

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 4 | 2019

Руководство по непрерывному мониторингу качества воды –

Рекомендуемые нормы

**Сиркка Таттари, Марьо Тарвайнен, Кари Каллио,
Ахти Лепистё, Теэму Няукки, Мика Раатеоя, Юкка Сеппяля**

Helsinki 2019

Suomen ympäristökeskus



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTEJA 4 | 2019
Suomen ympäristökeskus
Vesikeskus

Julkaisun otsikko: Laatuksikirja jatkuvatoimisille vedenlaadun mittauksille
Opas hyväksi käytännöiksi

Kirjoittajat: Sirkka Tattari¹, Marjo Tarvainen², Kari Kallio¹,
Ahti Lepistö¹, Teemu Näykki¹, Mika Raateoja¹, Jukka Seppälä¹

Suomen ympäristökeskus¹
Varsinais-Suomen ELY-keskus²

Vastaava erikoistoimittaja: Riitta Autio

Rahoittaja: Ympäristöministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Kansikuva: Paimionjoki, Marjo Tarvainen

Taitto: DTPage Oy

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä:
www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä ostettavissa
painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-4828-6 (nid.)
ISBN 978-952-11-4829-3 (PDF)
ISSN 1796-1718 (pain.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1 ВВЕДЕНИЕ	7
2 Принципы измерения и выбор измерительного прибора	11
2.1 Принципы измерения	12
2.2 Выбор измерительного прибора	18
2.3 Погрешности непрерывного мониторинга	19
3 Выбор места проведения измерений	22
4 Поддержание эксплуатационного состояния станции и ее техническое обслуживание	25
4.1 Базовое обслуживание	25
4.2 Базовая калибровка прибора	27
5 Обработка данных измерения	29
5.1 Калибровка, основанная на пробах воды, взятых в определенном месте измерения	29
5.2 Предварительная обработка данных	31
5.3 Производные переменные	34
5.4 Окончательная обработка данных	36
6 Требования к квалификации персонала	39
7 Рекомендуемые нормы закупок	40
8 Документация	41
9 Заключение	43

ПРЕДИСЛОВИЕ

Составление руководства по непрерывному мониторингу качества воды было обусловлено потребностью получить единообразные нормы и модели измерительных работ, которых в настоящее время проводится все больше.

Руководство фокусируется на общих вопросах, влияющих на качество непрерывных измерений, поэтому предлагаемые меры подходят для большинства приборов, измеряющих качество воды, и могут использоваться в разных водных средах.

Настоящее руководство предназначено для улучшения и приведения к общему соответствию качества измерений на всех его этапах. Обеспечение качества – это отлаженный процесс, включающий: выбор подходящего для водной среды прибора, его валидацию, установку, техническое обслуживание, калибровку, качественный лабораторный анализ, профессиональное обеспечение качества материалов измерений. Тщательная работа на всех этапах цепочки гарантирует успешность измерений и высокое качество данных, что значительно увеличивает возможности использования полученной информации.

Настоящее руководство создано в рамках проекта плана реализации национальной сети контрольно-измерительных приборов для постоянного мониторинга качества воды [фин. ”Jatkuvatoimisten vedenlaatuasemien valtakunnallisen verkoston toteuttamissuunnitelma - JatkuvaLaatu»] в 2018 году. За реализацию проекта отвечал Институт окружающей среды Финляндии (SYKE) вместе с Центром экономического развития, транспорта и окружающей среды Юго-Западной Финляндии. Проект финансировался Министерством окружающей среды Финляндии. Авторы выражают особую благодарность советнику при министерстве Петри Лильяниemi, который содействовал вводу в эксплуатацию оборудования для непрерывного мониторинга качества воды и внедрению других новых методов измерений.

В рамках стартового мастер-класса проекта, который состоялся 5 апреля 2018 года, в Институте окружающей среды Финляндии (SYKE) обсуждались содержание и цели руководства. Дискуссия велась в форме работы небольшими группами. В мастер-классе принимали участие специалисты из разных регионов Финляндии, работа которых связана с непрерывными измерениями. 06.09.2018 состоялся отдельный внутренний практический семинар на тему станций, измеряющих содержание веществ в водотоке. Среди прочего, на семинаре обсуждались вопросы, затрагиваемые настоящим руководством.

Выражаем благодарность за конструктивные беседы и комментарии Хейкки Питкянену (Центр окружающей среды Финляндии, SYKE), Элине Рёман, Янне Суомела (Центр экономического развития, транспорта и окружающей среды Юго-Западной Финляндии, VARELY) и Яане Марттила (Центр экономического развития, транспорта и окружающей среды региона Уусимаа, UUDELY).

Сайт проекта находится по адресу <http://www.syke.fi/hankkeet/jatkuvalaatu>.

Авторы, 28.01.2019

Руководство было переведено на русский язык летом 2020 года.
Финансирование перевода выделено в рамках проекта ENI-CBC KA5016 (ППС «Карелия», Трансграничная система мониторинга окружающей среды, ECO-BRIDGE).

Сиркка Таттари, 08.07.2020



Фото Сиркка Таттари



Фото 1. Водные среды, описанные в данном руководстве, это река, озеро и море.

1 ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный мониторинг качества воды: текущая ситуация и прогнозы на будущее

В дополнение к традиционному отбору проб воды и анализа образца в лаборатории все чаще предлагаются альтернативные варианты, а именно измерение непосредственно в полевых условиях. Часть измерений может быть автоматизирована и производиться непрерывно. Результаты измерений часто сразу же обновляются на веб-сайтах, поэтому многие явления можно отслеживать в режиме реального времени. Однако непрерывный мониторинг связан с большими сложностями, особенно в отношении обеспечения качества измерений и их применимости. В Финляндии метод непрерывного мониторинга используется уже для довольно многих целей (см. ниже). Данные могут быть получены быстро и в любое время суток, что невозможно при традиционном сборе данных на основе отбора проб воды. Помимо Управления по охране окружающей среды и природных ресурсов Финляндии результатами измерений пользуются водоохранные объединения, научно-исследовательские институты, фонды, высшие учебные заведения, коммерческие предприятия и многие другие стороны.

Примеры использования показателей мониторинга качества воды

Наблюдение

1. Включение непрерывного измерения качества воды в новую программу мониторинга
2. Оптимизация отбора проб в рамках мониторинга
3. Уточнение подсчета содержания веществ в потоке, особенно на речных объектах
4. Непрерывные измерения качества воды как часть обязательного надзора и контроля

Исследования

1. Разработка и валидация моделей загрязнения питательными веществами
2. Разработка моделей для озерной и морской среды (экосистемные и гидродинамические модели)
3. Исследования и модели процессов
4. Разработка ассимиляции данных наблюдения
5. Валидация и разработка алгоритмов работы продукции дистанционного зондирования

Передача экологических данных в режиме реального времени

1. Информирование населения (например, ситуация с водорослями, потоки питательных веществ, температура воды, погода)
2. Поддержка информирования о ситуации с водорослями
3. Поддержка информирования о ситуации с наводнениями

В целом, непрерывное измерение качества воды проводится по-разному, и данный вид деятельности не регулируется какой-либо системой качества. Разные организации и независимые специалисты имеют свою собственный устоявшийся протокол как практических методов измерения, так и обеспечения качества результатов (Тарвайнен с соавторами, 2015). В некоторых случаях при вводе измерительных приборов в эксплуатацию их рабочие характеристики не проверяются с использованием характерной для места отбора проб воды. Также, после отбора проб материал не проходит какого-либо контроля качества. Различия в уровне обеспечения качества тормозили более широкое использование материалов. Обеспечение качества определяет ценность и удобство использования производимого материала (Тарвайнен и Суомела, 2017). Существующие в настоящее время различные практики являются следствием отсутствия последовательного подхода и критериев качества. Инструкция по установке и настройке станции на водотоке представлена в руководстве Таттари с соавторами от 2015 года.

Технологии автоматизированного контроля качества воды и мониторинга в режиме реального времени являются предметом масштабных инвестиций во всем мире. У пользователей имеется потребность получать больше измеримых переменных и более удобное оборудование для работы в сложных условиях. В теплых условиях проблема с измерительными приборами заключается в их особенно сильном загрязнении, а в холодных условиях их функциональные свойства ухудшаются из-за мороза. Измерительные датчики поставляют огромный объем информации, и это требует разработки баз данных, а в будущем и автоматизированных систем контроля качества получаемой информации. Кроме того, имеется потребность в простых инструментах обработки и представления данных.

В мире активно разрабатывается программное обеспечение, основанное на открытом исходном коде. Однако в Финляндии оно пока используется мало. Благодаря международному сотрудничеству Финляндия может быть одним из лидеров разработок в данной области (Тарвайнен и Суомела, 2017).

Многие переменные пока еще не могут измеряться в режиме мониторинга. Наряду с многими базовыми переменными к таким относятся, в частности, остатки лекарств, микропластик и прочие вредные вещества, которых в последнее время в избытке. Есть также недостатки в измерениях основных питательных веществ: общий азот и фосфор обычно не могут быть измерены напрямую, их концентрации определяются с использованием вспомогательных переменных. Метод измерения также может быть таким, что он не подходит для измерения низких концентраций веществ в природных водах.

Традиционный отбор проб необходим также для калибровки оборудования непрерывного измерения.

Существуют также некоторые угрозы, связанные с непрерывным измерением, которые следует учитывать при планировании масштабирования измерительной деятельности. Если стоит задача заменить

традиционный отбор проб воды непрерывным мониторингом, то необходимо обращать внимание на то, чтобы соблюдалась продолжительность временных рядов. Данные, получаемые в результате непрерывного мониторинга, могут частично заменить информацию, получаемую на основе проб воды, однако для этого требуется как тщательное обеспечение качества, так и единообразие результатов.

Для чего предназначено данное руководство

Настоящее руководство предназначено для улучшения и приведения к общему соответствию качества измерений на всех его этапах. Обеспечение качества представляет собой отлаженную цепочку, состоящую из выбора прибора, подходящего к водной среде, его валидации, установки, технического обслуживания, калибровки, качественного лабораторного анализа, а также профессионального обеспечения качества материалов измерений. Тщательная работа на всех этапах цепочки гарантирует успешность измерений и высокое качество данных, что значительно увеличивает возможности использования данных.

По мере наращивания опыта проведения измерений в условиях Финляндии и знаний в этой области станет возможным создание универсальных калибровочных уравнений для различных водных сред. Это позволит быстрее начать применять получаемые результаты. Руководство включает оптимальные модели работы с автоматизированным непрерывным мониторингом качества воды в условиях Финляндии. Она содержит рекомендации по повышению качества измерений для тех, кто уже их проводит, и является справочным материалом для тех, кто только планирует работу в данной области. Цель руководства состоит в том, чтобы выделить факторы, влияющие на качество измерений, и предоставить решения наиболее распространенных проблем. Руководство носит общий рекомендательный характер и не ставит перед собой целью предоставить конкретные инструкции по установке измерительной станции, проведения отдельных измерений или работе с конкретным оборудованием.

Определение непрерывного мониторинга

Непрерывный мониторинг означает сбор данных об окружающей среде с помощью независимо работающего оборудования, и вклад человека в основном требуется для установки, калибровки, технического обслуживания и обеспечения качества данных оборудования (например, Лепистё с соавторами, 2010; Хуотари и Кетола, 2014; Таттари с соавторами, 2015).

В настоящем руководстве под устройствами непрерывного измерения понимаются приборы, которые измеряют качество воды (например, мутность, кислород, нитраты, гумус, фосфат, соленость), фитопланктон (флуоресценция пигментов водорослей), вредные вещества (например, тяжелые металлы, свинец и никель), парниковые газы (диоксид углерода, метан) и температуру воды. Датчики могут быть расположены на **фиксированной** (буй, понтон, измерительная станция на берегу или на дне) или на **движущейся** платформе (корабль, лодка). В Балтийском море также используются самодвижущиеся, регулируемые по глубине роботизированные буи (Argo) и планеры (Glider). Многие платформы можно использовать для измерения высоты уровня воды, силы потока, течения, погодных условий и солнечного излучения.

