

GeoPASS: решение создать систему отбора оптимальных геофизических технологий для проведения съемок на небольших глубинах

GeoPASS: a decision support system for selecting the optimal geophysical technique for shallow surveys

J.A.C. Meekes и B.J.M. Goes

В данной статье мы сообщаем о решении создать систему отбора оптимальных геофизических технологий для поиска мелководных объектов (< 80 м, например, менее 80 м ниже поверхности). Эта система находится в свободном доступе в Интернете. Цель решения поддержать систему - дать возможность геофизикам и потребителям конечной продукции создать геофизические технологии для проведения съемок с как можно более удовлетворительным результатом. В перспективе это должно привести к увеличению оценки геофизиков.

Польза, которую приносят геофизические исследования, направленные на изучение окружающей среды, меньше, чем могла бы быть. Немаловажной причиной этого, на наш взгляд, является то, что, по крайней мере, в Нидерландах в большинстве случаев геофизики не предоставляют информации, которую ожидают заказчики. Часто полученная информация не точна или более сложна, чем та, к которой привыкли менеджеры по окружающей среде, и/или технологии проведения геофизических работ не подходят для разведки участков строительства и/или почв. Недостаток информации также может быть вызван применением не совсем подходящей техники или неправильным выбором места проведения работ. Применение геофизических методов без получения результатов, удовлетворяющих конечного потребителя, в плохую сказывается на геофизике целом. Часто такие неудовлетворительные результаты приводят к тому, что геофизические технологии редко применяются на участках с особым строением. На такие исследования тратится много времени, особенно, если характеристики района известны и подтверждаются решением системы поддержки геофизики.

Как геофизики, мы считаем, что при правильном применении геофизические исследования могут стать более важными при изучении среды для проектов, связанных с окружающей средой и инфраструктурой. Хорошо известные преимущества геофизических методов состоят в том, что можно получать латеральное непрерывное распределение свойств среды, и в том, что геофизические методы менее вредны для почв, чем, например, бурение.

Для того чтобы преодолеть проблему применения неподходящих технологий, была организована система принятия решений в рамках Европейского проекта HYGEIA Project (Комбинированные Геофизические Технологии для Оценки Сложных Областей). Такая система получила название GeoPASS.

Некоторое время назад были развиты несколько средств по отбору геофизических технологий для решения специфических задач. В прошлом, некоторые организации разрабатывали аппарат выбора геофизических методов для решения конкретных задач. В сводных таблицах была отражена информация о тех технологиях, которые могли быть применены при решении конкретных задач, такая информация создавалась по решению нескольких организаций и компаний. Такие таблицы в целом содержат

слишком общую информацию и не отражают, в каких случаях будет уместно применение определенных технологий.

Хорошим примером является информация на сайте Швейцарской Геофизической Комиссии (www.aug.geophys.ethz.ch/gpmap-ping).

Известна еще одна система принятия решений, в которой запрашивается более детальная информация о строении района. Такая система, которая называется GAES, была создана специально для поиска загрязняющих веществ (Система Геофизических Экспертиз, Gary R. Aloft, USGS Open-File Report 92- 526). Эта система не очень удобна для пользователя, достаточно старая (1992) и состоит в предоставлении общего набора сведений об особенностях применения той или иной геофизической технологии.

Система GeoPASS создана с целью предоставления пользователю оценки вероятности успешного применения нескольких геофизических технологий. Предметом исследований могут быть загрязняющие вещества или определенные свойства среды (например, слои уплотненных глин, слоистость). В результате исследований может получиться даже так, что ни одна из рассматриваемых технологий не сможет дать решения задачи при данных условиях строения среды.

Целями системы GeoPASS являются:

- Предоставление оценки вероятности успешного применения геофизической технологии на специфических участках и, таким образом, избежать применения неподходящих технологий
- Предоставление конечному потребителю вероятности успешного применения геофизических технологий и факторов, которые влияют на эту вероятность
- Предоставление оценки стоимости проведения геофизической съемки на данном участке

GeoPASS также предоставляет ведомость результатов проверки. Если нет информации о районе и целевых параметрах, слишком сложно предугадать, сможет ли применение данной технологии дать желаемые результаты. В этом случае часто бывает, что некоторыми оптимистичными геофизическими компаниями получаются результаты, не устраивающие заказчиков. Мы надеемся, что система GeoPASS приведет к более «счастливым лицам» заказчиков, и повысит уровень значимости геофизических технологий в целом.

