

Документ №3 Технического руководства по индикатору ЦУР 6.3.2:



Мониторинг и отчетность для подземных вод

В рамках индикатора ЦУР 6.3.2, относящегося к качеству воды, в настоящем документе содержится дополнительное техническое руководство по решению проблем, с которыми сталкиваются при мониторинге и отчетности по подземным водам. Это сопутствующий документ Поэтапной методологии, и он является частью серии документов, в которой содержится подробное техническое руководство по конкретным аспектам методологии индикатора. Данные технические документы были созданы в ответ на отзывы, полученные после кампании по сбору базовых данных 2017 года. Эти и другие ресурсы доступны на Платформе знаний индикатора 6.3.2 (<https://communities.unep.org/display/sdg632>).

Настоящий документ предназначен для исполнителей, ищущих дополнительную информацию о том, как внедрить методологию индикатора для грунтовых вод и как улучшить мониторинг подземных вод в их собственной стране. Этот документ:

1. Предоставляет руководство по определению водоносных горизонтов и определению подземных водных объектов.
2. Рассматриваются варианты отбора проб подземных вод.
3. Обсуждается выбор параметров и отчетность Уровня 1 и Уровня 2 для качества подземных вод.

ВВЕДЕНИЕ

Данные мониторинга, собранные для индикатора ЦУР 6.3.2, должны предоставлять достаточную информацию о состоянии качества воды в национальном масштабе и позволять выявлять долгосрочные тенденции. Для этого требуются данные по основным группам параметров с участков по всей стране, а измерения должны проводиться стандартизированным и согласованным образом. Первая глобальная кампания по сбору данных 2017 года была значительно менее продуктивной для подземных вод, чем для поверхностных, при этом меньшее количество стран сообщили о качестве своих подземных вод. Это неудивительно и являлось обычной и постоянной чертой такой деятельности в прошлом. В настоящем документе исследуется, почему именно необходимо, и дается рекомендация о том, как именно можно усилить программы мониторинга подземных вод, чтобы предоставлять лучшую информацию о качестве воды, и как сделать отчетность по подземным водам более надежной и сопоставимой.

Почему мониторинг подземных вод более сложен, чем мониторинг поверхностных вод?

Настоящий документ подготовлен Джоном Чилтоном (John Chilton), бывшим исполнительным директором Международной ассоциации гидрогеологов. Март 2020 года, от имени ГСМОС/Водные ресурсы Программы ООН по окружающей среде.

Существует множество причин, по которым программы мониторинга качества воды не предоставляют необходимой информации. Мониторинг следует рассматривать как непрерывный круг или цепочку (ЕЭК ООН, 2000 г.), начиная с потребности в информации и заканчивая стратегией мониторинга, созданием сети, отбором проб, анализом, обработкой данных, анализом и отчетностью для предоставления информации в четкой и своевременной форме. Если один этап или звено в цепочке (Рис. 1) не выполняются должным образом, весь процесс может не дать полезных данных. Общий вклад в неудачу приносят:

- отсутствие определения потребности в информации и целей программы мониторинга;
- недостаточный учет физических параметров при создании сети;
- недостаточное планирование отбора, обработки, хранения и анализа проб;
- отсутствие контроля качества и обеспечения качества;
- плохое управление и плохая интерпретация полученных данных;
- отсутствие пересмотра, обратной связи и модификации разработки в случае необходимости.

Конкретная цель для индикатора 6.3.2 состоит в том, чтобы предоставить механизм для определения того, эффективны ли усилия по поддержанию и улучшению качества воды, используя данные, взятые из национальных программ мониторинга, у которых имеются свои собственные цели.

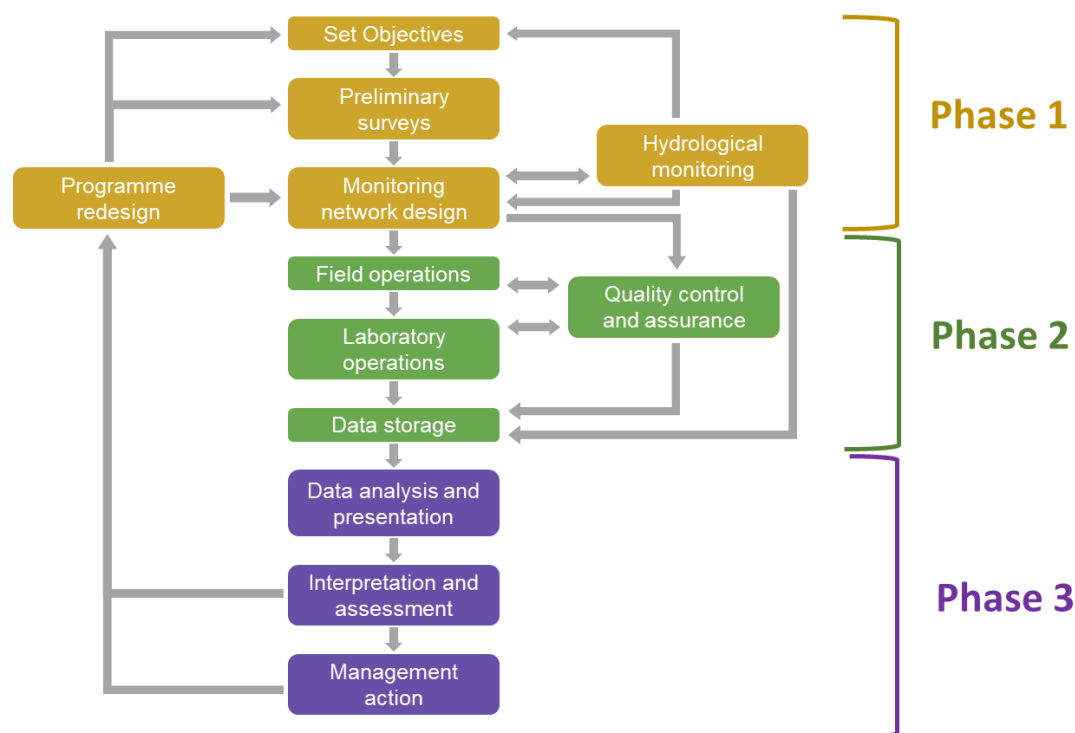


Рисунок 1. Блок-схема разработки программы мониторинга качества воды. Модифицировано из Charptan et al. (2005)