Материал, получаемый в ходе мониторинга, отличается от лабораторных результатов тем, что зачастую с течением времени результаты приходится

корректировать. Такая динамическая корректировка имеет две основные причины. Во-первых, многие постоянные измерения являются косвенными и требуют сбора т. н. валидационных данных при проведении измерений. Такая локальная калибровка уточняется в течение периода измерения, когда накопится достаточно данных для проверки. Во-вторых, контроль качества измерений, то есть решение о достоверности результатов, производится зачастую постфактум. Уверенность в достоверности результата дает только испытание устройства при техническом обслуживании или по окончании периода измерений. Сам характер постоянных измерений подразумевает, что качество измерения подтверждается только впоследствии. Часто серии наблюдений в период измерения окончательно пересматриваются только по окончании этого периода, и тогда уже принимаются окончательные решения о точности измерений и используемых поправочных коэффициентах и преобразованиях.

2 Принципы измерения и выбор измерительного прибора

Понятия (например, EN 17075, 2018)

- **Аналит** – элемент, химическое соединение, вещество, которое определяется при анализе. Например, фосфор, нитратный азот или кислород.
- **Датчик, сенсор** – часть измерительного прибора. Его реакция на окружающие условия используется для измерения физических величин или идентификации химических соединений. (ISO/IEC19762, 2016).
- **Контрольно-измерительный прибор In situ** – автоматическая измерительная система, по меньшей мере один датчик которой помещен в исследуемый водоем (ISO 6107-2, 2006).
- **Оборудование** состоит из физических приборов, которые являются частью определенной технической системы. Оборудование и компоненты варьируются в зависимости от объекта назначения.
- **Измерительное устройство** (контрольно-измерительный прибор, измерительное оборудование, измеритель) – это устройство, которое непрерывно или через определенные промежутки времени измеряет определенный сигнал, который пропорционален измеряемой величине (например, концентрация нитратного азота). Устройство бывает стационарным и портативным (переносной измеритель).
- **Онлайн-прибор для измерения:** автоматическая измерительная система, в которой образец подается из водоема в измерительное устройство с помощью трубы или шланга (ISO 6107-2, 2006).
- **Измеряемая физическая величина:** Свойство, значение, количество или уровень содержания которого измеряются. Например, температура воды или содержание растворенного в воде кислорода.

Валидация: Процесс испытания устройства или метода измерения с последующим подтверждением того, что оно/он обладает свойствами, которые соответствуют требованиям его назначения.

2.1 Принципы измерения

Непрерывное измерение качества воды в целом основывается на оптическом, электрохимическом или мокром химическом методе (см. таблицу 1).

Датчики непрерывного измерения – это устройства, производящие измерения в соответствии с запрограммированной в них частотой измерений. На практике измерение не является полностью непрерывным, но интервал между замерами настолько мал (10 минут – 1 час), что можно обнаружить даже кратковременные изменения в качестве воды, и в этом случае можно говорить о непрерывном измерении. В водотоках основным принципом может быть то, что чем меньше русло, тем короче интервал измерения. Результат, как правило, складывается из среднего значения нескольких однократных измерений.

Например, измерение такого обычно измеряемого показателя, как мутность, оптическими датчиками основывается либо на обратном рассеивании электромагнитного излучения, либо на измерении затухания света. Источником излучения в этих датчиках обычно является инфракрасный или лазерный диод. Помимо мутности, многофункциональные устройства, основанные на спектрометрии, могут измерять нитратный азот и количество органического вещества. Так, спектральный сигнал делает возможным одновременное измерение нескольких переменных на основе их характерных «отпечатков пальцев», а также очень точную компенсацию, например, для изменения источника света.

Сейчас доступны измерительные приборы как с несколькими, так и с одной переменной. Устройства, в основе работы которых лежит принцип мокрой химии, свойства и используемые реагенты источника света определяют измеряемые переменные и их количество.

С помощью современных оптических измерительных приборов в природных водах можно измерять множество различных параметров качества воды (см. таблица 1). Измерить уровень содержания фосфора оптическим методом пока невозможно, хотя разработки такого метода ведутся уже много лет. Измерение фосфатного фосфора основывается в настоящее время на принципе мокрой химии, и, несмотря на существование надежного оборудования для использования в океанской среде, оптические свойства внутренних и прибрежных вод (гумус, мутность) затрудняют проведение надежных измерений на этих акваториях.

В таблице ниже представлены: метод измерения по каждой переменной, входящие в измерение ограничения и рекомендация по погрешности измерения в контексте лабораторного анализа концентрации вещества, которое обычно встречается в природных водах. Стоит отметить, что принцип измерения в контексте непрерывного мониторинга как правило отличается от принципа, по которому проводится лабораторный анализ. Оба устройства – как то, которое используется для непрерывного мониторинга, так и то, которое применяется в лаборатории – выдают результат измерения в соответствии со своей калибровкой. Однако при непрерывном измерении локальная калибровка может впоследствии повлиять на результат.

Таблица 1. Переменная качества воды, метод измерения, входящие в измерение ограничения и рекомендации по погрешности измерения в контексте лабораторного анализа концентрации вещества, которое обычно встречается в природных водах.

Наименование переменной	Единица измерения	Метод измерения	Ограничивающие факторы измерительного метода и/или другие замечания	Лабораторное измерение*
Температура воды	°C	Основывается, например, на изменении сопротивления платинового проводника в зависимости от температуры	Время стабилизации показаний датчика составляет в наилучшем варианте менее минут.**	Рекомендуемая погрешность измерений (в рекомендациях отсутствует погрешность отбора проб)
Электропроводность	мСм/м	Электрохимический измерительный прибор. Состоит обычно из пары электродов, к которым подключается напряжение и затем измеряется протекающий между ними ток.	Электропроводность является сильно зависящей от температуры величиной и обычно в измерительном приборе предусмотрена температурная компенсация, с помощью которой результат измерения можно привести в соответствие с электропроводностью при температуре 25 °C (удельная электропроводность). Электропроводность как правило увеличивается при движении от поверхности озера ко дну. Это вызвано солями, выделяющимися при разложении органических веществ.	±5 % >0,2 мСм/м
pH	Числовое значение без единицы измерения, отображает количество ионов водорода в воде. Логарифмическая шкала	Электрохимический измерительный прибор. Состоит обычно из электрода сравнения и измерительного электрода. На измерительном электроде образуется напряжение, которое прямо пропорционально содержанию ионов водорода в растворе. Электрод сравнения вырабатывает постоянное напряжение, с которым сравнивается напряжение измерительного электрода.	Стандартный срок службы электрода составляет менее одного года.	±0,2

* Няужки и Вяйсянен, 2016.

** Для мобильных полевых измерительных приборов следует отметить, что, например для датчиков pH и кислорода время стабилизации показаний может составлять до 5 минут (Кахилуото, 2015).

Таблица 1.

Наименование переменной	Единица измерения	Метод измерения	Ограничивающие факторы измерительного метода и/или другие замечания	Лабораторное измерение*
Кислород / Растворенный кислород	мг/л	<p>Оптический:</p> <p>Технология основывается на измерении люминесценции, генерируемой светодиодами. Чем больше в воде кислорода, тем активнее затухание люминесценции.</p> <p>Электрохимический (амперометрический):</p> <p>Датчик оснащен электрохимической измерительной ячейкой. Внутри нее находятся два электрода, между которыми измеряется ток. Ячейка отделена от измеряемого раствора полимерной мембраной. Содержащийся в пробе кислород проходит через мембрану и реагирует на измерительной ячейке. Амперометрический датчик может быть в зависимости от режима работы полярографическим или гальваническим.</p>	<p>Температура воды влияет на измерение содержания кислорода и в этом случае важно выполнять калибровку при правильной температуре (Наулки с соавторами, 2016).</p> <p>Соленость / минерализация воды также влияет на содержание кислорода и должна учитываться при калибровке.</p> <p>Время введения в эксплуатацию полярографического датчика может составлять до 10 минут. Гальванический и оптический датчики сразу готовы к работе. Электрохимический датчик реагирует на изменение концентрации кислорода быстрее, чем оптический.</p> <p>Электрохимическое измерение потребляет кислород из воды и приводит к занижению результата измерений, если вода в месте датчика не сменяется/ не течет. Расход воды должен быть таким же, как и во время калибровки датчика.</p> <p>Эксплуатация и обслуживание электрохимического датчика требует более продвинутых профессиональных навыков, например, при замене раствора электролита и/или мембран.</p>	<p>>2 мг/л</p> <p>±10 %</p> <p>±0,2 мг/л</p>
Мутность и содержание взвешенных частиц	<p>Мутность: FNU (ISO 7027-1) NTU (USEPA)</p> <p>Содержание взвешенных частиц: мг/л</p>	<p>Оптический:</p> <p>Нефелометрическое измерение мутности по ISO 7027-1, при котором измеряется вызываемое содержащимися в пробе частицами рассеянное излучение под углом 90 градусов при использовании света инфракрасного спектра (860 нм).</p> <p>Некоторые приборы основываются на методе USEPA, и в них в качестве источника света используется белый свет вольфрамовой лампы в диапазоне 400–700 нм.</p> <p>Измерение затухания света (напр. Спектрометр Scan spectrolyser 200–750 нм)</p>	<p>По мутности можно рассчитать значение содержания взвешенных частиц. Для содержания взвешенных частиц требуется калибровка на месте, зависящая от конкретной ситуации на месте проведения измерений.</p> <p>При местной калибровке необходимо обратить внимание на используемый лабораторный метод, так как при измерении содержания взвешенных частиц используется множество различных фильтров и выбор фильтра может повлиять на результат лабораторного измерения содержания взвешенных частиц.</p>	<p>Мутность FNU >1</p> <p>±20 %</p> <p>Содержание взвешенных частиц > 3 мг/л</p> <p>Мутность FNU 0,5–1</p> <p>±0,2 FNU</p>

Таблица 1.

Наименование переменной	Единица измерения	Метод измерения	Ограничивающие факторы измерительного метода и/или другие замечания	Лабораторное измерение*
Нитратный азот (NO ₃ -N)	мкг/л	<p>Оптический: Методика измерения обычно основана на том, что нитрат-ионы поглощают УФ-свет с определенной длиной волны (прим. 220 нм) и поглощение преобразуется в содержание NO₃-N. Мокрый химический метод: Датчик берет пробу воды и в результате химической реакции с реагентами нитрат-ион образует цветное соединение, у которого измеряется поглощение и преобразуется в содержание NO₃-N. Ионоселективный электрод: В датчике используется два электрода (электрод сравнения и измерительный электрод). Измерительный электрод оснащен мембраной, которая может связывать нитрат-ионы. Количество NO₃-N ионов определяется при помощи разности потенциалов, образующейся между электродами.</p>	<p>Оптическое измерение не измеряет нитратный азот напрямую, поэтому измерение требует калибровки на месте, зависящей от конкретной ситуации на месте проведения измерений. Основным ограничивающим фактором является влияние гумусовых веществ на оптическое измерение. Надежное измерение низких концентраций в природных водах (<200 мкг/л; для некоторых приборов даже менее 2 мг/л) при помощи оптического и ионоселективного датчика может быть затруднено. С помощью датчика на основе мокрой химии можно измерять в том числе и низкие концентрации. Хлориды, бромиды и йодиды могут вызывать помехи при измерении ионоселективным электродом. Датчики на основе мокрой химии часто могут быть крупногабаритными и тяжелыми (до 10–30 кг).</p>	<p>±15 % ± 2 мкг/л</p>
Общий органический углерод (ТОС)	мг/л	<p>Оптический: Несколько различных методов измерения. В некоторых из них используется способность органических веществ поглощать УФ-свет при длине волны 254 нм. Интенсивность света измеряется при длине волны 254 и 550 нм, а соотношение между ними используется в качестве результата измерений и преобразуется в значение SAC (спектральный коэффициент поглощения). Это значение пропорционально содержанию ТОС. Электрохимический: Определение ТОС основывается на измерении электропроводности раствора до и после окисления пробы при помощи УФ-излучения.</p>	<p>Оптическое измерение не измеряет общий органический углерод напрямую. Соотношение значений SAC и результатов ТОС изменяется при изменении матрицы образца. Поэтому измерение требует калибровки на месте, зависящей от конкретной ситуации на месте проведения измерений.</p>	<p>±15 % ± 0,4 мг/л</p>

Таблица 1.