Что такое GeoPASS?

Система GeoPASS на базе ПК является системой принятия решений по отбору оптимальных геофизических технологий при проведении съемок на небольших глубинах суши (от 0 до 80 м). Эта система содержит большую базу данных с описанием физических свойств многих типов осадочных пород. Система GeoPASS основана на базе MS-Excel, что делает ее доступной для

любого пользователя. Она была разработана организацией TNO Environment and Geosciences и находится в свободном доступе в интернете (www.hygeia-eu.org/html/downloads.php or www.tno.nl и введите 'GeoPASS' в строке Search Engine). Эта система сопровождается тщательно разработанным руководством пользователя (Meekes и Goes, 2005). Кроме этого, подготовлен технический отчет, содержащий информацию о работе системы (Goes и Meekes, 2005a). Система GeoPASS была опробована на десятках реальных примерах.

Система GeoPASS включает в себя следующие модули по выполнению геофизических работ:

- Метод электрических сопротивлений 2D (ER)
- Межскважинное Удельное электрическое сопротивление (ERT)
- Электромагнитные методы во временном интервале (TEM)
- Метод электромагнитной индукции (кондуктометр) (EM)
- Радиолокация приповерхностных отложений (50 МГц и определенная пользователем частоты) (GPR)
- Вызванная поляризация (IP)
- Обнаружение ферромагнитных и металлических объектов (включая магнитные методы и детекторы металлов)
- Сейсморазведка на отраженных Р-волнах (HRS)
- Спектральный анализ поверхностных волн (MASW)

Геофизические методы могут быть оценены на основе четырех категорий (Рисунок 1):

- Слои, включающие в себя безводные фазовые жидкости (LNAPLs, углеводороды с плотностью меньше воды)
- шлейфы выбросов
- Концентрированные безводные фазовые жидкости (DNAPL's, углеводороды с плотностью выше воды)/ твердые отходы/ объекты/ трещиноватость
- Трещины

Как работает система GeoPASS

Система GeoPASS определяет для каждого выбранного геофизического метода вероятность успешного применения и определяет стоимость. Вероятность успеха и затраты зависят от следующих

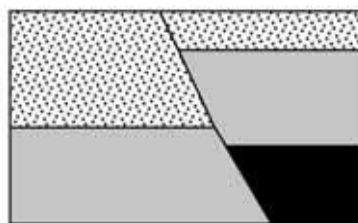
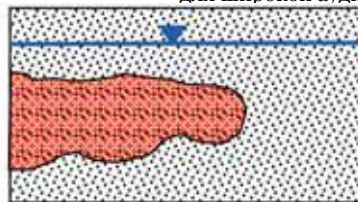
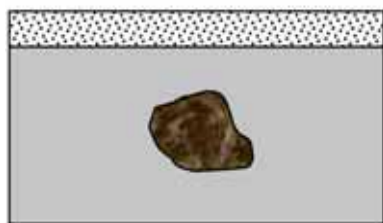
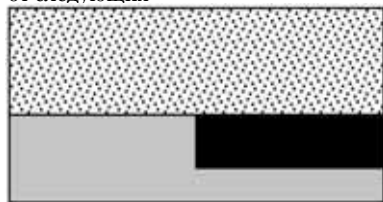


Рисунок 1. Четыре основные категории в системе GeoPASS: слой (слева сверху), объекты (слева снизу), шлейфы выбросов (справа сверху) и трещиноватость (справа снизу).