Задача мониторинга качества подземных вод в корне отличается от задачи для рек и озер (МАГ, 2017). Мониторинг реки может дать комплексную картину для обширного водосбора, исключая влияние факторов, локальных для станции отбора проб. Для подземных вод, как правило, справедливо обратное, так как для них может доминировать влияние сугубо локальных факторов, таких как загрязнение устья скважины, глубины скважин, скорость откачки, протоколы немедленного захвата и отбора проб. Это может исказить более широкую картину качества подземных вод для водоносного горизонта, и это необходимо понимать и принимать во внимание.

Для подземных вод общие ограничения, изложенные выше, часто дополняются отсутствием гидрогеологических знаний, что ослабляет как структуру сети мониторинга, так и интерпретацию результатов. Иногда это происходит потому, что мониторинг подземных вод профессионалы в области

поверхностных вод устанавливают как продолжение существующей программы по поверхностным водам без должного учета гидрогеологии; зачастую необходимой гидрогеологической информации или экспертизы подземных вод просто не существует. Это важно, поскольку водоносные горизонты и содержащиеся в них подземные воды, как правило, более сложны, чем поверхностные, и гораздо менее доступны для отбора проб. Недоступность способствует привлечению подземных вод в качестве источника водоснабжения. Если водоносные горизонты менее доступны, то они, вероятно, будут иметь хорошее природное качество воды (за некоторыми исключениями) и будут защищены от загрязняющих воздействий на поверхности земли. Однако, в случае загрязнения медленное движение воды в водоносном горизонте означает, что для восстановления качества подземных вод могут потребоваться десятилетия.

Большинство подземных вод имеют гораздо более длительный период водообмена, чем поверхностные воды. Это дает время для физико-химических взаимодействий между медленно движущимися подземными водами и материалом, образующим водоносный горизонт, а химический состав воды может меняться по мере ее течения (Chilton, 1996). С точки зрения мониторинга медленное движение означает, что, как правило, отбор проб подземных вод следует проводить реже, чем поверхностных, но для получения репрезентативной картины качества подземных вод может потребоваться более высокая плотность отбора проб (МАГ, 2017). Кроме того, глубина и сложность подземных водоносных горизонтов имеют большое значение для выбора точки отбора проб для сети подземных вод и интерпретации полученных результатов. Пробы, взятые из скважин в непосредственной близости, могут давать очень разные результаты, особенно если вода берется с разных глубин в водоносном горизонте или даже из разных водоносных горизонтов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Первые два этапа методологии индикатора 6.3.2 включают в себя 1) создание отчетных бассейновых районов (ОБР) на основе речных бассейнов и 2) определение водоемов внутри них. Для подземных вод это означает определение местоположения продуктивных водоносных горизонтов и того, как они могут быть подразделены на подземные водные объекты. Что касается поверхностных вод, элементы, определяемые как подземные водные объекты, образуют отдельные единицы, которые классифицируются как «хорошие» или «плохие».

В некоторых странах, особенно в государствах-членах ЕС и других странах, которые согласились с природоохранным законодательством ЕС, национальные геологические службы или природоохранные органы уже предприняли значительные усилия для выполнения своих обязательств по определению подземных водных объектов. Техническое руководство, поддерживающее законодательство, помогает им делать это последовательным и сопоставимым образом (ЕС, 2004), но существенными для этого являются требования к данным и опыт. Эти страны также могут иметь хорошо разработанные программы мониторинга качества подземных вод, и им рекомендуется использовать одни и те же единицы отчетности для отчетности по индикатору 6.3.2.

Для многих других стран местонахождение водоносных горизонтов и их значение в качестве источников подземных вод известно. Однако природа систем стока подземных вод в этих водоносных горизонтах - откуда подземные воды приходят и куда уходят - может быть недостаточно известна, и может не существовать национального требования по определению подземных водных объектов. Существующие программы мониторинга могут сильно различаться с точки зрения охвата сети, пригодности точек отбора проб, частоты отбора и выбора параметров. Другие страны могут знать еще меньше о своих водоносных горизонтах и подземных водах, они могут проводить минимальный регулярный мониторинг на местах или вообще не проводить его и иметь очень скудные данные о качестве их подземных вод. Некоторые страны могут вообще не иметь данных мониторинга, но стремятся разработать программу мониторинга качества подземных вод.

Во всех этих случаях в качестве основы для выявления водоносных горизонтов и понимания систем стока подземных вод важно разработать простые концептуальные гидрогеологические модели. Они могут быть

не более сложными, чем карта, показывающая протяженность поверхности обнажения различных водоносных горизонтов и не водоносных горизонтов и простые живые сечения потока. Эти сечения должны показывать происхождение подземных вод, направления потока и места сброса (Рис. 2). Это важно, потому что источник подпитки, который может представлять собой инфильтрацию от осадков или от поверхностных водоемов, также, вероятно, будет источником загрязнения водоносного горизонта, способствующим ухудшению качества воды. Аналогичным образом, места сброса в родники, реки, озера или водно-болотные угодья или в водозаборные скважины являются точками, в которых низкое качество подземных вод влияет на объекты воздействия загрязняющих веществ (Рисунок 2).

