

## Экологическая и инженерная геофизика

### **3D модели атрибутов для решения задач, связанных с экологической и инженерной геофизикой в областях с регенерацией городских земель – полевой пример из Глазго, Великобритания. 3D attributed models for addressing environmental and engineering geoscience problems in areas of urban regeneration - a case study in Glasgow, UK**

Joanne Merritt<sup>1</sup> \* Alison Monaghan,<sup>1</sup> David Entwistle,<sup>2</sup> Andrew Hughes,<sup>2</sup> Diarmad Campbell,<sup>1</sup> и Mike Browne<sup>1</sup> обсуждают как моделирование BGS данных экологической и инженерной геофизики помогают составителям планов и разработчикам из Глазго регенерировать земли городского назначения.

Город Глазго расположен на нижних заливных лугах и внутреннем эстуарии реки Клайд (Рисунок 1) на западе Шотландии, Великобритания. Городская агломерация Глазго была одним из Европейских центров тяжелой промышленности, в частности, индустрии кораблестроения. Первоначально, промышленность подпитывалась локально добываемым углем и железной рудой. Как и во многих европейских городах, тяжелая индустрия пошла на убыль и Глазго остался с наследием запущенной промышленности, широкомасштабных разрушений, и обширными пустырями и загрязненными территориями, некоторые из которых являются местами, заполненными глиняными карьерами и песчаными и гравийными разработками.

В Глазго полным ходом идет регенерация и развитие агломерации. Локальное и национальное правительство и частные предприниматели активно инвестируют в области, намеченные под новое строительство жилья, торговлю, промышленность и другие звенья инфраструктуры. Эти области среди прочих, включают акваторию реки Клайд, и область Clyde Gateway около 800 гектаров в восточной части города. Однако, успех в этой инициативе зависит от преодоления проблем, связанных с экологической и инженерной геофизики, включая:

- Риски, связанные с недавними малоглубинными шахтными разработками (уголь, железная руда и т.д.)
- Загрязнения почв и вод (поверхностных и грунтовых)
- Воздействие наводнений
- Потенциальное изменение уровня моря

Таким образом, разработчикам планов по развитию Глазго требуются надежные, современные и мгновенно доступные данные по экологической и инженерной геофизики и знания, с целью замены того, что мы имеем дело на настоящий момент (например, Browne et al., 1986, Browne and McMillan, 1991), по тем областям, которые приоритетны для регенерации. Британская Геологическая Служба (BGS), в сотрудничестве с Городским Советом Глазго (GCC), и другими, отвечает этим геофизическим нуждам

в мультидисциплинарных и разномасштабных проектах. Проект охватывает большое число геофизических данных с целью построения 3D моделей и комплексных геофизических баз данных. Используемый подход не уникален для Глазго, однако, поскольку BGS в настоящее время также вносит свой вклад в долгосрочное освоение земель посредством сравнительных многодисциплинарных проектов в похожих областях регенерации городских земель повсюду в Великобритании, включая города Манчестер, Салфорд и Ливерпуль на северо-западе Англии, и Лондон и Thames Gateway на юго-востоке Англии.

#### Управление информацией

BGS хранит широкий диапазон данных, в более чем 400 группах данных, собранных с 1835 года. Все наборы данных описываются всеобъемлющими метаданными (ISO 19115:2003 стандарта), поднабор которых опубликован на веб-странице BGS в интернете (<http://www.bgs.ac.uk/discoverymetadata/home.html>).

Сканирование и оцифровка карт и записей, хранящихся в национальных архивах BGS явились основой для разработки цифровых продуктов, которые удовлетворяют требованиям эволюции данных геофизики (Culshaw, 2005). Широкомасштабные программы оцифровки данных, принятые за последние годы для района Глазго BGS и Городским Советом Глазго, уже существенно увеличили доступность данных и возможности делиться ими (Mellon and Frize, 2006).