Наименование переменной	Единица измерения	Метод измерения	Ограничивающие факторы измерительного метода и/или другие замечания	Лабораторное измерение*
хлорофилл-а	мкг/л	Флуориметрический метод, пигменты хлоропластов водорослей поглощают излучаемый измерительным прибором синий свет и передают поглощенную энергию молекулам хлорофилла-а клеток. Часть энергии высвобождается из молекул хлорофилла-а в виде флуоресценции красным светом.	Флуоресценция живой клетки и выделенного хлорофилла-а не полностью совпадают, так как не весь содержащийся в клетках хлорофилл-а флуоресцирует. Гумусовые вещества могут оказывать значительное влияние на фоновый сигнал. Кроме того, физиологическое состояние и условия обитания водорослей, такие как освещенность и температура, влияют на их флуоресценцию, в результате чего измерения флуоресценции сложно сопоставлять с лабораторными измерениями (Huotari & Ketola, 2014). Оптическое измерение тоже требует калибровки на месте, зависящей от конкретной ситуации на месте проведения измерений.	<p>>2 мкг/л</p> <p>±20 %</p> <p>±0,4 мкг/л</p>
Соленость, солемер	‰ или ПЕС (практические единицы солености)	Электрохимический		>1‰
Фосфат по фосфору	мкг/л	Мокрый химический метод: Датчик берет пробу воды и в результате химической реакции с реагентами фосфат-ион образует цветное соединение, у которого измеряется поглощение и преобразуется в содержание PO ₄ -P.	Сложность может заключаться в надежном измерении низких содержаний в природных водах (<10 мкг/л). Датчики на основе мокрой химии часто могут быть крупногабаритными и тяжелыми (до 10–30 кг).	<p>>10 мкг/л</p> <p>±15 %</p> <p>0-2 мкг/л</p> <p>1,5 мкг/л</p>
Аммонийный азот	мкг/л	Ионоселективный электрод: В датчике используется два электрода (электрод сравнения и измерительный электрод). Измерительный электрод оснащен мембраной, которая может связывать аммоний-ионы. Количество NH ₄ -N ионов определяется при помощи разности потенциалов, образующейся между электродами. Мокрый химический метод: Датчик берет пробу воды и в результате химической реакции с реагентами аммоний-ион образует цветное соединение, у которого измеряется поглощение и преобразуется в содержание NH ₄ -N.	Сложность может заключаться в надежном измерении низких содержаний в природных водах (<10 мкг/л). Датчики на основе мокрой химии часто могут быть крупногабаритными и тяжелыми (до 10–30 кг).	<p>5–20 мкг/л</p> <p>±3 мкг/л</p> <p>>20 мкг/л</p> <p>±15 %</p>

Таблица 1.

Наименование переменной	Единица измерения	Метод измерения	Ограничивающие факторы измерительного метода и/или другие замечания	Лабораторное измерение*
CDOM – окрашенные растворённые органические вещества		<p>Оптическое измерение флуоресценции не измеряет концентрацию окрашенных растворённых органических веществ напрямую.</p> <p>Измерение требует проверки на месте проведения измерений и местной калибровки.</p> <p>Для абсорбции CDOM невозможно указать определенную длину волны, а из-за разнообразия молекул спектр абсорбции является экспоненциальным. Разные компоненты CDOM имеют собственные максимальные значения абсорбции и эмиссии, и поэтому их можно отличать друг от друга на основании этих показателей.</p>	<p>Оптическое измерение не измеряет напрямую органическое вещество, поэтому измерение требует калибровки на месте, зависящей от конкретной ситуации в месте проведения измерений.</p> <p>Цветное вещество в воде в высоких концентрациях мешает измерению, так как поглощает ультрафиолетовый свет и снижает его способность к флуоресценции.</p>	

2.2 Выбор измерительного прибора

Характеристики объекта исследования и цели исследования или мониторинга устанавливают граничные условия для измеряемой переменной и, следовательно, также для выбора измерительного устройства. Измерительное устройство всегда должно выбираться в соответствии с назначением и условиями в месте снятия показаний. Выбор прибора во многом обусловлен местом, в котором планируется проводить измерения. Граничные условия, установленные для места измерения, включают, в частности, технические требования к прибору (например, энергия, состояние), а также качество измеряемой среды (например, подходит ли методика измерения к условиям, в которой проводятся измерительные работы). В каждом конкретном случае необходимо рассмотреть вопрос о том, требуется ли для решения поставленного вопроса непрерывное измерение, или же мониторинг объекта, осуществляемый на основе отбора проб, является достаточной и экономически эффективной мерой.

Перед покупкой устройства необходимо обязательно выяснить уровень содержания измеряемой величины в месте измерения, так как этот показатель влияет на то, какими свойствами должен обладать приобретаемый прибор. Если возможно, в дополнение к уровню концентрации также стоит определить диапазон измеряемой величины. Например, стандартов качества относительно питательных веществ до сих пор не введено. Однако пределы определения питательных веществ не должны превышать 10 %–50 % от самого низкого уровня концентрации, измеренного в данном районе речного бассейна. Это необходимо для того, чтобы результаты можно было использовать в более долгосрочной перспективе (Няукки и Вяйсянен, 2016).

Прежде чем проводить измерения, рекомендуется по имеющимся данным наблюдений рассчитать корреляции, например, между мутностью и взвешенными частицами, мутностью и общим фосфором, а также нитратным азотом и общим азотом. Это даст информацию о том, можно ли использовать показатель мутности, например, при оценке общего фосфора в данном месте измерения. В море и озере колебания показателей мутности и содержания взвешенного вещества заметно меньше, чем в речной среде, и никаких экстремальных значений, соответствующих речным паводковым ситуациям, не наблюдается. Это снижает эффективность использования показателей мутности и взвешенного вещества в качестве вспомогательных переменных.

В водотоке как правило рекомендуется также измерять уровень воды, на основании которого затем с помощью кривой, описывающей взаимосвязь между уровнем воды и объемной скоростью потока, можно рассчитать объемную скорость потока. На более крупных реках, впадающих в море, имеются станции измерения объемной скорости потока, и предоставляемые ими данные стоит использовать.

В озерах и морских районах метеорологические измерения повышают применимость измерений качества воды (например, Куха с соавторами, 2016, Вулвэй с соавторами, 2018) и помогают их интерпретировать. Например, исключительно высокие значения мутности могут быть связаны с ресуспендированием осадков, вызванным ветром. В таких случаях, путем отслеживания данных о ветре, можно избежать напрасного технического обслуживания. Лучшее решение – установить метеорологическую станцию на той же площадке, что и измерители качества воды. Если метеостанция вынужденно устанавливается на суше, следует выбирать место на берегу

или острове достаточно далеко от деревьев и зданий. Наиболее важными переменными погоды являются направление и скорость ветра, а также температура воздуха.

На выбор контрольно-измерительного прибора в значительной степени влияет назначение использования результатов измерений. Требования к качеству и точности измерений зависят от конкретного объекта, для которого эти измерения предназначаются. Например, требования к оборудованию для измерения рН при мониторинге условий рыбоводства совершенно иные, чем к приборам для измерения рН для нужд исследования изменения климата. Сопоставимость результатов также предъявляет свои собственные требования к выбору устройства. Для измерения одной и той же переменной, например количества водорослей, можно использовать разные методики, и выбор оборудования широк. Если стоит задача сравнить результаты измерений в разных районах, убедитесь, что устройства проводят измерения по одному методу. Иногда даже следует использовать устройство абсолютно идентичного типа, чтобы обеспечить сопоставимость результатов.

При выборе измерителя обращайтесь также на расходы, связанные с его эксплуатацией: траты на установку, обслуживание, калибровку. Также учитывайте, потребуется ли услуга специалиста узкого профиля и то, насколько доступна техническая поддержка. В случае если придется проводить тендер, тщательно продумайте все детали, чтобы получить устройство, которое оптимально подходит для вашей цели. Об устоявшихся правилах закупки оборудования подробнее рассказывается в разделе 7.

Чаще всего измеряемые переменные в разных типах водной среды (см. также таблицу 1).

Наиболее часто измеряемые переменные	Река	Озеро	Море
	Температура воды	Температура воды	Температура воды
	Мутность	Мутность	Мутность
	Нитратный азот	Нитратный азот	Цветное растворенное органическое вещество
	Органический углерод	Цветное растворенное органическое вещество	Хлорофилл-а
	рН	рН	Фикоцианин
	Кислород	Кислород	Солёность
	Электропроводимость	Хлорофилл-а	
		Фикоцианин	

2.3 Погрешности непрерывного мониторинга

Понимание погрешности в контексте непрерывного мониторинга является ключевым аспектом с точки зрения применимости результатов. При рассмотрении погрешности результатов, полученных с помощью устройств непрерывного измерения, нет необходимости принимать во внимание источники ошибок, вызванных транспортировкой и хранением образца. В целом, основным фактором погрешности в полевых работах является

выбор места отбора проб и/или измерения, что напрямую влияет на репрезентативность образца или измерения. Перенос образца из водоема в измерительное устройство также увеличивает погрешность измерения и влияет на репрезентативность измерения. Эту ситуацию необходимо оценить, если измерительное оборудование размещено, например, в кабине на берегу, и вода закачивается в него для проведения измерений.

Погрешность в измерении также вызывается во время непосредственного совершения измерения, при котором на точность и воспроизводимость результата влияют: состояние датчика (загрязнение, блуждание показания, время отклика, отсутствие калибровки и т. п.), а также преобладающие условия в образце и вокруг него (затрудняющие измерение соединения в образце, матрица образца и изменения в ней, уровень содержания измеряемого вещества в сравнении с участком охвата измерителя, скорость потока образца, температура, освещение и т. п.). Таким образом, непрерывное измерение включает меньше рабочих шагов, чем лабораторный анализ, что снижает погрешность результата измерения.

Эти факторы могут сказываться на погрешности таким образом, что общая погрешность непрерывных измерений оказывается меньше чем общая погрешность пробоотбора и лабораторного анализа. Предполагается, что измерительные работы в целом проводятся качественно. Чтобы гарантировать качество измерений, важно оценить диапазон измерений и погрешности прибора в реальной рабочей среде прибора, а не полагаться исключительно на информацию производителя (Бьёрклёф с соавторами, 2016).

Эффективность измерительного прибора (например, предел определения, погрешность измерения и сравнение с лабораторным результатом при различных уровнях концентрации) должна проверяться в каждом конкретном случае всегда, когда один и тот же инструмент используется с новым типом матрицы образца и / или при другом уровне концентрации. При испытании рабочих свойств измерительного прибора результат сравнивается с лабораторным результатом, и последний при этом считается эталонным значением. Однако следует помнить, что может быть сложно считать лабораторный результат «правильным значением», если его погрешность высокая или если имеется подозрение в том, что в образце произойдут изменения в промежутке между отбором пробы или моментом совершения непрерывного измерения и анализом в лаборатории. Например, с помощью испытательной платформы измерительных приборов, используемых в Институте окружающей среды и природных ресурсов Финляндии, влияние отбора проб, их транспортировки и хранения на результат измерения может быть минимизировано при тестировании производительности.

Если результаты, измеренные различными методами, не представляют одну и ту же измеряемую величину, сопоставимость результатов, полученных в полевых и лабораторных измерениях, сомнительна. Это вероятно, например, если один метод измеряет пропорцию анализируемого вещества, растворенного в воде, а другой – общее содержание воды и взвешенных частиц, или если другой метод измеряет поглощение света, а другой рассеяние. При проведении измерений в морской среде также должны соблюдаться согласованные на международном уровне условия, например, названия и анализ измеряемых величин (ICES <https://www.seadatanet.org/Standards/Common-Vocabularies>, SeaDataCloud <http://ices.dk/marinedata/vocabularies/pages/default.aspx>).

Требования к качеству измерительных приборов

При выборе измерителя учитывайте требования, предъявляемые к результатам измерений. Результаты измерений должны быть применимы к тому, какие именно меры или выводы планируется сделать на основе результатов; то есть необходимо выбрать достаточно точный прибор.

Если целью измерения является обнаружение только величины переменной, для использования можно также отлично приспособить измерительные приборы с более высокой погрешностью измерения (до 50 %). Если цель состоит в том, чтобы сравнить результат измерения со стандартом качества окружающей среды или предельным значением, измеритель должен быть настолько точным, чтобы при толковании предельного значения не возникало двусмысленности и на основании результатов не делались ошибочные выводы. Кроме того, в этих случаях предел определения измерителя (наименьшая достоверно измеренная концентрация) должен быть меньше, чем предельное значение; как правило не более 30 % от предельного значения.

При принятии решения о пригодности измерительного прибора для участка должна быть возможность в каждом конкретном случае учитывать уровни концентрации на этом участке. Иногда концентрации переменных, измеряемых на месте наблюдения, настолько высоки, что даже менее чувствительные приборы, то есть измерители с более высоким пределом определения, могут использоваться в полной мере. Низкий предел определения измерителя может быть необходим, например, в тех водоемах, где измеряемые концентрации изначально низки или цель состоит в том, чтобы снизить концентрацию аналита с текущего уровня с помощью водоохраных мер.