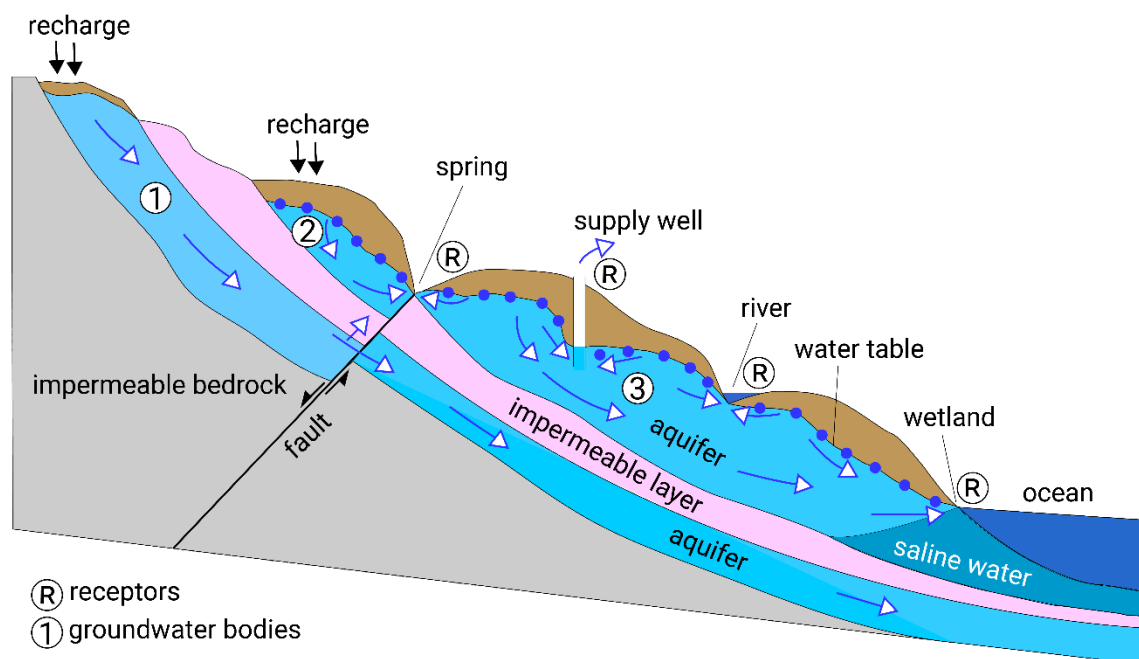


Рисунок 2: Простая концептуальная гидрогеологическая модель, позволяющая визуализировать выходы водоносных горизонтов, места пополнения подземных вод, направления потока подземных вод и точки сброса

Даже там, где концептуальные гидрогеологические модели еще не доступны, почти во всех странах имеются геологические карты, возможно, подготовленные для разведки полезных ископаемых или разведки нефти. На них можно увидеть основные типы геологических формаций и выявить те, которые могут обеспечить продуктивные водоносные горизонты. Конечно, это может быть легко подтверждено, если водоносные горизонты уже широко используются для обеспечения водой. Если агентство, отвечающее за мониторинг, само по себе не обладает опытом по части подземных вод, следует обратиться за поддержкой в национальную геологическую службу, местный университет или подходящую консалтинговую компанию.

В ОБР, основанных на речных бассейнах, подземные водные объекты должны быть определены для описания качества окружающей среды. Методология индикатора 6.3.2 предусматривает, что в идеале размеры водных объектов должны быть такими, чтобы они были однородными с точки зрения качества воды, и их можно было классифицировать с использованием относительно небольшого количества точек мониторинга (Документ 1 Руководства). Однако, как известно, водоносные горизонты могут быть сложными и далеко не однородными. В тех случаях, когда водоносный горизонт должен быть дополнительно разделен на подземные водные объекты, это должны быть отдельные системы стока, в которых подземные воды не перемещаются через границы. С помощью следующего можно обеспечить полезные критерии для такого подразделения.

- При наличии достаточных данных, из которых можно составить карты уровня подземных вод, объекты могут быть ограничены делением потока подземных вод. На Рисунке 3 показаны три таких подземных водных объекта в водоносном горизонте, перекрывающих непроницаемые породы и опускающихся ниже вышележащих слоев. Однако, в отличие от границ поверхностных водных

объектов, границы подземных водных объектов, определенные таким образом, могут не быть статичными и могут перемещаться в зависимости от времени года в ответ на долгосрочное изменение климата и подпитку, а также на воздействие выкачивания из скважин вблизи границ.