Текущая работа BGS фокусируется на бассейне реки Клайд (Рисунок 1) и получении информации по скважинам, содержащимся в архивах BGS; она включает записи по более, чем 35,000 скважин только в одной области Глазго. Большая часть из них уже приобрела стратиграфические коды, как для поверхностных отложений, так и коренных пород, и стала подходящей для моделирования. Кроме того, Городской Совет Глазго предоставил существенное количество недавно полученных данных по районам наиболее важных разработок в формате промышленных данных стандарта AGS (Ассоциация Геотехнических и Геозологических

<sup>1</sup> British Geological Survey, Murchison House, West Mains Road, Edinburgh EH9 3LA, UK.

<sup>2</sup> British Geological Survey, Kingsley Dunham Centre, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, UK.

\*Corresponding author, e-mail: [jeca@bgs.ac.uk](mailto:jeca@bgs.ac.uk).

## Экологическая и инженерная геофизика

Специалистов). Скважинные данные дополняют данные цифровых карт и планов шахт.

### 3D модели

3D геологические модели систематически разрабатываются BGS в проекте LithoFrame (Kessler and Mathers, 2004), целью которого является получение геологических моделей Великобритании в масштабах от 1: 1,000,000 до 1: 10,000. BGS разработала

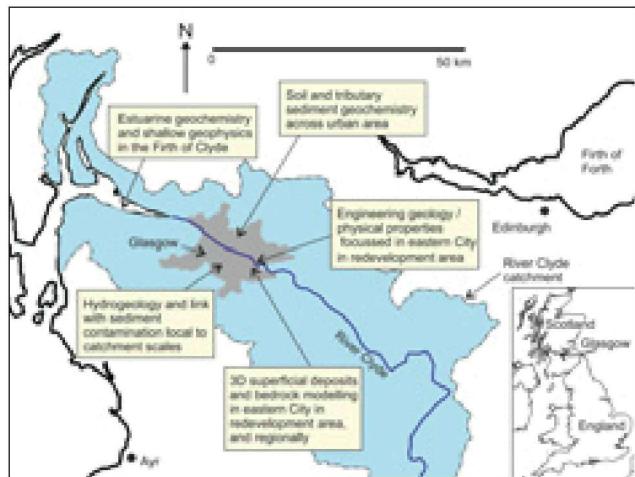


Рисунок 1 Расположение бассейна Клайда и агломерации Глазго, с некоторыми доступными междисциплинарными наборами цифровых данных.

системы для ввода корпоративных данных, извлечения данных и хранения моделей и метаданных, а также аппарата моделирования и методологии (Smith, 2005). Детальные модели в локальном и региональном масштабе (1:10,000 до 1:50,000), которые характеризуют приповерхностные отложения и малоглубинные коренные породы (менее 200 м глубиной) (Kessler et al., 2005), наиболее часто используются в городском планировании, для таких городов как Глазго. BGS является производителем первого поколения цифровых геологических моделей 3D в локальном и региональном масштабе области Глазго (Merritt et al., 2006), и будет их расширять через бассейн и внутренний эстуарий Клайда. Эти модели синтезируют имеющиеся цифровые данные по скважинам, геологические карты, планы шахт и модели рельефа. Затем 3D модели применяются для иллюстрации и интерпретации:

- Распределения и мощности поверхностных осадков и искусственного грунта
- Вариации в сложной геологии коренных пород, включая положение разломов и смещений, а также протяженности и глубины известных и вероятных шахтных выработок прошлого, и
- Пространственных вариаций геотехнических, геохимических, гидрогеологических и геофизических свойств

Также для моделей Глазго определяются погрешности. Первоначально, они основывались на плотности данных, используемых в интерпретации, но теперь BGS работает над получением погрешностей модели, и включением таких факторов как сложность геологии и качество данных.