Рекомендации по качеству данных, экспортируемых в регистры качества данных о качестве воды, опубликованные Институтом окружающей среды и природных ресурсов Финляндии SYKE (Няукки и Вяйсянен, 2016), устанавливают определенные требования к погрешности измерений и пределам определения. Однако сравнивать погрешности оборудования непрерывного измерения с рекомендациями по качеству необходимо тщательно, так как обязательно учитывать, что в рекомендациях SYKE отсутствует фактор неопределенности пробоотбора. Как правило, показатели погрешности онлайн-измерителей включают погрешность пробоотбора, и при проверке погрешности результатов нет надобности учитывать источники ошибок, вызываемые транспортировкой и хранением. Таким образом, значения, превышающие погрешности, о которых говорится в рекомендациях SYKE, могут быть обоснованными, если погрешность пробоотбора включена в расчет (с учетом также типа образца и уровня концентрации анализируемого вещества).

Если используется новое оборудование, которое только что появилось на рынке, или оборудование, которое еще не использовалось в полевых условиях в Финляндии, рекомендуется, чтобы оно было проверено, по крайней мере, независимым инспектором. При тестировании или валидации можно выяснить, например, диапазон измерения прибора, пределы обнаружения и определения, найти случайную или систематическую ошибку, определить стабильность измерительного прибора и погрешность измерения. Проведенное тестирование документируется в отчете. При тестировании следует также выяснить, как окружающие условия в месте измерения и матрица образца влияют на работу прибора и выдаваемые им результаты. В Финляндии проверку работоспособности устройств проводит в том числе и Институт окружающей среды Финляндии.

3 Выбор места проведения измерений

Выбор датчика и места проведения измерения обуславливается прежде всего тем, с какой целью проводится измерение и непрерывный мониторинг. Поэтому однозначного ответа на вопрос о том, где размещать измерительную станцию, нет. Определение одного места измерения, представляющего конкретную среду, зачастую требует длительного исследования. Главная задача, которая ставится при выборе места и размещении датчиков, заключается в том, чтобы найти безопасное место со стабильными условиями, которое хорошо характеризует выбранную водную среду. Размещать измерительную станцию непосредственно рядом с местом, в котором мониторинг проводится вручную, как правило экономически выгодно, так как

это обеспечивает получение данных о локальной калибровке, необходимых для непрерывного мониторинга, а также возможные дополнительные анализы при том, что затраты остаются низкими. Кроме того, в этом случае обычно используется информация о долгосрочных изменениях качества воды.

В водотоке устанавливайте датчик на достаточном удалении от берега, чтобы завихрения у берега не влияли на результаты и чтобы датчик оставался на достаточной глубине. Поток в месте установки оборудования должен быть как можно более равномерным, и вблизи датчика не должно быть боковых ответвлений и участков бурного течения, в которых образуются пузырьки воздуха. Водная и береговая растительность вблизи датчика может вызвать ошибку результата измерений, если растения попадают в точку измерения. Кроме того, дно в месте установки оборудования должно быть как можно более ровным, чтобы завихрения или препятствия в поле измерения, охватываемом линзой, не влияли на результаты. Если прибор устанавливается на дне русла, разместите его и обеспечьте его защиту таким образом, чтобы он не покрывался илом и чтобы ветки и стволы деревьев, которые несет течение, не затянули прибор за собой и не нарушили целостность проводов.

Перед окончательным выбором места размещения оборудования рекомендуется провести поперечное исследование русла на основе образцов воды, с помощью которого выяснить самое выгодное с точки зрения измеряемой переменной место. Должны быть проведены достаточные измерения в разных точках в поперечном сечении, по горизонтали и по глубине, чтобы определить изменчивость поля потока водяного столба и качество воды при различных условиях потока. На основании этого можно выбирать окончательное, точное местоположение измерительного устройства.

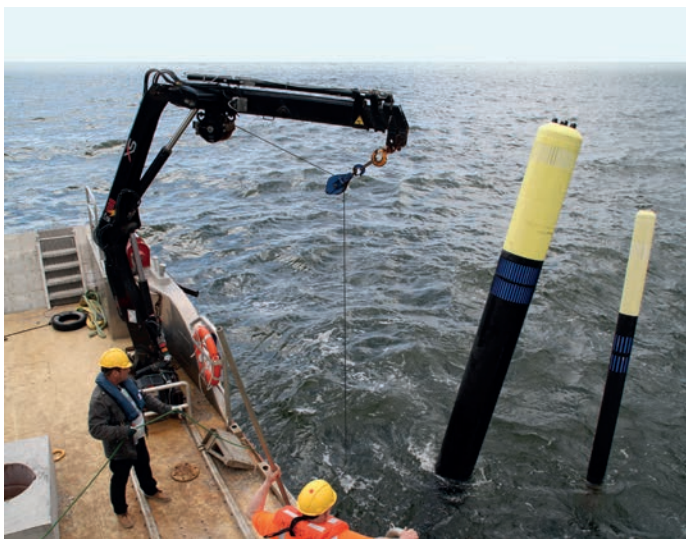
Дополнительная информация о выборе места планируемых в водотоке измерений представлена, в частности, в следующих публикациях: Вагнер с соавторами (2006) и Таттари с соавторами (2015).



Kuva Lauri Arvola



Kuva Lauri Arvola



Kuva Seppo Virtanen

Фото 2. Решения по монтажу измерительного оборудования, используемого для непрерывного мониторинга.



Kuva Kaisa Lampinen



Kuva Jonna Kuha

В озерах и прибрежных водах лучше всего размещать станцию на глубоководье озера или морской акватории соответственно. Другими факторами, влияющими на место размещения измерительной станции, являются, например, местоположение источника нагрузки, местоположение входных токов, а также вопросы крепления и подачи питания. Измерители также могут быть установлены на судне или лодке. В этом случае критериями выбора являются требования, установленные при монтаже и обслуживании, а также маршрут движения судна. На размещение профилирующих измерительных систем существенно влияют логистические требования.

Во всех средах при выборе места учитывайте также удобство техобслуживания. Например, в ветреных местах на озерах и в море высокая волна может сильно затруднить техобслуживание, и поэтому не всегда возможно соблюдать программу регулярного сервиса.

Памятка:

- удобство доступа к месту измерений, включая возможность оставить автомобиль на стоянке поблизости или подойти к месту на лодке
- безопасное и достаточное пространство для проведения техобслуживания
- крепеж станции, ее якорное крепление, доступность и безопасность на случай экстремальных явлений (замерзание, наводнение или сильный ветер)
- наличие электричества и покрытие сети GSM

Кроме того, необходимо учитывать вопросы, связанные с разрешениями, поскольку установка оборудования в открытых реках или озерах / морских районах не является правом каждого. Чтобы устанавливать оборудование в морских районах и озерах, требуется разрешение владельца акватории. Для установки на реке требуется согласие владельца территории.

При планировании измерительной станции в озере или в море обязательно обращаться в Транспортное агентство Финляндии. Как правило, измерительная станция должна быть видима водным транспортным средствам (например, оборудована особыми знаками, световыми сигналами, иметь светоотражающую поверхность). Как правило, размещать станцию в фарватере запрещено. В некоторых случаях может потребоваться решение надзорного органа наподобие решения Финского агентства транспортной инфраструктуры.

4 Поддержание эксплуатационного состояния станции и ее техническое обслуживание

4.1 Базовое обслуживание

Проверка работы, очистка датчика

Станции непрерывного измерения качества воды нуждаются в **обслуживании**, которое включает, например, различные меры по очистке, а также обеспечение электропитания станции (батарейки, аккумуляторы, солнечная батарея, электрическое подключение). Во время технического обслуживания проверяется общее состояние станции, крепление измерительных приборов, чистится оборудование и датчики в соответствии с каждым типом датчика.

Оптические измерительные приборы всегда нуждаются в обслуживании, даже если они имеют автоматический механизм очистки. На датчиках может накапливаться создающая помехи измерению биологическая растительность, растительность, приносимая с потоком воды, или другие вещества, которые не удаляются при автоматической очистке. Имеющееся на рынке оборудование оснащено разными автоматическими методами очистки, самые распространенные из которых – это очистка сжатым воздухом и различные механические щетки и дворники. При техобслуживании баллоны со сжатым воздухом или компрессоры, используемые при очистке сжатым воздухом, клапаны и шланги, а также инструменты механической очистки проверяются, проходят сервисное обслуживание и при необходимости заменяются.

Интервал обслуживания оптических измерительных приборов в значительной степени зависит от объекта измерения и времени года. В период вегетации, когда вода теплая, оборудование загрязняется сильнее, чем в холодное время года. Если оборудование установлено в водотоке небольших рек, то его необходимо обслуживать чаще, чем то, которое размещено в водотоке крупных рек. В сезон открытой воды станции, размещенные в небольших реках, нужно обслуживать почти еженедельно, даже если прибор оснащен механизмом автоматического очищения. Зимой потребность в обслуживании приборов в крупных реках как правило невысока. По опыту Центра экономического развития, транспорта и окружающей среды Юго-Западной Финляндии, на глинистых речных участках подходящий интервал обслуживания составляет 2 недели летом и примерно раз в месяц зимой. На объектах имеется оборудование, работающее по методу очистки сжатым воздухом.

В озерах и морской среде профилирующее измерительное оборудование часто помещается на глубину на время измерения. Ниже продуктивного слоя загрязнение оборудования уменьшается, а вместе с этим увеличивается и интервал обслуживания. А на озере Пюхьярви в Сякюля, где измерительное оборудование находится в продуктивном слое, на глубине около 1 метра, интервал обслуживания составляет 1–2 недели. Больше всего оборудование



Kuva Jari Koskiaho



Kuva Pia Mattila-Lonka



Фото 3. Техническое обслуживание измерительного оборудования.

Фото Марью Тарвайнен

загрязняется в период вегетации, в сезон теплой воды, а зимой интервал техобслуживания увеличивается.

Существуют ряд способов предотвращения загрязнения оборудования. Датчики и оптические окна оборудования поддерживаются в чистоте методом химической обработки или нанесения предохраняющего от обрастания состава. Усовершенствованные станции измерения поверхностных вод могут иметь отдельное оборудование для очистки, которое через определенные промежутки времени закачивает моющий раствор в систему внутренней циркуляции. Обработка предохраняющим от обрастания составом может продлить интервал обслуживания, но это не полностью исключает необходимость такового.

После очистки обязательно отслеживать результаты, чтобы заметить возможные изменения в уровне концентрации, вызванные очисткой. Если очистка влияет на результаты, это обычно является признаком слишком длительного интервала обслуживания или того, что при очистке измеритель сместился с заданной точки.

Чтобы облегчить процесс техобслуживания, зимой прорубь, сделанную для проведения измерений, можно накрыть, например листом из пенопласта и присыпать снегом в качестве изоляции. В сезон минусовой температуры для облегчения очистки можно воспользоваться нагревательными кабелями. Важно помнить, что кабели, идущие от измерителя, должны быть защищены от примерзания ко льду. Самые большие трудности с оптическими измерителями появляются, когда лед трогается или водная поверхность начинает замерзать, и в воде появляются льдинки или переохлажденная вода.

В конце концов, потребность в техническом обслуживании всегда определяется в каждом месте отдельно на основе накопленного там опыта измерений. Передача данных результатов измерений в режиме реального времени облегчает и ускоряет обнаружение потребностей в обслуживании и аварийных ситуаций.

Журнал техобслуживания

При посещении места, в котором установлена измерительная станция, важно делать подробные **записи** о проведенных мероприятиях с указанием времени и обнаруживаемых на месте факторах, влияющих на измеряемые переменные. Это могут быть аномальная мутность воды, следы животных, странный запах, обработка почвы на полях, а также иные признаки мер, которые могут влиять на качество воды. Хорошо составленные записи часто значительно облегчают обработку материала и оценку его качества. Рекомендуется вести электронный дневник, доступ к которому будет у всех участвующих в процессе. Так информация будет передаваться от физического места измерений к обработчику данных.