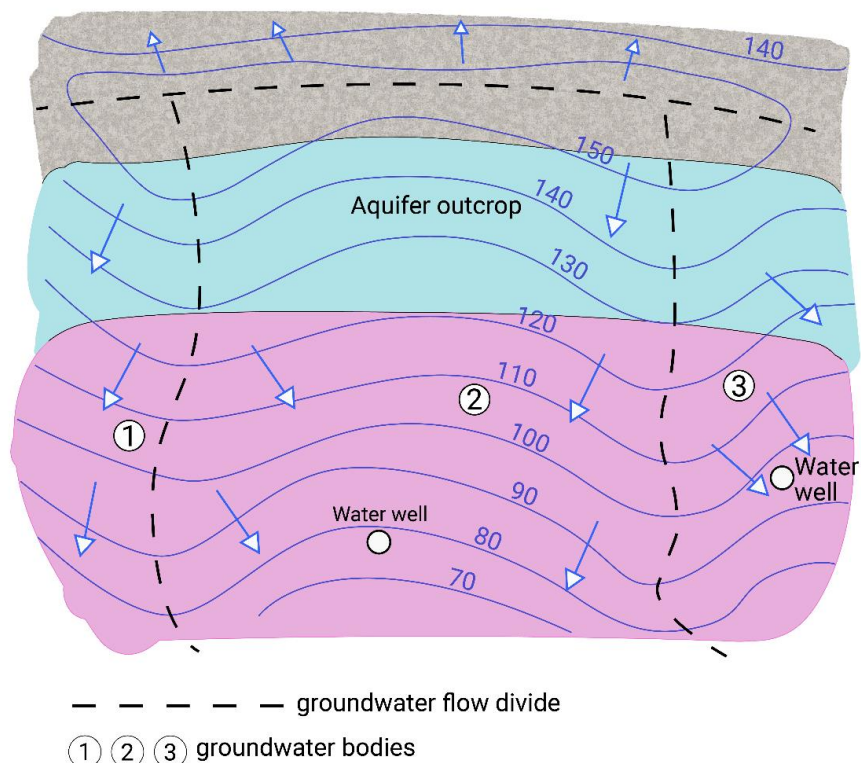


Рисунок 3. Подземные водные объекты, определяемые делением потока

- Если такие данные отсутствуют, границы могут быть основаны на водосборах поверхностных вод, которые во многих случаях близко следуют за делением подземных вод. На Рисунке 4 показаны два подземных водных объекта, определенных таким образом.

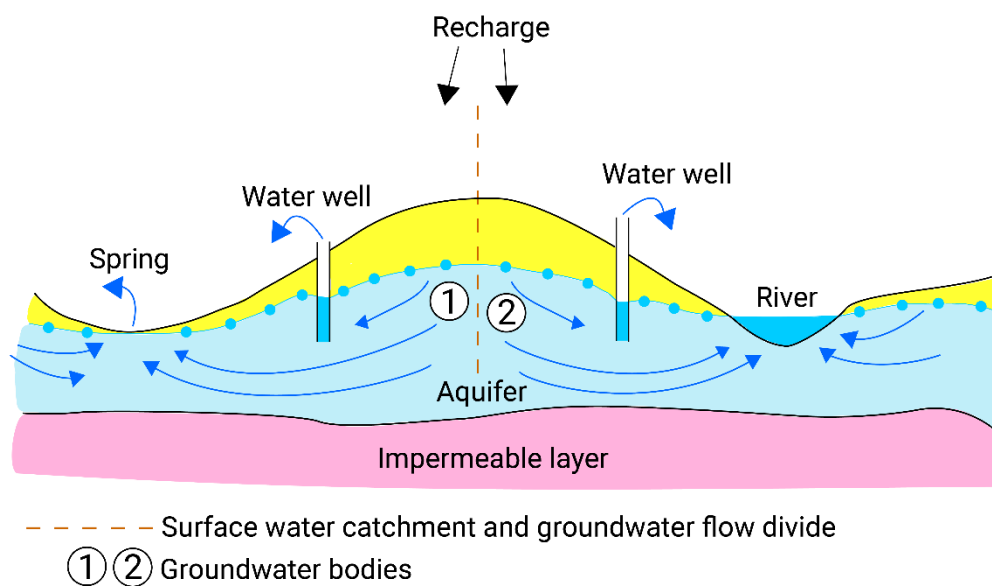


Рисунок 4 Подземные водные объекты определяются поверхностными водосборами и водоразделами подземных вод

- Когда крупные геологические разломы создают непроницаемый материал на пути водоносного горизонта, ограничивая поток подземных вод, это также может образовывать подходящую границу. На Рисунке 2 верхний неограниченный водоносный горизонт разделен на два подземных водных объекта (один из которых довольно мал) из-за большого разлома. В нижележащем замкнутом водоносном горизонте смещение разлома недостаточно, чтобы затруднить течение подземных вод.
- В случае относительно небольших, неглубоких водоносных горизонтов, образованных аллювиальными или ледниково-речными отложениями и покрывающих менее проницаемую коренную породу, весь водоносный горизонт может составлять один подземный водный объект.

Сложность водоносных горизонтов, их вертикальное измерение изменения качества и медленное движение означают, что даже относительно небольшие подземные водные объекты вряд ли будут должным образом представлены с помощью одной или даже некоторого числа точек мониторинга.

Для засушливых и полусушливых стран часто характерны обширные водоносные горизонты, но в них мало или совсем нет поверхностных вод, так что едва ли есть какие-либо границы водосбора для определения ОБР или подземных водных объектов. Кроме того, эти водоносные горизонты часто бывают глубокими, толстыми, плоскими, с низкими уклонами грунтовых вод, а время пребывания подземных вод измеряется веками, а не десятилетиями. Часто они не получают значительной подпитки подземных вод в современных климатических условиях. Такие «ископаемые» или не возобновляемые ресурсы подземных вод часто интенсивно эксплуатируются со значительными проблемами управления с точки зрения количества воды. Тем не менее, они хорошо защищены от возможных воздействий на качество от деятельности на поверхности земли, и качество подземных вод будет меняться очень медленно. Поэтому целесообразно использовать для этих параметров отчетные единицы для индикатора 6.3.2 на основе водоносного горизонта, который также может быть одним из немногих примеров подземных водных объектов, характеризующихся небольшим количеством точек отбора проб.

