017. – Том 1 (2). – С. 1–16

(Richardson M., Sentlinger G., Moore R.D., Zimmermann A. Quantifying the relation between electrical conductivity and salt concentration for dilution gauging via dry salt injection // Confluence: Journal of Watershed Science and Management – 2017. – Vol. 1 (2). – P. 1–16)

[7] Сентлингер Г. Вывод, неопределённость и дисперсия калибровочного коэффициента, используемого при измерении расхода методом ионного паводка // Материалы конференции Американской ассоциации водных ресурсов в Вирджинии, 2015. – 17 с.

(Sentlinger G., Derivation, uncertainty, and variance of the calibration factor used in salt dilution flow measurements // Proceedings of the AWRA Conference in Virginia, 2015. – 17 p.)

[8] ВР41.00.000РЭ Кондуктометр МАРК-603. Руководство по эксплуатации

[9] Мур Р.Д. Введение в измерение расходов воды с помощью методов смешения с использованием соли. Часть II: Метод постоянного пуска // Бюллетень по рациональному управлению водосборными бассейнами, 2004. – Том 8 (1). – С. 11–15

(Moore R.D. Introduction to salt dilution gauging for streamflow measurement. Part II: Constant-rate injection // Streamline Watershed Management Bulletin, 2004. – Vol. 8 (1). – P. 11–15)

[10] Правила по охране труда при производстве наблюдений и работ на сети Росгидромета

[11] Вуд П.Дж., Дайкс А.П. Использование метода ионного паводка в гидрологической практике: экологические соображения и аналитические выкладки исследований по тематике // Гидрологические исследования, 2002. – Том 36. – С. 3054–3062

(Wood P.J., Dykes A.P. The use of salt dilution gauging techniques: ecological considerations and insights // *Water Research*, 2002. – Vol. 36. – P. 3054–3062)

- [12] Хосе Рамон Акоста-Моторс, Мария Фернанда Ортуно, Агустина Берналь-Висенте, Педро Диас-Виванкос, Мария Хесус Санчес-Бланко и Хосе Антонио Эрнандес. Реакция растений на солевой стресс: адаптивные механизмы // *Агрономия*, 2017. – Том 7 (18). – 38 с.
(Jose Ramón Acosta-Motos, Maria Fernanda Ortuño, Agustina Bernal-Vicente, Pedro Diaz-Vivancos, Maria Jesus Sanchez-Blanco and Jose Antonio Hernandez. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms // *Agronomy*, 2017. – Vol. 7 (18). – 38 p.)
- [13] Хэ лян Пан, Сяодун Синь, Чжунго Хэ, Байхуэй Цуй, Даббинг Го1, Шимин Лю, Чжуншань Янь, Чонг Лю, Синью Ван и Юнь Нань. Влияние концентрации NaCl на микробиологические свойства при анаэробной ферментации с использованием NaCl: активность гидролазы и распределение микробного сообщества // *Границы микробиологии*, 2020. – Том 11. – С. 1–10
(Heliang Pang, Xiaodong Xin, Junguo He, Baihui Cui, Dabin Guo1, Shiming Liu, Zhongsen Yan, Chong Liu, Xinyu Wang and Jun Nan. Effect of NaCl Concentration on Microbiological Properties in NaCl Assistant Anaerobic Fermentation: Hydrolase Activity and Microbial Community Distribution // *Frontiers in Microbiology*, 2020. – Vol. 11. – P. 1–10)
- [14] Методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей (утверждена приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2020 № 1118)
- [15] Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
- [16] Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (утверждён

Р 52.08.930–2023

Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2020 г. № 1847)

[17] Приказ Минпромторга Российской Федерации от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 20 ноября 2020 г. рег. № 61033)

[18] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. III. Составление и подготовка к печати гидрологического ежегодника – Л.: Гидрометеоиздат, 1958

Ключевые слова: расход воды, метод ионного паводка, метод постоянного пуска солевого раствора, методы смешения

Лист регистрации изменений

Поряд- ковый номер изме- нения	Номер страницы				Номер регистрации изменения в ГОС, дата	Подпись	Дата	
	изме- нённой	заме- нённой	новой	аннули- рован- ной			внесения изм.	введения изм.