Поиск ошибки и устранение проблем

Неисправности измерительных приборов проявляются в виде аномальных результатов или полном отсутствии какого-либо материала. Как правило, аномальные результаты являются следствием загрязнения устройства, и поэтому первое, что нужно сделать – это провести техническое обслуживание прибора. Отсутствие материала обычно вызвано проблемами с питанием или неисправностями передающего оборудования, причиной которых может быть, например, удар молнии. Для того чтобы найти ошибку, необходимо хорошо разбираться в работе оборудования станции. Если неисправность не удастся найти на месте, оборудование можно отправить поставщику для более подробной проверки и поиска ошибки. В критически важных местах измерений рекомендуется иметь возможность использовать сменное оборудование для того, чтобы обеспечить бесперебойный процесс измерения.

4.2 Базовая калибровка прибора

В ходе базовой калибровки определяется, как прибор осуществляет измерение относительно известного эталона. Таким образом, калибровка определяет отклонение показаний измерителя от известной концентрации стандартного раствора. Через определенные промежутки времени, например ежегодно, нулевая точка датчика должна проверяться т. е. нулевым раствором, и стандартными растворами с различными концентрациями наклона калибровочной линии. В каждом конкретном случае необходимо оценить, достаточно ли откалибровать одну точку или же требуется калибровка нескольких. Возможность использования нескольких стандартных растворов различных концентраций подтверждается тем фактом, что

их можно использовать для определения линейности калибровочного уравнения. Калибровку всегда стоит проводить по инструкции поставщика оборудования. Рекомендации по интервалу проведения калибровки, подлежащих использованию растворов, условиях их хранения и температуре калибровки варьируются в зависимости от производителя.

Когда два одинаковых датчика одного и того же производителя калибруются одним и тем же стандартным раствором, на результаты измерений влияют в основном только случайные ошибки. Принцип измерения в устройствах разных производителей может отличаться. Они, возможно, и будут выдавать одинаковый для калибровочного стандарта результат, но в природных водах вызывающие помехи вещества могут по-разному влиять на работу измерителей разных производителей, и фактические результаты, соответственно, будут разными.

Как правило, датчики калибруются на заводе. После приобретения прибора и перед его вводом в эксплуатацию можно совместно с лабораторией убедиться в его пригодности для исследуемого типа образца и уровня концентрации вещества. Исследование может обеспечить определение подходящего диапазона измерения, расчет нижнего предела измерения и расчет погрешности измерения. Это рекомендуется делать особенно в тех случаях, когда вы имеете дело с новой моделью/брендом оборудования, которые ранее не использовались в Финляндии. В качестве альтернативы при покупке может потребоваться, чтобы поставщик оборудования продемонстрировал пригодность измерительного оборудования для исследуемых концентраций и типов образцов.

Однако вдобавок обязательно проводить т. н. калибровку для конкретного места измерений. Это необходимо для того, чтобы обеспечить достоверность выдаваемого датчиком материала именно в той точке, куда его решено поместить. На измеренные датчиком значения сильно влияют факторы, специфичные для каждого места измерения, такие как, например, размер и форма частиц, взвешенных в воде, виды фитопланктона и темнота/цвет воды, которые в значительной степени регулируются количеством растворенного органического вещества (для получения дополнительной информации см. раздел 4.1).

Точность калибровки должна контролироваться в течение периода измерения с помощью проб воды. Оператор оборудования непрерывного мониторинга должен разработать критерии того, когда калибровка считается действительной и когда ее необходимо провести снова. При обновлении калибровки рекомендуется подумать о следующем:

- Отклонение измерений, основанных на однократных пробах воды, от результата, выдаваемого прибором: можно ли для него установить какой-нибудь фиксированный предел? Если предел превышает, то проводить ли новое сравнение или же нужно проводить новую калибровку?
- Распределение последовательных результатов отбора проб воды: всегда ли результаты отбора проб воды больше или меньше результатов, полученных измерителем, и если да, то сколько таких последовательных результатов допускается? На каком этапе ошибка считается систематической?
- Изменяются ли результаты сравнительных измерений таким образом, что, например, результаты проб воды были изначально больше, чем показания прибора, но сейчас они становятся меньше показаний прибора? Такое линейное изменение может указывать на изменение в работе измерительного прибора.

5 Обработка данных измерения

5.1 Калибровка, основанная на пробах воды, взятых в определенном месте измерения

Надежная калибровка в месте проведения измерений, которую также называют локальной калибровкой или валидацией, особенно важна с точки зрения качества получаемых данных. Количество эталонных образцов воды, необходимых для проведения калибровки в конкретном месте, не является однозначным. Хорошие данные калибровки должны включать наблюдения самого широкого диапазона, то есть на практике образцы калибровки берутся при максимально разных условиях и во все сезоны периода измерения (Арола с соавторами, 2012). Для калибровки необходимо брать достаточно много образцов и они должны быть разными, особенно в верхней и нижней границе диапазона концентраций.

Отбор проб для калибровки следует осуществлять как можно ближе к измерителю, чтобы лабораторный результат образца воды и результат, выданный полевым прибором, были максимально сопоставимы. Кроме того, уделяйте особое внимание транспортировке, хранению и лабораторному анализу образцов воды. Это необходимо, поскольку многие аналиты нестабильны, и их концентрация может меняться даже за несколько часов.

Следует также отметить, что в некоторых случаях непрерывный мониторинг и лабораторные измерения на основе отобранных проб производятся совершенно разными способами. В этом случае на корреляцию результатов влияет изменение коэффициента преобразования между методами. Например, измерение флуоресценции хлорофилла может показать низкое количество водорослей, даже если лабораторные измерения указывают на то, что водорослей много. В этом случае речь, однако, может идти не об ошибке оборудования, а об изменении отношения флуоресценции пигмента клетки водорослей к аналитически измеренной концентрации при изменении состава или физиологического состояния сообщества водорослей.

Наблюдения показывают, что отбор проб воды **на участках водотока** как правило производится в период низкого тока. Это объясняется тем, что рост стока и, как следствие, повышение концентрации вещества – явление кратковременное, и обычно заборщик проб не успевает прибыть на месте вовремя. Можно порекомендовать при отборе проб использовать **автоматический программируемый пробоотборник**, чтобы не пропускать ситуации стока (Тарвайнен с соавторами, 2017). Более подробная информация о конкретной калибровке измерений проточной воды представлена в Практическом руководстве по непрерывному измерению качества воды в водотоке (фин. *Virtavesien vedenlaadun jatkuvatoiminen mittaaminen*, Таттари с соавторами, 2015).

В морях и озерах колебания концентрации как правило меньше, чем в речной среде. Таким образом, при отборе проб воды важно стремиться к равномерности отбора проб во времени, чтобы между пробами, отбираемыми одна за другой, не было большого временного интервала. В отношении образцов воды, используемых для локальной калибровки профилирующего оборудования, рекомендуется отбирать пробу в слое воды, в котором колебания концентрации низкие. Это необходимо для



Фото Марью Тарвайнен



Фото 4. Примеры отбора проб воды.

Фото Сиркка Таттари

того, чтобы обеспечить надежную сопоставимость с профилирующим измерителем. Виды фитопланктона и, следовательно, пигментный состав видов варьируются в течение вегетационного периода, что влияет на калибровку хлорофилла. Непрерывный мониторинг может также показывать исключительно высокие концентрации хлорофилла во время цветения фитопланктона или высокие значения мутности из-за распространения речной воды, и в этом случае было бы хорошо взять пробу воды.

Цель калибровки состоит в том, чтобы выяснить, насколько хорошо результаты лабораторного анализа и результаты измерений датчиком коррелируют друг с другом. Как правило, предполагается, что зависимость является линейной, и в настоящем руководстве рассматривается регрессионная модель одной переменной. Как правило, следует не принудительно проводить кривую регрессии через ноль, а включать постоянное слагаемое в уравнение. Когда накапливается достаточное количество материала, для уравнения калибровки также рассчитывается коэффициент детерминации коэффициента корреляции (R^2), который сообщает, какая часть колебаний результата датчика объясняется лабораторным результатом. Если материал содержит отклонения, отметки о наблюдениях, которые находятся далеко от линейной регрессии, они, естественно, понизят коэффициент детерминации уравнения.

В качестве исключения из регрессионной модели одной переменной, в озерах и в морских районах в летний период при калибровке концентрации хлорофилла-а применяется калибровочное уравнение с несколькими переменными, в котором объясняющие переменными помимо флуоресценции хлорофилла является флуоресценция фикоцианина (Сеппяла с соавторами, 2007). Проблемы калибровки хлорофилла описаны в отчете «Непрерывное измерение количества водорослей» (фин. "Jatkuvatoiminen levämäärien mittaus", Хуотари и Кетола, 2014).

5.2 Предварительная обработка данных

Обработка данных измерений является важной частью качественного непрерывного мониторинга качества воды. При покупке измерительных устройств рекомендуется уточнить, предлагает ли поставщик устройства такую услугу, как проверка качества, или же работа с материалом полностью или частично ложится на плечи заказчика работы или лица, которое производит измерение. Обеспечение качества данных – это сложный процесс, требующий экспертного опыта работы как с измерительным оборудованием, так и в среде, в которой производятся измерения. Для получения максимально достоверных результатов настоятельно рекомендуется выделить достаточно средств на обеспечение качества.

Обработка данных измерений начинается с их предварительной оценки. Для этого могут быть доступны системы автоматического контроля качества данных и маркировки качества, к которым также может быть подключена передача отчетов об ошибках. Такая система применялась в рамках проекта МaaSää (Хуйту, 2009). Автоматизированные системы являются хорошими инструментами обработки больших объемов информации, однако обеспечение качества пока еще нельзя проводить исключительно посредством автоматизации – материал должен проверять специалист. Ритм проверки данных зависит от цели измерений и требований реального времени. В большинстве случаев первоначальные проверки качества выполняются несколько раз в день, но во многих ситуациях достаточно менее интенсивного мониторинга, например, с интервалом в несколько дней.

В водотоке колебания качества воды могут меняться быстро, и поэтому частые проверки как правило обоснованы. Однако **в условиях озера и моря** колебания происходят с меньшей скоростью, и поэтому вполне достаточно проводить проверки реже. В определенных ситуациях учащенные проверки также могут проводиться в озерной и морской зоне, например, в сезон цианобактерий. К примеру, интервал проверок на озере Пюкьяляярви, в Сякюля, летом составлял 2–3 дня. На ритм проверки влияет, естественно, также скорость передачи данных, то есть то, с какой частотой материал передается со станции в базы данных.

Памятка для сверки данных (Котамяки с соавторами, 2009):

1. Часто смотрите на данные, выдаваемые измерительным прибором
2. Используйте функцию автоматического анализа
 - анализ недостающей информации
 - анализ пограничных значений
 - анализ колебаний
 - испытания «шипов»
3. Быстро реагируйте на сигналы тревоги
4. Записывайте меры, принятые вследствие сигнала тревоги
5. Документируйте аспекты, влияющие на качество получаемых данных
6. Информацию, относящуюся к техническому обслуживанию, храните вместе с рабочим материалом

При первичном обеспечении качества удалите явно ошибочные результаты измерения и проверьте возможное отставание выдачи результатов измерений. Последнее часто выясняется только при следующем техническом обслуживании, поэтому при предварительной оценке данных также следует учитывать немного более длительный период измерения. Ползучесть результатов впоследствии сложно корректировать, но в некоторых случаях все же возможно в вычислительном отношении. В отношении нитрата представлены расчетные формулы (например, Пеллерин с соавторами, 2013).

Если результат отличается от нормального, то иногда требуется выяснить исходные данные и причины, а также подстраховаться другим материалом, собранным на месте. Аномальный результат не является автоматически неправильным. Общее руководство по выявлению ошибочного результата дать сложно, но как правило такие результаты выглядят как т. н. шипы, явно выделяющиеся на фоне остального материала. Хорошие долгосрочные знания об измерительной среде также помогают в оценке аномальных результатов. Если результат удаляется, рекомендуется это письменно обосновать. Рекомендуется проводить проверку качества как можно скорее после измерения, поскольку это облегчит оценку качества данных. Позднее может быть сложно выяснить причину ошибочного результата измерений. Явно ошибочные данные измерений можно полностью удалить (их не нужно оставлять даже в исходных данных). Например, в случае, если прибор перемещен на берег или если он сломан.