Однако, необходимо соблюдать осторожность. В этих засушливых регионах также имеются гораздо более мелкие и неглубокие песчано-гравийные водоносные горизонты, часто связанные с сухими руслами рек, вади и оазисами. Эти водоносные горизонты могут быть очень важны для местных сообществ в плане водоснабжения и интенсивного орошаемого земледелия, что может привести к значительному объему и качеству воздействия на их подземные воды. Каждый из них может представлять собой отдельный подземный водный объект, не связанный с соседними, и для него потребуются более частый мониторинг в соответствии с местным давлением и более быстрым реагированием этих неглубоких систем подземных вод.

Водоносные горизонты и, следовательно, потенциальные подземные водные объекты могут пересекать международные границы. Водоносный горизонт может получать пополнение в одной стране и производить сброс в соседней стране. Опять же, концептуальные модели подземных вод могут помочь в вопросе определения, может ли это произойти (Lipponen & Chilton, 2018), а если это произойдет, может потребоваться трансграничный обмен информацией и сотрудничество в области мониторинга.

ВЫБОР ТОЧЕК ОТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Если имеется достаточное количество вариантов отбора проб, следует выбирать общее расположение тех точек мониторинга, которые в максимально возможной степени отражают весь подземный водный объект, особенно систему потока подземных вод источник-путь-объект воздействия загрязняющих веществ, описанную выше. Кроме того, для сети, возможно, потребуется учитывать население и распределение землепользования с большей плотностью точек мониторинга там, где сельскохозяйственное, городское и промышленное давление наиболее ощутимо. Выбор может также потребовать учета очень локализованных факторов вокруг точки мониторинга, которые могут повлиять на качество подземных вод и надежность отбора проб. Любые контрольные точки, надежность которых серьезно скомпрометирована таким образом, использоваться не должны.

Выбор типа точки отбора проб также влияет на надежность и репрезентативность. Пробы подземных вод могут быть взяты из существующих скважин, подающих воду для бытовых, муниципальных, ирригационных или промышленных нужд, из родников или из специально пробуренных контрольных скважин. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки (Таблица 1) в отношении практичности, стоимости и технических аспектов. Это также необходимо понимать в контексте местных гидрогеологических условий.

Таблица 1 Характеристики потенциальных точек отбора проб подземных вод

Точка отбора проб	Преимущества	Недостатки
Муниципальная скважина	<ul style="list-style-type: none"> дешевый и легкий отбор проб повторный отбор проб, регулярные посещения высокий расход, репрезентативный для качества в водоносном горизонте обычно работают насосы может иметь уже существующие данные временных рядов 	<ul style="list-style-type: none"> возможна неопределенная конструкция и источник отбора проб, смешанная вода с нескольких глубин возможна длительная задержка поступления данных после загрязнения местоположения, фиксированные распределением населения, искажают пространственный охват муниципалитет/предприятие по водоснабжению могут не разрешить отбор проб
Ирригационная скважина	<ul style="list-style-type: none"> как в первых трех пунктах выше, но менее вероятно, что существуют временные ряды 	<ul style="list-style-type: none"> как в первых двух пунктах выше, но с меньшей вероятностью иметь данные о строительстве пространственный охват перекошен в сельскохозяйственных районах может работать только в сезон
Промышленная скважина	<ul style="list-style-type: none"> тоже, что для ирригационного колодца выше 	<ul style="list-style-type: none"> как для муниципальной скважины, но с меньшей вероятностью иметь данные о строительстве
Домашняя скважина	<ul style="list-style-type: none"> дешевый и легкий отбор проб повторный отбор проб, регулярные посещения 	<ul style="list-style-type: none"> низкий, прерывистый выход воды, особенно с ручным насосом может потребоваться продувка для удаления застойной воды из скважины может сломаться и не качать воду может быть мелкой и менее репрезентативной для водоносного горизонта уязвима для очень локального загрязнения
Неглубокая контрольная скважина	<ul style="list-style-type: none"> может обеспечить раннее предупреждение о загрязнителях, поступающих на уровень грунтовых вод повторяющийся, регулярный отбор проб конструкция может быть полностью известна могут быть использованы инертные материалы 	<ul style="list-style-type: none"> умеренные затраты на бурение нужен насос для отбора проб необходима осторожность для удаления застойной воды не слишком репрезентативна для водоносного горизонта
Многоуровневые пьезометры	<ul style="list-style-type: none"> конструкция должна быть полностью известна могут быть использованы инертные материалы раннее предупреждение о загрязнителях на уровне грунтовых вод может указывать на вертикальную стратификацию качества подземных вод может указывать на вертикальные перепады напора и движение воды вверх или вниз 	<ul style="list-style-type: none"> высокие затраты на бурение нужен специалист-подрядчик и материалы может быть трудным установить правильно с хорошим запечатыванием между интервалами отбора проб требуются специальные пробоотборные устройства и квалифицированный оператор
Источники/родники	<ul style="list-style-type: none"> дешевый и легкий отбор проб 	<ul style="list-style-type: none"> уязвимы для местных источников загрязнения могут быть уязвимыми для прямых осадков

	<ul style="list-style-type: none"> • повторный отбор проб и регулярные посещения • крупные источники могут быть репрезентативными для значительных подземных водных объектов • источники, используемые для общественного снабжения, могут иметь существующие данные временных рядов 	<ul style="list-style-type: none"> • небольшие источники могут представлять поверхностный поток
--	--	--

Многие национальные программы обеспечения качества подземных вод полностью или почти полностью зависят от существующих скважин для обеспечения дешевизны и простоты отбора проб, а также от общей доступности регулярных посещений, при условии, что агентство по мониторингу имеет договоренность с оператором скважины. Поскольку эти скважины эксплуатируются часто или даже более или менее непрерывно, забранная вода, вероятно, будет репрезентативной для водоносного горизонта (Таблица 1). Часто самым большим недостатком таких скважин является то, что может быть мало информации или вообще отсутствует информация о глубине скважин, интервалах процеживания и насосах, уровнях воды, строительных материалах, а также скорости и времени нагнетания насоса. Такое отсутствие метаданных может затруднить интерпретацию и представление результатов мониторинга - некоторые скважины могут забирать мелкие загрязненные подземные воды из верхней части водоносного горизонта, другие - из менее загрязненных более глубоких участков или даже из разных водоносных горизонтов в многоуровневой последовательности. Где возможно, следует выбирать скважины для мониторинга из тех, для которых имеются данные о строительстве.