факторов:

- Характеристики целевого объекта (например, тип объекта, электрическое сопротивление, размеры, глубина)
- Информация о геологическом строении выше и ниже объекта (например, глина, песок, электропроводность подземных вод)
- Поверхностные условия района (например, твердый грунт, удлиненные минеральные тела, металлические ограждения, промышленные помехи)
- Характеристики геофизического оборудования (например, выбранная частота георадара, расстояние между электродами для геоэлектрических методов)
- Длина линии съемки, стоимость труда, ожидаемый производственный тариф

Система GeoPASS просит пользователя указать параметры, связанные с этими факторами, и затем анализирует их влияние на ожидаемую вероятность успешного проведения работ. Пользователь указывает литологию и описание целевого объекта, используя расширенную базу данных для приведения терминов к физическим параметрам, таким как сопротивление, диэлектрическая проницаемость, сейсмическая скорость, в соответствии с применяемым геофизическим методом. Параметры визуализируются в виде рекомендуемых значений и могут быть исправлены пользователем в соответствии с местными оценками. Система GeoPASS также запрашивает рекомендуемые значения для характеристик геофизического оборудования, стоимости труда и производственного тарифа. Затем применимость выбранного геофизического метода рассчитывается исходя из условий, которые ставит пользователь. Результаты выводятся в виде двух гистограмм, по оси Y отложены геофизические методы, по оси X ожидаемая вероятность успеха для одной гистограммы, и затраты для второй гистограммы (смотрите рисунок ниже, иллюстрирующий пример). Кроме того, для каждого выбранного геофизического метода приводится детальное описание таких факторов, как шум, разрешение на глубине объекта и других факторов, которые значительно уменьшают шанс определения объекта. На рисунке 2 описан основной поток операций, который отражает процесс работы системы GeoPASS.

Несколько слов о работе системы GeoPASS

В данной статье невозможно отразить детально всю информацию о работе системы GeoPASS. Тем не менее, некоторые аспекты, которые могут представлять интерес для широкой аудитории, приведены ниже.

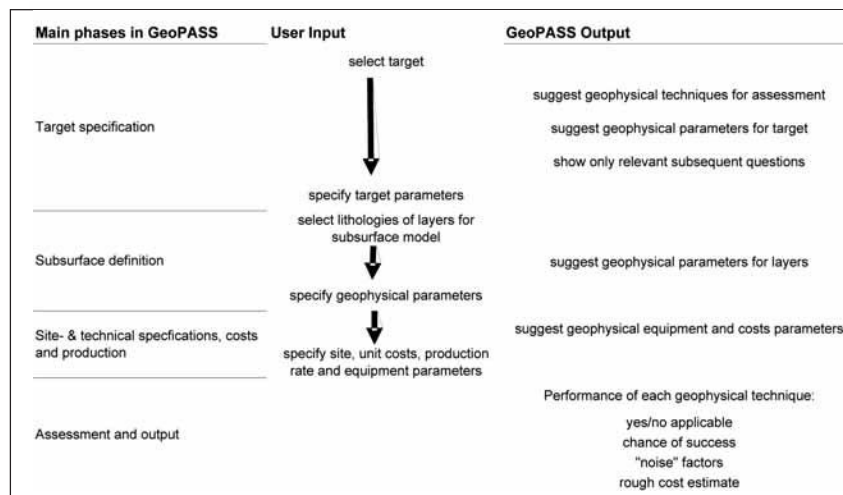


Рисунок 2. Основной поток операций системы GeoPASS.

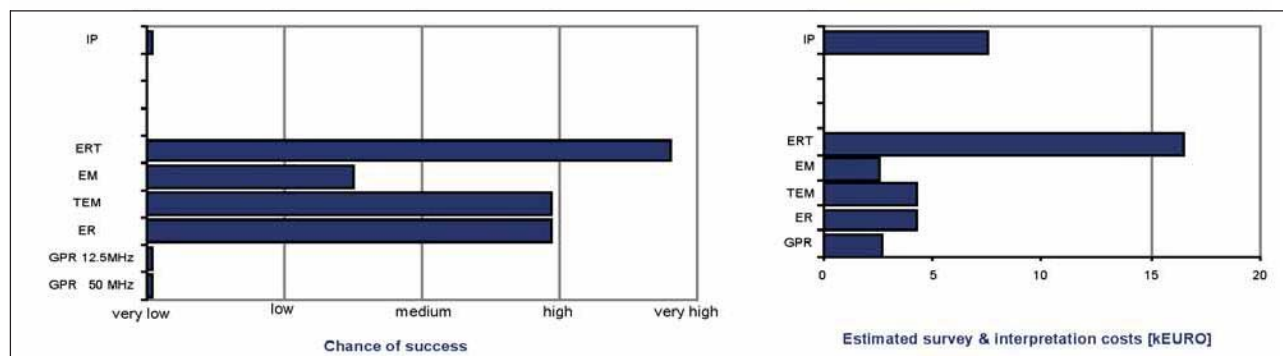


Рисунок 3. Нахождение шлейфа загрязнения Collendoorn, результаты GeoPASS.