Обеспечение качества может быть дополнительно усилено путем создания т. н. базы данных спектров по результатам измерений спектрометра. Эта информация может быть использована в будущем для автоматического обеспечения качества непрерывных измерений. Измерения будут непрерывно сравниваться с существующими библиотечными данными, и если при сравнении форма спектра будет отличаться от спектра образца, спектр

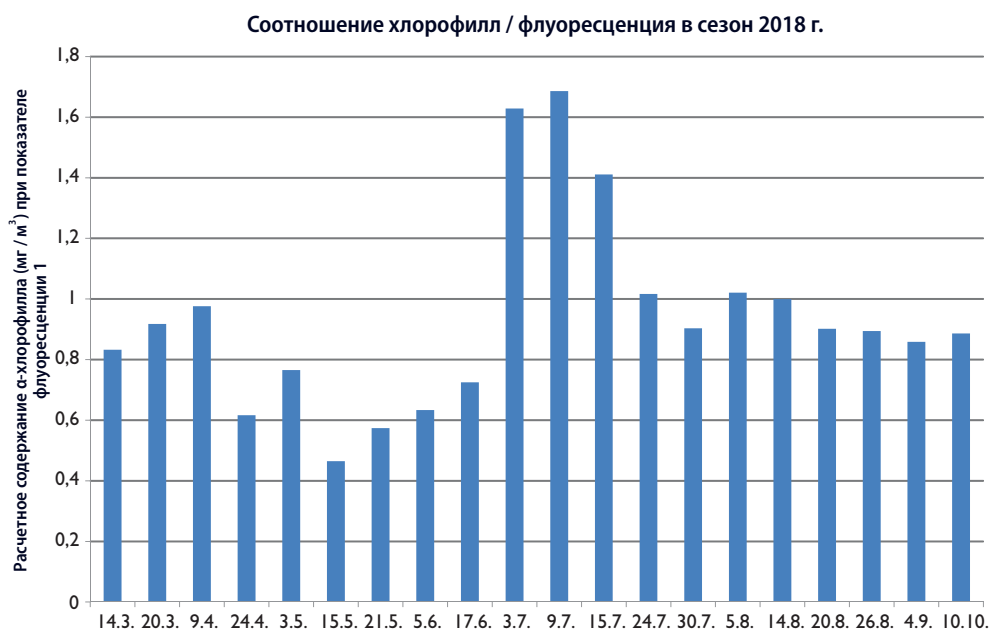


Фото 5. Отношение содержания хлорофилла-а к флуоресценции хлорофилла изменяется в течение вегетационного периода в зависимости от видового состава фитопланктона. В этом примере калибровка имеет следующую форму: рассчитанное содержание хлорофилла-а = коэффициент * флуоресценция α-хлорофилла in vivo.

можно пометить и проверить тщательнее. Однако для этого нужны новые типы программного обеспечения, которые в Финляндии, как правило, не используются.

На изображении 5 приведены примеры как ошибочных, так и правильных результатов в разных ситуациях повышения концентрации вещества.

При сборе в морской зоне материала при непрерывном мониторинге в рамках деятельности государственных органов обычно соблюдается система маркировки качества европейских баз данных. Программа Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) собирает оперативные морские данные, и были выпущены подробные инструкции по маркировке качества данных, присвоению названий переменных и обеспечению качества (Яккард с соавторами, 2018). Существует 9 различных уровней в системе маркировки качества CMEMS, но для маркировки обычно используются метки в соответствии с таблицей 2. При маркировке важно, что, если уровень качества не равен QC = 1, то к использованию материала следует относиться с осторожностью.

Таблица 2. Самые распространенные метки по CMEMS (Яккард с соавторами, 2018)

Метка качества	Пояснение
QC=0	Проверка качества материала не проведена
QC=1	Проверка качества материала проведена и он может использоваться безопасно
QC=2	Материал может быть годным для ряда целей, и пользователь должен это подтвердить
QC=3	Материал не пригоден для использования, но его возможно исправить позднее
QC=4	Непригодный для использования материал

На участках водотока такая система обычно не используется. В информационные системы импортируются обычно только хорошие данные, а неопределенные и плохие данные хранятся исключительно в необработанном виде. Это подтверждается тем, что пользователь обычно не проверяет сведения о пометках, а считает, что раз информация внесена в систему, то она по определению качественная.

5.3 Производные переменные

Используя уравнение преобразования, можно рассчитать прибором на основе измеренной переменной концентрацию такой переменной, которую невозможно измерить напрямую. Так, уравнения преобразования позволяют контролировать качество воды в отношении переменных, отличных от тех, которые измеряются непосредственно счетчиком, и поэтому такие уравнения используются очень широко. С их помощью обычно рассчитывают содержание веществ в речных потоках.

Уравнения преобразования обычно являются уравнениями регрессии. В настоящем руководстве рассматривается в основном регрессионная модель одной переменной. В каждом конкретном случае могут использоваться модели с несколькими переменными. Условием использования уравнения преобразования является сильная корреляция между измеренной переменной и производной переменной. Кроме того, соединение должно быть осмысленным с гидрологической, лимнологической или биологической точки зрения, т.е. должно иметься естественное объяснение связи. Например, в глинистых водах мутность воды сильно коррелирует с общим содержанием фосфора и твердых веществ, поэтому мутность можно использовать в качестве суррогатной переменной. Точно так же нитратный азот, который можно измерять непрерывно, обычно сильно коррелирует с общим азотом в воде. В случаях, когда доля растворенного фосфора высока, использование уравнения преобразования для расчета общего фосфора по мутности не рекомендуется. То же самое верно в ситуации, когда доля аммонийного азота высока. При этом постоянное измерение нитратного азота для расчета общего азота не рекомендуется.

Однако, если взаимосвязь между мутностью и общим фосфором плохая, мутность можно использовать для расчета концентрации фосфора в виде частиц (= общий фосфор - растворенный фосфор). Поэтому пользователь результатов должен знать, как рассчитывается переменная, рассчитанная по уравнению преобразования, и что представляет собой результат.

Построение уравнения преобразования

Чтобы составить уравнение преобразования, требуются пробы воды, проанализированные в лаборатории. Уравнения преобразования рассчитываются с помощью регрессионного анализа так же, как и описанное выше уравнение калибровки между необработанными результатами датчика мутности и показателями мутности, полученными по образцам воды (см. 4.2).

Уравнения преобразования могут формироваться по-разному. Например, мутность, показатели которой получены методом постоянных измерений, преобразуется в общий фосфор по крайней мере тремя способами:

1. В лаборатории формируется уравнение между общим фосфором и мутностью, показатель которой получен на основе анализа проб воды. Чтобы рассчитать временной ряд общего фосфора, в уравнение

включаются непрерывно измеренные калиброванные значения мутности.

2. Берется калиброванный для местных условий показатель мутности и измеренный по пробе воды общий фосфор, и из них формируется уравнение.
3. Берется полученный прибором неоткалиброванный показатель мутности и общий фосфор, проанализированный в лаборатории по пробе воды, и из них формируется уравнение. В этом случае можно говорить о калибровке мутности в общий фосфор.

Влияние различных методов расчета на достоверность результатов еще не выяснено, поэтому в настоящее время рекомендуется всегда сообщать, каким методом производился расчет. Тем не менее, рекомендуется использовать необработанные данные, так как это всегда уменьшает погрешность, связанную с преобразованием данных.

Пока еще недостаточно информации об общей применимости уравнений преобразования к различным водоемам, и поэтому в настоящее время **рекомендуется составлять уравнения для конкретных участков**. В любом случае, чтобы обеспечить качество результата работы измерительного прибора, необходимо регулярно отбирать эталонные пробы воды, чтобы анализ переменных, необходимых для составления уравнений преобразования, не вызывал значительных дополнительных затрат. Также следует отметить, что могут существовать различия между различными марками устройств и отдельными устройствами, и в этом случае использование общего уравнения может привести к ненадежным результатам. Поэтому в том же месте измерений необходимо по меньшей мере проверять уравнения преобразования, когда оборудование меняется.

Использование уравнений преобразования всегда связано с погрешностью, которая должна учитываться при использовании результатов. Обязательно обращайте внимание на степень объяснения уравнения регрессии. Однако в свете современных знаний пока нельзя дать рекомендации относительно того, какой коэффициент детерминации можно считать достаточно высоким, и он частично зависит от конкретной переменной. Кроме того, погрешность уравнения может варьироваться в зависимости от диапазона концентраций. Как и в случае калибровки для конкретного участка (раздел 4.1), релевантность проб воды для различных ситуаций концентрации и их количество имеют решающее значение для надежности уравнения при построении уравнений преобразования. Довольно часто аномальный результат измерения (касается как результата, полученного прибором, так и результата, полученного в лаборатории) отклоняется как ошибочный. Однако результат измерения не может быть отклонен без обоснования. Тем не менее, в уравнение не следует включать показатели, которые являются кардинальным отклонением. Если так сделать, то уравнение, скорее всего, переоценит т. н. нормальные ситуации концентрации (Тарвайнен с соавторами, 2017).

При построении уравнения следует также обратить внимание на его линейность, а остаточный анализ должен быть выполнен, чтобы обеспечить определенность того, описывает ли модель взаимосвязь между переменными. В остаточный анализ также следует включать другие измеренные переменные, чтобы наблюдать, как различные факторы влияют на уравнение преобразования. Если используются многозначные регрессии, использование вспомогательных переменных должно основываться на

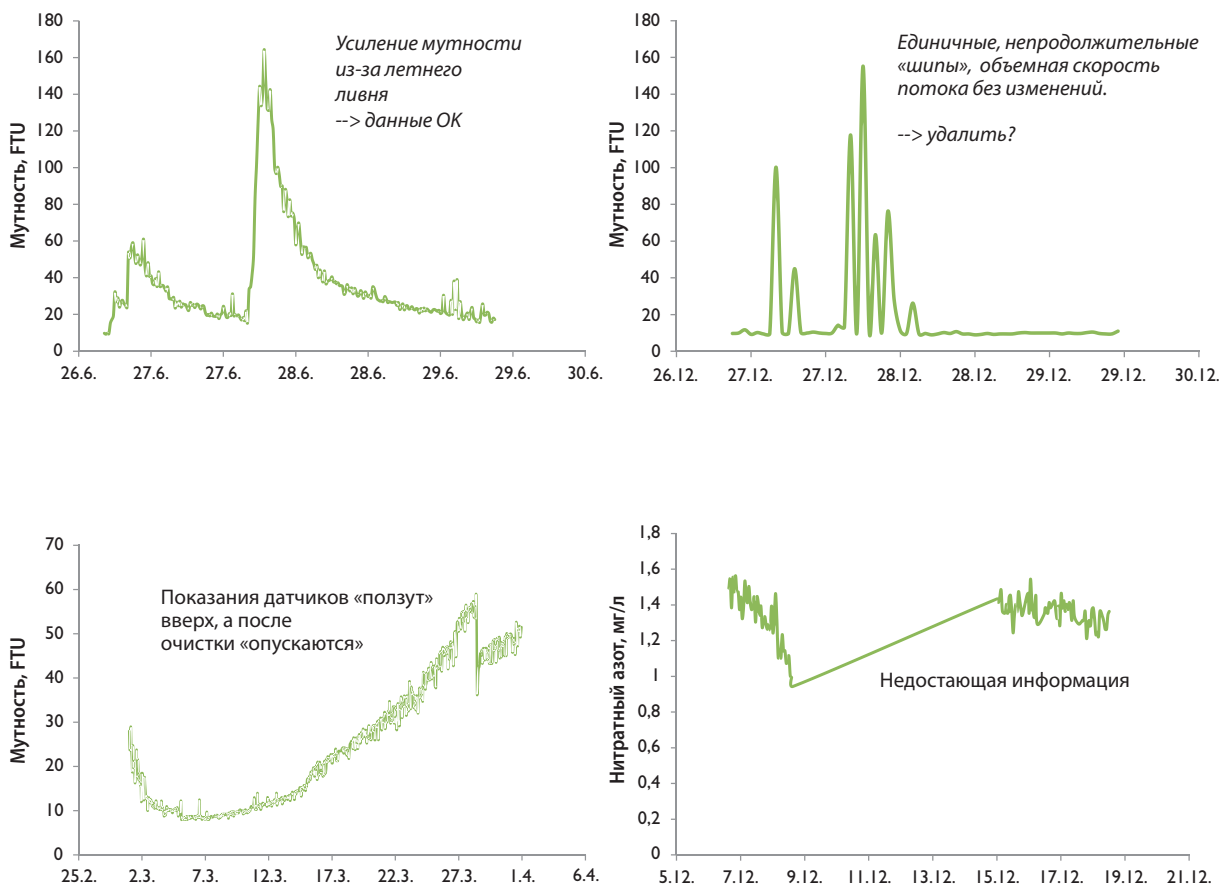


Фото 6. Примеры качественных результатов непрерывного мониторинга качества воды и часто встречающихся проблем.