Комбинация муниципальных, промышленных и ирригационных скважин может обеспечить достаточный сетевой охват городских и сельскохозяйственных районов. Там, где ирригация или промышленное развитие незначительны или отсутствуют, отбор проб в сельских районах из домашних скважин может быть единственным альтернативным вариантом. Выбор небольших моторизованных насосов в школах или клиниках может обеспечить более надежный регулярный доступ и более репрезентативные пробы, чем скважины с ручными насосами.

Источники/родники часто недооцениваются как опция для мониторинга качества подземных вод; они дешевы, и пробы легко отбирать без нестабильности, возникающей из-за выкачивания подземных вод на поверхность, и они обычно доступны для регулярных посещений. Большие источники могут быть характерными для значительных подземных водных объектов и иметь надежные сбросы даже в сухой сезон. Небольшие просачивания с короткими и мелкими путями потока гораздо менее устойчивы и очень уязвимы для местного загрязнения, и их следует избегать. В некоторых районах карстовых известняков движение подземных вод может быть в значительной степени ограничено трещинами и выводными каналами, связанными с весенними водосбросами, и, следовательно, источники/родники могут быть единственным реалистичным вариантом мониторинга.

Скважины, построенные специально для наблюдения, используются в некоторых национальных программах для улучшения охвата сети там, где отсутствуют существующие насосные скважины, и для раннего предупреждения о загрязнении, достигающем уровня грунтовых вод, прежде чем оно повлияет на более глубокие скважины. Однако их использование требует значительных капитальных и технических ресурсов для бурения и пробоотборных насосов, а также опыта в отборе проб, включая продувку стоячей воды (Misstear *et al.*, 2017). Такие скважины широко используются для мониторинга местных условий подземных вод вокруг источников загрязнения подземных вод, таких как свалки. Установки с определенной глубиной, включая закладные пьезометры и многоуровневые устройства для отбора проб, редко используются при крупномасштабном мониторинге качества воды из-за их стоимости и сложности установки и отбора проб, для чего требуются, соответственно, высококвалифицированные подрядчики по бурению и специалисты по отбору проб. Их использование в значительной степени ограничено мониторингом основных источников загрязнения, таких как захоронения отходов или промышленные шлейфы, где хорошо определенное измерение глубины для оценки качества имеет важное значение для

наблюдения за ростом и распространением шлейфа или для оценки воздействия дорогостоящих корректирующих действий.

ЧАСТОТА ОТБОРА ПРОБ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Как и для поверхностных вод (Документ 1 Руководства), частота отбора проб подземных вод должна учитывать гидрологические и гидрогеологические параметры и их влияние на вероятную скорость изменения качества подземных вод. Соответствующую информацию предоставляют исторические данные или предварительный обзор. С точки зрения разработки мониторинга важно знать, состоят ли водоносные горизонты из неуплотненного материала, такого как пески и гравий в аллювиальных пластах, или представляют собой консолидированные пласты, такие как песчаники и известняки. В первом случае грунтовые воды медленно перемещаются между зернами, а во втором подземные воды могут гораздо быстрее перемещаться в трещинах.

Таким образом, абсолютным минимумом для отбора проб подземных вод должен быть один раз в год, но с учетом следующих соображений изменяющих режим отбора проб по мере необходимости. Более высокая частота, по крайней мере, два раза в год, необходима для неглубоких подземных вод, которые чувствительны к сезонным воздействиям от осадков, подпитки, перекачивания и от ирригации, а также тех, которые подвержены городским воздействиям. Пробы следует отбирать до и после сезона дождей и/или во время высоких и низких уровней грунтовых вод, особенно принимая во внимание группы параметров, наиболее чувствительные к этим воздействиям (Таблица 2) и обеспечивающие основу для отчетности Уровня 1. Для карстовых известняков необходима более высокая частота, по крайней мере, четыре раза в год. Мелководные водоносные горизонты прибрежных и островных известняков особенно чувствительны к более быстрым изменениям качества, поскольку их районы часто густонаселены, а режим подземных вод в значительной степени изменяется в результате забора, вызывая или рискуя засолением. Минимальный интервал отбора проб один раз в год может поддерживаться для замкнутых водоносных горизонтов (Рисунок 2) и для очень старых подземных вод, которые в настоящее время не получают активной подпитки. В обоих случаях изменения качества, вероятно, будут очень медленными. Группы параметров для отчетности по индикатору 6.3.2 вряд ли будут сильно различаться, а другие, указывающие на конкретные воздействия человека (Таблица 2), вряд ли будут обнаружены. Такая структура для установки частоты мониторинга должна стать целью для новой или улучшенной сети мониторинга подземных вод, хотя признается, что ресурсы могут не сразу это позволить.