Геологическая информация, которая подается на вход системы, затрагивает не только слоистую модель, но также включает такие параметры, как латеральная изменчивость, число скважин на километр, которые можно использовать для калибровки геофизических данных, и вертикальная неоднородность среды над целевым объектом. Эти параметры часто не учитываются при моделировании полевой съемки, но мы считаем, что они очень важны при оценке вероятности успешного применения геофизических методов. Например, при нахождении DNAPL (Концентрированные безводные фазовые жидкости, органические загрязнители). При полевых съемках часто считается, что находить DNAPL нужно с помощью георадара, потому что DNAPL уменьшает диэлектрическую проницаемость. Однако, как вы распознаете DNAPL по радарограмме, в которой вы видите латеральные изменения на глубине нескольких метров? Хотя сигнал, соответствующий DNAPL, будет присутствовать, сигнала радара недостаточно и он будет незаметен из-за внутреннего отражения в осадочных формациях.

Присутствие шума также влияет на успешное применение геофизических методов. Например, присутствие металлических объектов на поверхности или под ней может сильно ухудшить качество данных ЕМ, и в меньшей мере на данные ЕР. Качество сейсмических данных ухудшается в областях с промышленными вибрациями почв или при наличии

природного газа. Чтобы ответить на вопросы пользователя, связанные с помехами, считается фактор риска, который может привести к нежелательному результату при полевых съемках.

Для того чтобы увидеть чувствительность результатов системы GeoPASS, полезно поиграть с входными данными, особенно с теми, которые не точны, в то время как оцениваете результаты вероятностей успеха вверху таблицы выходных данных, где показывается вероятность успеха. Пометки на табло выходных данных под каждым геофизическим методом содержат информацию о входных данных, которые значительно уменьшают вероятность успешного применения метода.

В соответствии с вероятностью успешного применения метода выводится оценка начальной стоимости проведения выбранного метода. Для заказчика часто также как и вероятность успешного применения того или иного метода важно применять ли этот метод вообще или нет. Система GeoPASS включает следующие элементы:

- Система базируется на опыте проведения полевых работ, основных геофизических принципах и случаях из истории из геофизической литературы.
- Пользователь может задать специфические геологические и антропогенные материалы и система GeoPASS найдет типичные свойства для этих материалов в своей базе данных

- Основные замечания, рекомендуемые значения и особые указания пользователю по входным и выходным параметрам системы GeoPASS.

Получить совет от GeoPASS - очень эффективно: это занимает около 10 минут, если вы знакомы с системой и знаете характеристики района.

Примеры результатов системы GeoPASS

Нахождение шлейфа загрязнения в районе Collendoorn.

Collendoorn - это маленький город в восточной части Нидерландов. В городе есть старый район захоронения отходов, который загрязняет подземные воды ионами железа и хлора. Строение района составляют в основном пески с прослоями глин. Песчаные элементы содержат загрязненные подземные воды, которые имеют меньшее сопротивление (~8 Ом-м), чем те, которые содержат не загрязненные подземные воды (125 Ом-м). Около 250 м к востоку от места захоронения отходов поверхность загрязнения находится приблизительно на 18 м и имеет толщину шлейфа загрязнения порядка ~20 м. Целью геофизических работ было картирование и мониторинг степени загрязнения подземных вод.

Физические параметры среды и целевого шлейфа загрязнения были занесены в систему GeoPASS. На выходе программы (Рисунок 3) было рекомендовано применение следующих геофизических методов: TEM и ER (высокая вероятность успеха) и EM (средняя вероятность). Применение ERT между скважинами имеет очень высокую вероятность успеха, но этот метод относительно дорогой, потому что требует наличия большого числа скважин. Применение Радара (12.5 и 50 МГц) неуместно, потому что системой GeoPASS было обнаружено, что целевой объект находится слишком глубоко и имеет слишком маленький контраст по сравнению со средой. Применение IP также неуместно из-за глубины шлейфа и из-за возможности получения сигнала от слоя глин над объектом. Методы HRS, MASW, магнитометрия и детектор металлов не выбирались, потому что они не подходят для этого целевого объекта.