фактической зависимости. Тем не менее, наиболее важным всегда является представление используемого уравнения преобразования и материала, на котором основано это уравнение. Время от времени также полезно проверять функциональность уравнения преобразования, т. е. изменяют ли новые результаты образцов воды уравнение.

5.4 Окончательная обработка данных

Окончательная оценка и проверка данных означает, что с определенными интервалами данные измерений рассматриваются как единое целое в течение более длительного периода времени. Это может производиться по окончании измерительной работы, если она носила проектный характер. Если измерительная станция постоянная, то проверку можно проводить, например, в конце сезона измерений (касается измерений, которые длятся весь период открытой воды) или, если речь идет о круглогодичной станции, то можно проверять материал за год.

При окончательной проверке обращайте внимание на следующее:

- Более долговременные тренды, обнаруживаемые в данных, ползучесть показателей и их возможные объяснения

- Оценка рабочего состояния измерителя/датчика (дисперсия, изменение базового уровня и т. п.)
- Проверка калибровочных и конверсионных уравнений
- Изменения, произошедшие в водосборном бассейне или водоеме

При этом можно также провести проверку данных из множественных источников, сравнивая результаты, полученные разными станциями, измерителями и методами.

Перенос информации в базу данных

Правильная передача данных в базы данных и их архивирование является частью качественного непрерывного мониторинга. Исходный материал измерений, который чаще всего называют сырыми данными, обязательно сохранять. По мере накопления измерительных данных в месте мониторинга калибровочные уравнения зачастую оптимизируются и расчет производится новыми уравнениями ретроспективно – в том числе и для более старых данных, содержащихся в сыром источнике. Сырые данные и исправленные данные должны храниться так, чтобы их можно было отличить друг от друга. Как правило достаточно назвать файлы таким образом, чтобы у пользователя не оставалось сомнений в качестве материала и его происхождении.

Рекомендуется делать по крайней мере две копии материала измерений и регулярно их обновлять. Рекомендуется создать отдельную базу данных для данных измерений, в которой будут храниться сырые данные и рассчитанные/скорректированные значения. В базу данных можно включить также сведения о проведенном техобслуживании и снятии инспекционных показаний.

При передаче данных между базами данных, т. е. между поставщиком оборудования или другой стороной, ответственной за хранение и обработку данных, и SYKE, при интерпретации данных следует соблюдать особую осторожность. Принимающая сторона должна, например, знать о способе маркировки отсутствующих или удаленных результатов измерений. Материал может содержать, к примеру, отметку о времени без непосредственно самого результата, или в нем может даже не быть отметки о времени. При обновлении старых данных измерений необходимо убедиться, что новые данные также передаются в принимающую базу данных. Получатель также должен знать, идет ли речь о сырых данных или о материале подтвержденного качества. Если данные измерений по-прежнему используются, например, для предоставления какой-либо услуги, к передаче данных могут быть добавлены дополнительные промежуточные этапы и расчеты. В этом случае необходимо позаботиться о том, чтобы на каждом этапе использовались правильные данные и чтобы интерпретации были согласованными.

Сохранение мета-данных

Обо всех измерительных станциях обязательно вносить подробную информацию в анкету мета-данных. В ней указывается следующее: информация об оборудовании (марка, модель, серийный номер), информация о калибровке, способ проверки данных, классификация качества используемого материала, место хранения данных и т. д. В приложении представлен образец анкеты (приложение 1).

Отсутствие мониторинга в режиме реального времени. Если нет необходимости осуществлять мониторинг результатов в режиме реального времени или нет доступных сетевых подключений, результаты измерений, сохраненные в измерительном устройстве, обычно можно загрузить на компьютер и обработать с помощью программного обеспечения, предоставленного поставщиком оборудования, или с помощью других программ обработки данных. В таких ситуациях данные могут быть позже переданы в базу данных. Такая ситуация может возникнуть, например, на озере или море, где нежелательно или невозможно установить буй на поверхности.

Мониторинг в режиме реального времени. Мониторинг данных в режиме реального времени предполагает передачу данных, которая обычно работает через сеть GSM. Техническая реализация передачи данных варьируется в зависимости от поставщика, но как правило передачу данных можно настроить самостоятельно так, чтобы она производилась через определенный интервал – например один или пару раз в сутки. Передача данных всегда сопряжена с определенными расходами. Обычно информация отправляется либо в собственную базу данных поставщика оборудования, либо в базу данных заказчика. Услуга передачи данных может также включать графическое представление материала, но в самом простом случае – только передачу непосредственно самого материала. Рекомендуется еще на этапе покупки измерителя принять во внимание содержание услуги, чтобы она лучше отвечала потребностям.

6 Требования к квалификации персонала

Выбор оборудования, его монтаж, обслуживание, обработка данных и отбор сравнительных образцов воды должны осуществляться специалистами. Установщик измерительного оборудования должен понимать влияние окружающей среды на результаты и знать технические требования к установке прибора. Лица, которые производят техобслуживание, должны быть хорошо обучены процессу обслуживания и понимать принцип работы оборудования. Большинство поставщиков обучают работе с оборудованием. Непрерывное обучение персонала как теории, так и новейшим аспектам полевой работы обеспечивает долгосрочное качество материалов.

Отбор эталонных проб воды для конкретного участка должен производиться только сертифицированными работниками, обладающими квалификацией в области отбора проб воды, в том числе отбора проб в водоемах, или пришедшей ей на смену в 2016 году области специализации, именуемой «Отбор проб воды и проведение измерений». Пробы воды должны всегда анализироваться аккредитованной лабораторией, в компетенцию которой входит анализ желаемых переменных.

При выборе места измерения обращайтесь внимание на такой аспект как техника безопасности, то есть, например, безопасно ли проводить техобслуживание в этом месте. Квалифицированный обслуживающий персонал может оценить риски, связанные с временами года, и, при необходимости, соответствующим образом экипировать себя и выявить ситуации, когда техобслуживание проводить небезопасно (например, при сильном ветре на озере или море).

Опыт и внимательность персонала на всех этапах процесса гарантирует высокое качество данных измерений.

SYKE и другие отраслевые организации регулярно проводят тренинги по новым методам измерения качества воды. Рекомендуется участвовать в тренингах, так как эта область быстро развивается и появляется все больше и больше информации по вопросам, влияющим на качество измерений.

Руководства по технике безопасности:

- Охрана труда при отборе проб воды и других элементов окружающей среды, а также при проведении гидрологических измерений, Инструкции Управления по охране окружающей среды и природных ресурсов Финляндии 6/2006 (<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41537>)
- Охрана труда при использовании катеров и яхт, Инструкции Управления по охране окружающей среды и природных ресурсов Финляндии 9/2006 (<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B0A7BEEA7-D048-458F-BDFA-6FD28A0B6C7B%7D/59435>)
- Охрана труда при использовании снегоходов и квадроциклов, Инструкции Управления по охране окружающей среды и природных ресурсов Финляндии 4/2006, <http://hdl.handle.net/10138/41530>

7 Рекомендуемые нормы закупок

Организация может либо сама проводить всю работу, связанную с измерениями, либо привлекать к ней субподрядчиков из разных организаций. Поставщиками оборудования почти всегда являются частные компании, у которых приобретаются различные наборы услуг. У поставщика можно, как минимум, купить или арендовать оборудование, после чего заказчик обеспечивает проведение всей остальной работы, связанной с измерениями – либо своими силами, либо привлекая субподрядчиков (техобслуживание, отбор проб воды, анализ образцов воды, обработка материалов). Как максимум, у поставщика можно приобрести полный набор услуг, из которых складывается измерительная деятельность. При этом заказчик должен убедиться в том, что все этапы производятся надлежащим образом с соблюдением требований к квалификации персонала, указанных в настоящем руководстве.

Важно, чтобы субподрядчик смог продемонстрировать свою компетентность в письменной форме и, по возможности, посредством аккредитации или сертификации. Кроме того, можно запросить у субподрядчиков информацию о уже осуществленных подобных работах на заказ.

Как правило, закупка оборудования для непрерывного мониторинга качества воды осуществляется посредством проведения тендера. Когда запрос на коммерческое предложение составлен тщательно, гораздо легче сравнивать полученные предложения и быть уверенными в качестве приобретаемого измерительного оборудования / услуги по проведению измерений. Рекомендации по составлению запроса на коммерческое предложение представлены, в частности в публикациях Хуотари и Кетола (2014), Таттари с соавторами (2015), Тарвайнен и Суомела (2017). Независимо от метода закупок, качество измерений должно быть единообразным и соответствовать рекомендациям в настоящем руководстве.

8 Документация

Документация с информацией о непрерывном мониторинге качества воды является важной частью качественного измерения. Место хранения документации должно быть известно всем участвующим в работе по измерению.

Документация должна включать по крайней мере следующие аспекты:

1. Соглашения, например, о правах землепользования или других вопросах, охватываемых соглашением.
2. Руководство по отбору проб и лабораторному анализу, включая практические рекомендации, в котором информация представлена настолько точно, что в принципе любой, кто удовлетворяет требованиям по квалификации, мог бы проводить работы с требуемой точностью и соблюдением должного уровня качества. Каждая инструкция должна составляться и обновляться только одним лицом.
3. Принципы и методы обработки данных измерений.
4. Список лиц, ответственных за оборудование и инструкции.
5. Перечень квалификаций (в крупных организациях): кто имеет право брать образцы и анализировать их; кто имеет право проверять качество данных измерений и вносить их в базы данных. Отклонения от перечня не допускаются.
6. Ответственный за оборудование ведет его журнал, в который вносятся основные данные об эксплуатации и свойствах устройства.
7. Инструкции по эксплуатации оборудования. Предоставляемые поставщиком и при необходимости собственные инструкции с указанием подробностей по конкретной станции.
8. Журнал технического обслуживания оборудования (см. раздел 3.1).

ИЗ ЧЕГО СКЛАДЫВАЕТСЯ КАЧЕСТВО

Выбор места проведения измерений

- доступность исходных данных (качество воды, объемная скорость потока)
- репрезентативность, расположение в водоеме
- отсутствие помех на участке, на котором проводятся измерения
- техника безопасности
- наличие услуг, необходимых для станции (например, телекоммуникации, электричество)

Выбор и покупка измерительного прибора

- измеряемые переменные
- форма приобретения (владение, лизинг)
- тендер, критерии качества (например, надежность измерителей и их производительность)

Открытие измерительной станции

- монтаж специалистом
- круглогодичная, период открытой воды
- разрешения

Поддержание эксплуатационного состояния станции и ее техническое обслуживание

- регулярное техническое обслуживание
- базовая калибровка
- журнал техобслуживания

Обработка данных измерения

- калибровка, основанная на пробах воды, взятых в определенном месте измерения, калибровочное уравнение
- предварительная обработка данных
- производные переменные, уравнения преобразования
- окончательная обработка данных
- прослеживаемость пути обработки

Рекомендуемые критерии проведения измерительных работ

- четкое разделение ответственности лиц, участвующих в работе по измерению
- обучение персонала
- анализ отобранных проб в аккредитированной лаборатории
- документирование процесса (анкетная форма метаданных, инструкции для конкретной станции)

9 Заключение

В дополнение к традиционному отбору проб воды и анализа образца в лаборатории все чаще предлагаются альтернативные варианты, а именно измерение непосредственно в полевых условиях. Часть измерений может быть автоматизирована и производиться непрерывно. Результаты измерений часто сразу же обновляются на веб-сайтах, поэтому многие явления можно отслеживать в режиме реального времени. Однако непрерывный мониторинг связан с большими сложностями, особенно в отношении обеспечения качества измерений и их применимости.

Для решения этих проблем имеющиеся знания и опыт стали собираться в единый справочник.

Настоящее руководство создано в рамках проекта плана реализации национальной сети контрольно-измерительных приборов для постоянного мониторинга качества воды [фин. "Jatkuvatoimisten vedenlaatuasemien valtakunnallisen verkoston toteuttamissuunnitelma - JatkuvaLaatu», <http://www.syke.fi/hankkeet/jatkuvalaatu>] в 2018 году. За реализацию проекта отвечал Институт окружающей среды Финляндии вместе с Центром экономического развития, транспорта и окружающей среды Юго-Западной Финляндии. Проект финансировался Министерством окружающей среды Финляндии.