ПОЛЕВЫЕ ОПЕРАЦИИ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Многие аспекты полевых операций для подземных вод такие же, как и для поверхностных вод, в том числе вопросы сохранения здоровья и безопасности. Полевые работы должны также следовать стандартной операционной процедуре (Документ 1 Руководства) для обеспечения согласованности и надежности. Механизмы обеспечения качества (ОК) и контроля качества (КК) также одинаково важны и для подземных вод и применяются ко всем этапам программы мониторинга (Рисунок 1). Полевые заметки полезны для поддержки интерпретации и отчетности и должны включать в себя расчетную скорость сброса и продолжительность работы насоса вместе с наблюдениями за условиями вокруг точки отбора проб подземных вод, такими как любые свидетельства очень локальных загрязняющих воздействий.

На качество подземных вод могут влиять гидрологические условия и сезонные колебания уровня и расхода подземных вод. Хотя доступ к скважине может быть затруднен или невозможен для измерения уровня грунтовых вод, который в любом случае будет нарушен насосом, знание местных изменений уровня и вероятного ненарушенного уровня во время отбора проб обеспечит ценный контекст для данных по качеству воды. Такую информацию может предоставить оператор скважины. Там, где для отбора проб используются источники/родники, следует оценить расход; очень высокие сбросы после сильных дождей могут быть разбавлены местным стоком, и качество не обязательно будет репрезентативным для водоносного горизонта.

Чтобы быть уверенным в том, что проба является репрезентативной для воды в водоносном горизонте, ее следует брать из крана для отбора проб в поднимающейся магистрали как можно ближе к головке насоса, а не из резервуара или крана в системе распределения воды. Подвод подземных вод с глубины к отличающемуся давлению, температуре и уровню содержания кислорода на поверхности может изменить их характер, что является одной из причин измерения нестабильных параметров на месте. При низком или кратковременном сбросе столб застойной воды в скважине следует удалить с помощью насоса перед отбором пробы; существует руководство по оценке объема, подлежащего удалению, чтобы быть уверенным в заборе воды из водоносного горизонта, а не из скважины (ASTM, 2006). Это также может быть проверено путем мониторинга температуры и проводимости воды, пока стабильные показания не будут представлять водоносный горизонт.

Группы параметров для подземных вод

Для обеспечения глобальной сопоставимости при представлении отчетности по индикатору 6.3.2 предлагаемыми параметрами Уровня 1 для подземных вод являются электрическая проводимость, уровень pH и нитрат (Таблица 2), которые вместе с температурой необходимо измерять в поле у скважины, колодца или источника. Эти простые в измерении характеристики представляют воздействия засоления, подкисления и перенасыщения питательными веществами (Таблица 2), которые актуальны везде, но они не могут отражать все воздействия на качество подземных вод, и пригодность скважины или источника питьевой воды не может основываться только на оценке Уровня 1.

Таблица 2 Группы параметров для мониторинга качества подземных вод (по материалам IAH, 2017)

Параметры		Комментарии и причины для включения
Группа параметров для подземных вод Уровня 1		
для периодических измерений в любых ситуациях - частота зависит от характеристик потока в системе подземных вод		
ЭП	электрическая проводимость	Мера засоления, также помогает охарактеризовать водоем
pH	кислотность	Мера подкисления, также помогает охарактеризовать подземные водные объекты
NO₃	нитрат	Вездесущий загрязнитель, устойчивый в условиях кислорода, опасен для здоровья человека
Температура (Т) должна измеряться и регистрироваться одновременно с другими параметрами,		
Дополнительные параметры, из которых могут быть выбраны параметры для отчетности Уровня 2		
при более низкой частоте после заметных изменений в вышеупомянутых параметрах		
Ca, Mg, Na, K	основные катионы	Помогут оценить гидрогеологические процессы, выявить и диагностировать значительные временные изменения. Хлор может быть чувствительным индикатором ряда сельскохозяйственных, городских и промышленных воздействий
Cl, HCO₃ SO₄	основные анионы	
ОСВТЧ	общее содержание взвешенных твердых частиц	ЭП, используемая на Уровне 1 в качестве суррогата
Микробиологический мониторинг источников питьевой воды		
источники, обозначенные санитарной инспекцией в качестве группы риска		
ФК	фекальные колиформы	

ФС	фекальные стрептококки	Некоторый мониторинг необходим для источников, которые обычно используются без дезинфекции, но высокая временная изменчивость и трудности с отбором проб означают, что его следует сочетать с другими подходами, включая санитарный контроль для оценки уязвимости к микробному загрязнению.
E Coli	<i>Escherichia coli</i>	
Дополнительные параметры требуемые в определенных гидрогеологических условиях, отчеты для которых могут быть представлены на Уровне 2		
F	фтор	Необходимы в некоторых гидрогеологических условиях в качестве индикаторов изменений качества природных подземных вод, влияющих на здоровье человека
As	растворимый мышьяк	
U	растворимый уран	
NH ₄	аммоний	Только в сильно анаэробных/восстановительных условиях
Fe	растворимое железо	
Mn	растворимый марганец	
P	ортофосфат	Только в карстовых водоносных горизонтах с интенсивным сельскохозяйственным давлением
Дополнительные параметры, указывающие на загрязнение, когда были определены конкретные сельскохозяйственные, городские или промышленные нагрузки		
	специфические пестициды	Каждый параметр потребует определенных протоколов отбора проб, используемых квалифицированным персоналом, и анализа до очень низких пределов обнаружения в лабораториях с дорогостоящим оборудованием и специализированным персоналом.
	выбранные летучие органические соединения	
	выбранные углеводороды	
	тяжелые металлы	
	новые загрязнители	

Из предложенных источников данных Уровня 2 (Вводный документ, Рис. 1) дополнительные химические параметры, вероятно, будут наиболее полезными индикаторами других нагрузок на подземные воды, а также наиболее вероятными в национальных программах мониторинга. В Таблице 2 представлен иерархический подход к выбору групп параметров, который предназначен для информирования и поддержки создания нового мониторинга подземных вод или расширения существующих программ, и который также может использоваться для отчетности Уровня 2.