Следующие геофизические методы были применены в поле: EM34, ER и TEM. Измерения EM34 с разном 10 м (горизонтальным и вертикальным) и 20 м (вертикальным) не могут определить латерального изменения шлейфа загрязнения. Измерения EM34 с разном 20 м (горизонтальным) и 40 м (горизонтальным и вертикальным) дали грубую информацию о латеральном изменении шлейфа загрязнения (Nijdeken, 1994). Методами TEM (Westerhoff, 1999) и ER (Bloem, 2000) были получены 2D профили шлейфа загрязнения. Профиль ER показывает, что толщина загрязненных подземных вод (<10 Ом-м) уменьшается к востоку от места захоронения отходов (Рисунок 4). Результаты с рекомендациями по применению геофизических методов, полученные системой GeoPASS, совпали с примененными методами.

Пример выбора синтетической модели

Систему GeoPASS можно также использовать для определения максимальной глубины, на которой будет виден целевой объект для выбранных геофизических методов, или минимальная толщина слоя для данных

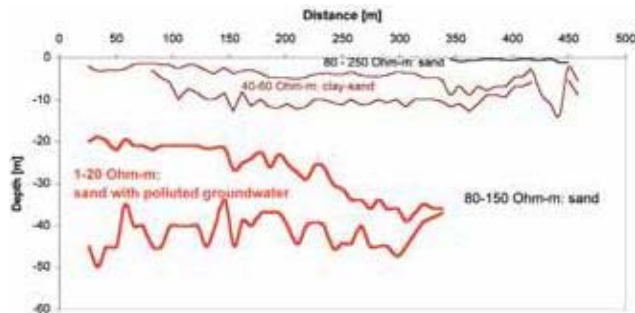


Рисунок 4. Результаты нахождения шлейфа загрязнения с помощью удельного электрического сопротивления 2D в районе Collendoorn.

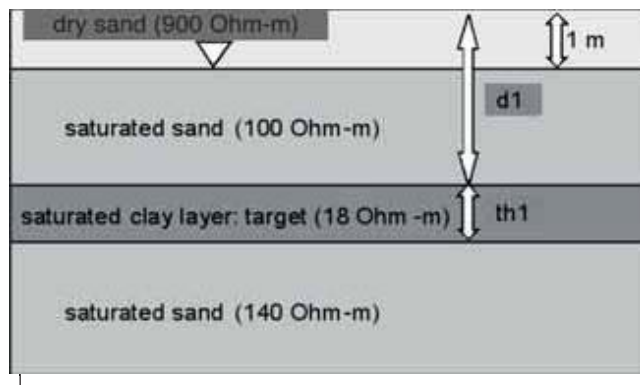


Рисунок 5. Синтетическая модель среды при определении глинистого слоя.

методов. Следует понимать, что GeoPASS не является средством для моделирования, но она предсказывает результат применения геофизических методов, основываясь на определенных правилах и механизмах.

Проиллюстрируем пример определения слоя глин, присутствующего в песке. Слой глин имеет толщину th_1 и глубина до его кровли d_1 . Подземные воды находятся на глубине 1 м (Рисунок 5).

Результаты определения трех различных толщин и глубин глинистого слоя:

- Модель 1: толстый неглубокий глинистый слой ($th_1 = 2$ и $d_1 = 5$ м)
- Модель 2: неглубокий тонкий слой 1 ($th_1 = 0.5$ м и $d_1 = 5$ м)
- Модель 3: самый глубокий и толстый глинистый слой ($th_1 = 2$ м and $d_1 = 10$ м)

Латеральные размеры глинистого слоя составляют 50 м. Геологические условия определены как «низко- и средне сложные»: латеральные изменения над целевым объектом составляют 150 м (в три раза больше глинистого слоя), а вертикальные неоднородности над объектом небольшие (от очень высоких до очень небольших). Другие условия района, которые влияют на возможность шума, определены как хорошие, потому что по соседству с районом нет передатчиков с частотной модуляцией, рельсов, линий электропередачи и др. Также нет твердых грунтов или металлических объектов. Результаты для трех случаев представлены на рисунках 6-8. Система GeoPASS выдает более детальные результаты, но они не приводятся в данной статье.