Руководство фокусируется на общих вопросах, влияющих на качество непрерывных измерений, поэтому предлагаемые меры подходят для большинства приборов, измеряющих качество воды, и могут использоваться в разных водных средах.

В руководстве сначала рассказывается обо всех общих аспектах, относящихся к разным типам водной среды, а затем вопросы касательно **водотока, озерной и морской среды** рассматриваются по отдельности, если разные виды среды предполагают разные протоколы действий. Протокол действий в водотоке может применяться при проведении измерений в реках различного масштаба.

Настоящее руководство предназначено для улучшения и приведения к общему соответствию качества измерений на всех его этапах. Обеспечение качества представляет собой отлаженную цепочку, состоящую из выбора прибора, подходящего к водной среде, его валидации, установки, технического обслуживания, калибровки, качественного лабораторного анализа, а также профессионального обеспечения качества материалов измерений. Тщательная работа на всех этапах цепочки гарантирует успешность измерений и высокое качество данных, что значительно увеличивает возможности использования данных.

Данные, получаемые методом непрерывного мониторинга, можно использовать для разных целей: для мониторинга окружающей среды, исследований и информирования населения, но только если обеспечено качество всей цепочки измерений.

Источники:

- Arola, H. (peд.) 2012. Jatkuvatoiminen sameusmittaus. Hyvät mittauskäytännöt ja aineistonkäsittely. Ympäristöhallinnon ohjeita 2, 51 срр.
- Björklöf, K., Näykki, T., Väisänen, T. 2016. Luotettava kenttämittaus edellyttää osaavaa mittaajaa ja riittävää laadunvarmistusta, *Vesitalous* 4/2016, 39-42.
- EN 17075 (Water quality - General requirements and performance test procedures for water monitoring equipment - Measuring devices.
- Huitu, H. (peд.) 2009. Automatisoidun mittausverkon kehittäminen ympäristön seurantaan. MTT Kasvu 8, 56 срр. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/476095/mttkasvu8.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huotari, J. & Ketola, M. (peд.) 2014. Jatkuvatoiminen levämärien mittaus - Hyvät mittauskäytännöt ja aineiston käsittely. Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2014. срр. 66 https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/45421/OH_5_2014.pdf?sequence=1
- ISO/IEC19762, 2016. Information technology — Automatic identification and data capture (AIDC) techniques — Harmonized vocabulary.
- ISO 6107-2:2006. Water quality – Vocabulary.
- Jaccard, P., Hjermand D. Ø., Ruohola, J., Norli, M., Ledang, A.B., Marty, S., Kristiansen, T., Sørensen, K., Kaitala, S., Mangin, A. 2018. CMEMS-INS-BGC-QC Quality Control of Biogeochemical Measurements DOI <http://doi.org/10.13155/36232>
- Kahiluoto, J. 2015. Kenttämittareiden soveltuvuus pintavesien laadun seurantaan. Espoo: Metropolia, Insinööritoimisto, 48 срр. <http://www.theseus.fi/handle/10024/91489>
- Kotamäki, N., Thessler, S., Koskiahio, J., Hannukkala, A., Huitu, H., Huttula, T., Havento, J., Järvenpää, M. 2009. Wireless in-situ sensor network for agriculture and water monitoring on a river basin scale in southern Finland: Evaluation from a data user's perspective. *Sensors* 9, No. 4, 2862-2883.
- Kuha, J., Arvola, L., Hanson, Huotari, J., Huttula, T., Juntunen, J., Järvinen, M., Kallio, K., Ketola, M., Kuoppamäki, K., Lepistö, A., Lohila, A., Paavola, R., Vuorenmaa, J., Winslow, L., Karjalainen, J. 2016. Response of boreal lakes to episodic weather-induced events. *Inland Waters* 6 (4): 523–534. <http://dx.doi.org/10.5268/IW-6.4.886>
- Lepistö, A., Huttula, T., Granlund, K., Kallio, K., Kiirikki, M., Kirkkala, T., Koponen, S., Koskiahio, J., Liukko, N., Malve, O., Pyhälähti, T., Rasmus, K., Tattari, S. 2010. Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa – pilottina Säkylän Pyhäjärvi. Suomen ympäristö 9/2010, Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 46 изд. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=358428&lan=fi&clan=fi>
- Näykki, T. & Väisänen, T. (peд.) 2016. Laatusuosituksen ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin viettävälle tiedolle. Vesistä tehtävien analyttien määrittämissä, mittauspävarmuudet sekä säilytysajat ja tavat. 2-oe пересмотренное издание. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2016 https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/163532/SYKEra_22_2016.pdf?sequence=1
- Pellerin, B.A., Bergamaschi, B.A., Downing, B.D., Saraceno, J.F., Garrett, J.A., Olsen, L.D. 2013. Optical techniques for the determination of nitrate in environmental waters: Guidelines for instrument selection, operation, deployment, maintenance, quality assurance, and data reporting. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 1–D5, 37 изд. <https://pubs.usgs.gov/tm/01/d5/pdf/tm1d5.pdf>
- Seppälä, J., Möstalo, P., Kaitala, S., Hällfors, S., Raateoja, M., Maunula, P. 2007. Ship-of-opportunity based phycocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 489–500.
- Tarvainen, M., Kotamäki, N., Tattari, S. 2017. Vesinäytteenoton ajoitus tärkeää vedenlaatumittareiden käytössä ja ravinnekuormituksen tarkentamisessa. *Vesitalous* 1, 28–34.
- Tarvainen, M., Kotilainen, H., Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. Raportteja 86. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 65 срр.
- Tarvainen, M. & Suomela, J. 2017. Toimintamallitarkastelu - jatkuvatoimiset vedenlaatuasemat. Raportteja 12. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. срр. 28
- Tattari, S., Koskiahio, J., Tarvainen, M. 2015. Virtavesien vedenlaadun jatkuvatoiminen mittaaminen. Käytännön opas. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Opas 5/2015.
- Wagner, R.J., Boulger, R.W., Jr., Oblinger, C.J., Smith, B.A. 2006. Guidelines and standard procedures for continuous water-quality monitors. Station operation, record computation, and data reporting. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 1–D3, срр. 51 + 8 приложений. <http://pubs.water.usgs.gov/tm1d3>
- Woolway, R.I., Verburg, P., Lenters, J.D., Merchant, C.J., Hamilton, D.P., Brookes, J., de Eyto, E., Kelly, S., Healey, N.C., Hook, S., Laas, A., Pierson, D., Rusak, J.A., Kuha, J., Karjalainen, J., Kallio, K., Lepistö, A., Jones, I.D. 2018. A global analysis of surface heat loss processes in lakes. *Limnology and Oceanography*. doi: 10.1002/lno.10950. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lno.10950>

Приложение 1. Анкета мета-данных автоматизированных станций измерения качества воды

Инструкция

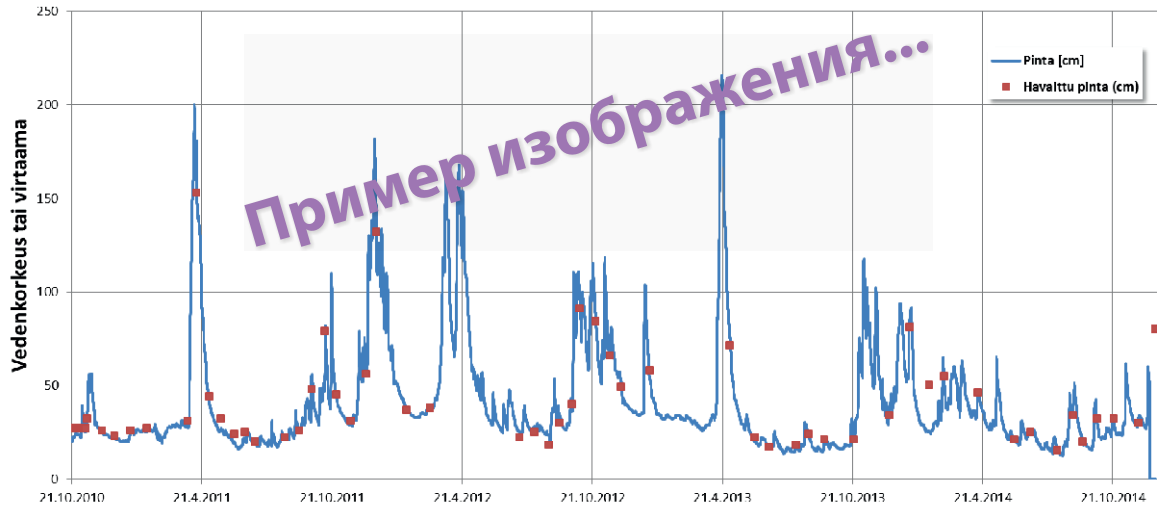
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ		
Водная среда, в которой проводятся измерения:		Река/ручей/канавы, озеро, море
Наименование места измерения в VESLA [разделе с информацией о качестве воды в информационной системе данных о состоянии поверхностных вод]:		Наименование в VESLA, ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ из реестра
Другое наименование места измерения:		Другое название, название водоема
Коммуна:		Например, Таммела
X-координата:		Укажите систему координат, например ETRS-TM35FIN
Y-координата:		Укажите систему координат, например ETRS-TM35FIN
Дополнительная информация:		Например, Решение по монтажу: в конце причала, крепление к мосту и т. п.
Лицо, ответственное за измерение:		Организация/компания, название
Лицо, ответственное за техническое обслуживание:		Организация/компания, название
Лицо, ответственное за проверку качества:		Организация/компания, название
Дата начала измерения:		Дата начала измерения
Окончание измерения:		Дата завершения проекта
Глубина снятия показаний:		Например, 0,5 м
Профилирующее измерение:		Да/Нет, если да -> глубина измерений в качестве дополнительной информации
Частота измерений:		Например, 1 час, 30 мин.

ДАННЫЕ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЕ		
Измеритель №1		Например, S::CAN, YSI
Датчики		Например, spectro::lyser, датчик давления: датчик давления OTT PLS
Измеряемые переменные:		Например, Мутность, органический углерод, нитратный азот
Метод очистки датчика		Например, очистка сжатым воздухом, щеткой

Измеритель №2		Например, S::CAN, YSI
Датчики		Например, spectro::lyser, датчик давления: датчик давления OTT PLS
Измеряемые переменные:		Например, Мутность, органический углерод, нитратный азот
Метод очистки датчика		Например, очистка сжатым воздухом, щеткой

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И УХОД		
Очистка оптической линзы и проверка эксплуатационного состояния устройства		
Один раз в две недели, зимой реже		Отметьте крестиком (X) и укажите дополнительные сведения при необходимости
Один раз в месяц, зимой реже		
Чаще		
Реже		
Другие меры техобслуживания		Например, заводское обслуживание, замена мембран и т. п.

КАЛИБРОВКА		
Совпадение проб воды с разными ситуациями объемной скорости потока или разными концентрациями		Рисунок, ось x: время, ось y: уровень воды / объемная скорость потока и дни отбора проб, записанные во временной ряд объемной скорости потока.



КАЛИБРОВОЧНОЕ УРАВНЕНИЕ И МЕТОД (см. сноску)							
Переменная	Участок измерения	Точность	Диапазон	Уравнение	X	y	R2
Мутность							
Нитратный азот							
Органический углерод							

Подробно объясните x и y, название переменной, единицу

УРАВНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Пример: мутность --> общий фосфор

Метод №1: В лаборатории формируется уравнение между общим фосфором и мутностью, показатель которой получен на основе анализа проб воды. Чтобы рассчитать временной ряд общего фосфора, в уравнение включаются непрерывно измеренные калиброванные значения мутности.

Метод №2: Берется калиброванный для местных условий показатель мутности и измеренный по пробе воды общий фосфор, и из них формируется уравнение.

Метод №3: Берется полученный прибором неоткалиброванный показатель мутности и общий фосфор, проанализированный в лаборатории по пробе воды.

Переменная	Уравнение	Метод	R2
Общий фосфор			
общий азот			
Взвешенное вещество			

СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ / КАНАЛ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ	
Информационная система по охране окружающей среды	
адрес сайта:	
База данных исполнителя	
База данных поставщика устройства / консультанта	

Отметьте крестиком (X)
Добавить адрес сайта

Вопросы разрешений

Право пользования местом

Устная договоренность, с кем именно

Имя, фамилия, номер телефона и дополнительная информация, например договор об электроснабжении

Письменный договор, с кем именно

Имя, фамилия, номер телефона и дополнительная информация, например договор об электроснабжении

Разрешение Транспортного агентства Финляндии (озера, морские территории)