Выбор дальнейших параметров для мониторинга и отчетности должен быть связан с местными нагрузками и гидрогеологическими установками (Таблица 2). Основные ионы включаются часто и регулярно и могут служить доказательством качественного развития вдоль системы стока подземных вод, например, когда взаимодействие с карбонатными водоносными горизонтами увеличивает минерализацию. Микробиологическая чистота включена в Таблицу 2 в качестве напоминания о том, что она часто является важным требованием к мониторингу, связанному с потреблением человеком, но не для качества окружающей среды в индикаторе ЦУР 6.3.2. Нагрузка на подземные воды уже может быть очевидна исходя из установленного сельскохозяйственного, городского или промышленного развития и существующих программ мониторинга, или может быть выявлена в предварительных обследованиях. Это означает, что не существует единого универсального «правильного» ответа с точки зрения выбора параметров мониторинга, но Таблица 2 может предоставить подходящую основу. Исполнитель должен учитывать, что для отбора проб подземных вод могут потребоваться специальные контейнеры или

полевые процедуры; например, образцы для анализа катионов и микроэлементов должны быть отфильтрованы и подкислены и храниться в соответствующих контейнерах, которые не оказывают отрицательное влияние на качество проб (Misstear *et al.*, 2017).

Естественные колебания качества подземных вод геологического происхождения могут нанести вред здоровью человека, главным образом - мышьяк и фтор (Таблица 2). Воздействие на здоровье может быть уже очевидным, и могут применяться меры по смягчению последствий, такие как удаление мышьяка и фтора из забранных подземных вод. Мониторинг подземных вод следует поддерживать с целью выявления тенденций в качестве, учитывая, что забор подземных вод может изменить подземные условия и стимулировать мобилизацию этих загрязнителей. Там, где мониторинг еще не существует в гидрогеологических условиях, где эти параметры, скорее всего, будут проблематичными, таких как крупные аллювиальные бассейны для мышьяка и вулканические, рифтовые долины и некоторые кристаллические участки местности для фтора, его следует установить.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Качество подземных вод может сильно различаться в зависимости от гидрологических и гидрогеологических условий. Водоносные горизонты во влажных, умеренных регионах, вероятно, имеют низкую общую минерализацию, о чем свидетельствуют низкие значения ЭП окружающей среды, тогда как водоносные горизонты в более засушливых районах с меньшим насыщением грунтовыми водами могут иметь значения ЭП в четыре или пять раз выше. Длинные пути потока в глубоких водоносных горизонтах также будут иметь тенденцию вызывать повышенную минерализацию и более высокие значения ЭП. Таким образом, следует ожидать ряд исходных условий для состояния окружающей среды, где более высокие значения ЭП не обязательно отражают загрязнение ресурсов подземных вод.

Использование существующих ориентировочных значений для оценки качества подземных вод для индикатора ЦУР 6.3.2 не всегда может быть целесообразным. Подход к установлению целевых значений заключается в определении значений, которые получены на основе местного значения фоновое или базового качества подземных вод. Он подразумевает, что, по крайней мере, для ЭП, целевые значения, установленные для водоносных горизонтов или подземных водных объектов, могут быть предпочтительнее национальных целевых значений. С другой стороны, поскольку мониторинг и отчетность по нитратам связаны с потенциальным воздействием на здоровье человека, национальные целевые значения, вероятно, будут уместными.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВЫШЕИЗЛОЖЕННОГО

В настоящем документе содержится конкретное техническое руководство по мониторингу качества подземных вод в контексте индикатора ЦУР 6.3.2. Рассмотрены конкретные проблемы мониторинга подземных вод. Водоносные горизонты и подземные водные объекты должны определяться с использованием простых концептуальных гидрогеологических моделей на основе имеющихся данных. Обсуждаются преимущества и недостатки использования существующих скважин, новых контрольных скважин или источников для отбора проб подземных вод. Предлагаемая структура групп параметров для мониторинга подземных вод может использоваться для определения потенциальных групп параметров Уровня 2 и для поддержки создания или улучшения национального мониторинга качества подземных вод.

ССЫЛКИ

ASTM, 2006. Стандартное руководство по методам очистки скважин, используемых для исследований качества подземных вод, стандарт ASTM D 6452, ASTM International, Вест Коншохокен, Пенсильвания, США.

Chapman, D.V., Meybeck, M. and Peters, N.E., 2005. Water Quality Monitoring. In: Anderson, M.G. [Ed.] *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons

Chilton P. J., 1996. Chapter 9: Groundwater. In Chapman, D. [Ed.] *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Second Edition Published by E&FN Spon on behalf of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. Available at:
https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter9.pdf

ЕС, 2004 Характеристика подземных водных объектов. Технический отчет № 2. Доступен на:
<https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/activities.htm>

МАГ, 2017 Инициативы комплексного мониторинга для достижения целей (IMI-SDGs) до 2030 года: Основные показатели для подземных вод. Доступно на:
<https://iah.org/education/professionals/strategic-overview-series>

Lipponen A. & Chilton P. J., 2018. Development of cooperation on managing transboundary groundwaters in the pan-European region: The role of international frameworks and joint assessments. *Journal of Hydrology Regional Studies*; 20: 145-157.

Missteat B. D. R., Banks D. & Clark L., 2017. *Water wells and boreholes*, 2nd edition. J Wiley & Sons, UK.

ЕЭК ООН, 2000 г. Руководство по мониторингу и оценке трансграничных подземных вод. ЕЭК ООН, Женева.