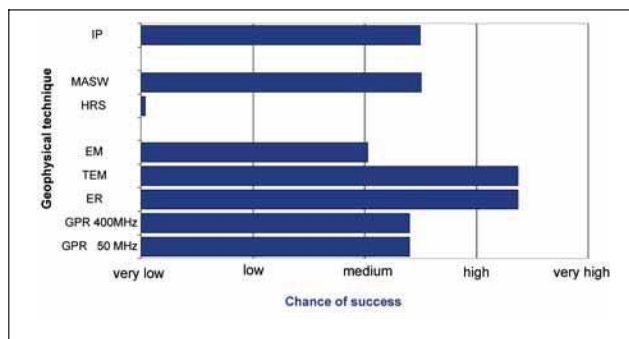


Рисунок 6. Результаты системы GeoPASS в случае неглубокого толстого глинистого слоя (Модель 1).

Геофизики могут видеть, что на графиках приведено поведение хорошо известных геофизических методов. Толстый неглубокий глинистый слой можно определить по методам IP, MASW, EM, ER, TEM и GPR. Для определения тонкого неглубокого глинистого слоя система GeoPASS рекомендует радар, потому что у него лучшее разрешение, чем у других методов. С другой стороны, глубокий глинистый слой хорошо определится с помощью ER или TEM, но вероятность этих методов ниже, чем GPR. Глубокий глинистый слой нужно определять либо с помощью IP, либо GPR, даже на низких частотах. Все целевые объекты на этих примерах находятся слишком неглубоко для применения метода HRS.

Изменение ранних версий системы GeoPASS

Для каждой геофизической съемки, проводимой Hügeia Project, результаты которых были известны, провели сравнение с результатами GeoPASS. Это было сделано с целью изменения и обновления системы GeoPASS и для получения пределов применимости (Goes и Meekes, 2005b).

Оказалось, что система GeoPASS сообщает, что специфические объекты не могут быть обнаружены по каким-то геофизическим методам, и это подтверждается по всем доступным геофизическим съемкам. Тем не менее, ранние версии системы GeoPASS сообщали, что некоторые объекты можно обнаружить определенными методами, хотя они не были видны в результате полевых работ. В пяти из девяти случаев, в которых предсказывалось наличие объекта, это подтверждалась полевыми данными. В оставшихся четырех случаях система GeoPASS давала слишком оптимистичные результаты, в двух случаях для метода GPR и в двух других для ER. Эти четыре случая требовали определения относительно малых или тонких DNAPLs или LNAPLs. Привлекая результаты геофизических работ и характеристик района, пришли к выводу, что оптимистичные результаты GeoPASS связаны с недоопределением влияния латеральной изменчивости среды. Этот аспект оказался очень важным для определения успешного применения геофизического метода, чем предполагали вначале, особенно для случая определения загрязнителей, таких как DNAPLs и LNAPLs. Этот аспект был учтен в последующих версиях системы GeoPASS.

Также оказалось, что система GeoPASS имеет пробелы при принятии решений, связанных с оптимизацией параметров полевых работ. Пределы применимости системы составляют для некоторые объекты, особенно антропогенные, для которых невозможно подобрать

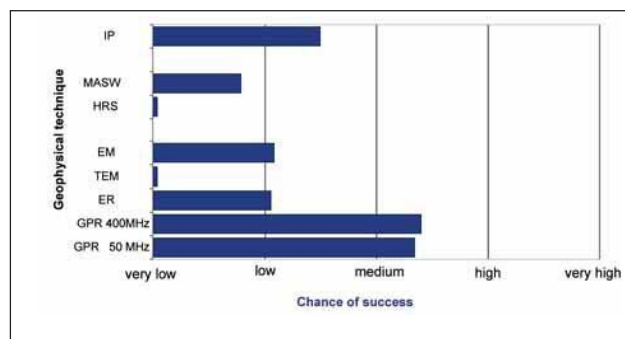


Рисунок 7. Результаты системы GeoPASS в случае неглубокого тонкого глинистого слоя (Модель 2).

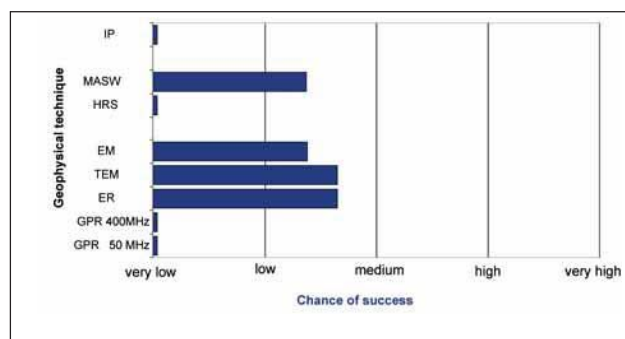


Рисунок 8. Результаты системы GeoPASS в случае глубокого толстого глинистого слоя (Модель 3).

физические параметры в литературе и включить их в базу данных системы. Для некоторых материалов, таких как отходы при захоронениях, свойства изменяются от района к району. Обновленная система теперь может использоваться заказчиками – обществом инженеров и геофизиков, занимающихся окружающей средой.

Заключения

GeoPASS - это система принятия решений, которая может помочь в определении геофизических методов для проведения наземных геофизических работ. GeoPASS дает результаты о потенциальном успехе применения геофизических методов. Так как она находится в свободном доступе, она может быть важной частью работы заказчиков. Пользователи системы могут оставлять свои комментарии, которые будут использоваться в дальнейшем при обновлении системы GeoPASS.

Система GeoPASS также дает информацию заказчику о том, какие атрибуты целевого объекта, среды и района требуются для получения результатов определения успешного применения геофизических методов. Опытные пользователи GeoPASS могут быстро выяснить, какие из этих атрибутов являются ключевыми факторами для определения результатов. Это может привести к тому, что потребуются привлечение большей информации, касающейся проведения работ. Конечно, в будущем в систему будут включены новые геофизические методы, такие как сейсморазведка на отраженных поперечных волнах и аэро геофизика.

Развитие и тестирование системы GeoPASS заставило нас осознать, что латеральная изменчивость

является очень важным параметром, особенно в случаях определения загрязнителей. Похоже, что сильная латеральная изменчивость в природных средах – это самый важный параметр, который влечет низкий порядок успешного нахождения загрязнителей.

Благодарности

Система GeoPASS была развита благодаря технологии HYGEIA Project, проведенной в рамках 5й программы по энергетике, окружающей среде и устойчивому развитию ЕС (EVK4-СТ-2001-00046, www.hygeia-eu.org). Спасибо Ronnie van Overmeeren (TNO) и Докт. J. Sunderland (First Break) за их полезные комментарии к ранним версиям этой статьи.

Ссылки

Bloem, E. [2000] Geo-elektrische metingen in Collendoorn

en Epe (geo-electrical measurements in Collendoorn and Epe). *TNO-report: NITG 00-11-B*.

Goes, B.J.M. and Meekes, J.A.C. [2005a] Geophysical Decision Support System. *Technical Description. Hygeia Project deliverables 10.1, www.hygeia-eu.org*.

Goes, B.J.M. and Meekes, J.A.C. [2005b]. Validation of the applicability of GeoPASS at the *Hygeia field sites. Hygeia Project deliverables 10.2 and 10.3, www.hygeia-eu.org*.

Meekes, J.A.C. and Goes, B.J.M. [2005] GeoPASS, Geophysical Decision Support System User's Manual. *Prepared by TNO for the Hygeia Project, www.hygeia-eu.org*.

Nijdeken, G.J. [1994] Geofysisch onderzoek voormalig stortplaats Collendoorn (geophysical study at the former waste dump site Collendoorn). *TNO-report: OS 94-29-B*.

Westerhoff, R.S. [1999] Mapping of subsurface pollution in Collendoorn. *TNO-report: NITG 99-215-B*.