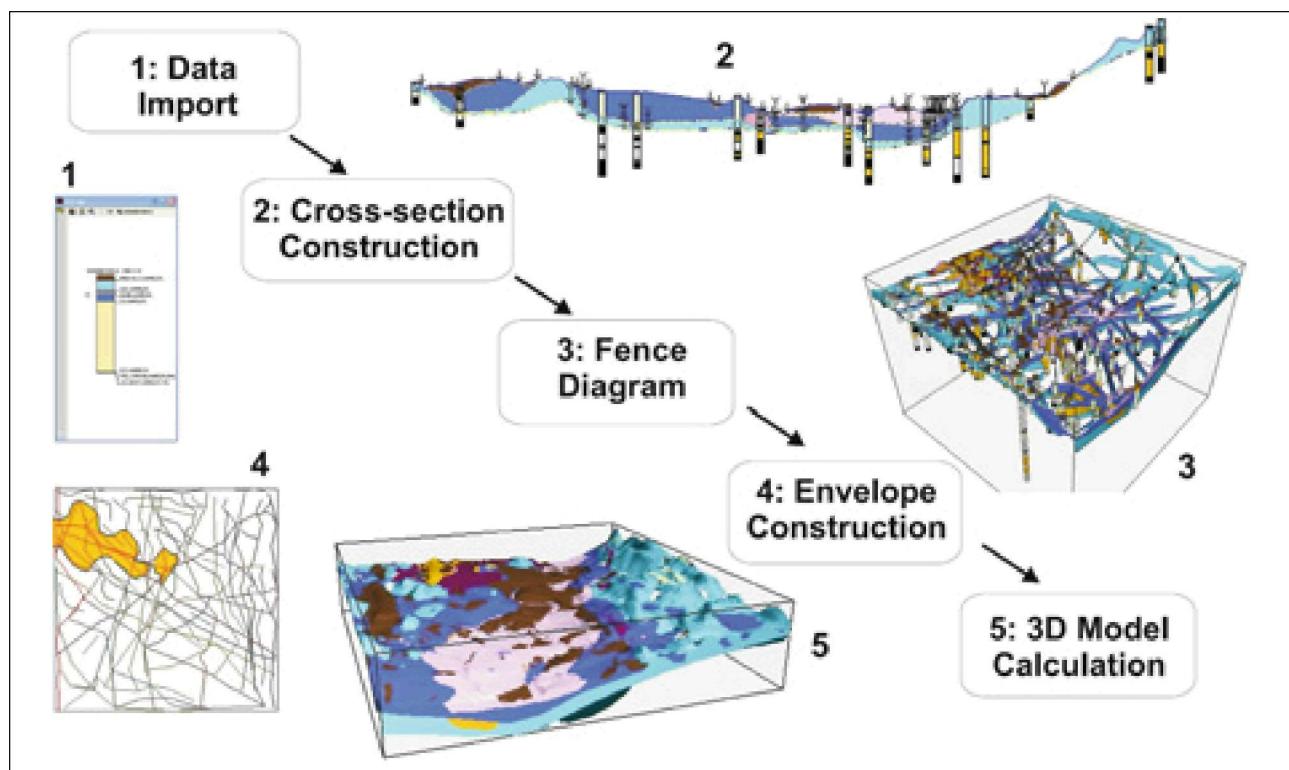


Рисунок 2 Поток моделирования поверхностных отложений GSI3D.

## Экологическая и инженерная геофизика

### Моделирование поверхностных отложений

BGS использует ПО GSI3D Insight для построения моделей малоглубинного разреза (особенно для поверхностных отложений и искусственного грунта). ПО было разработано для BGS для удовлетворения его собственных нужд и нужд общества пользователей. В методе GSI3D используется цифровая модель разреза, поверхностных геологических обнажений и кодированных скважинных данных, которые должны помочь геологу в коррекции между скважинами и обнажением геологических комплексов, и для построения пересекающихся разрезов (диаграмм). Разрезы и геологические оболочки (границы геологических поверхностей) используются в расчете моделей GSI3D с помощью метода триангуляции. Поток обработки GSI3D приведен на рисунке 2. Модели, соотнесенные с геотехническими, гидрогеологическими и другими свойствами, затем публикуются в Lithoframe Viewer, которым владеет BGS. Это легкий в использовании, аппарат построения интерактивных моделей, в котором пользователь может строить синтетические разрезы, горизонтальные срезы (слайсы), и скважины в пределах модели. Потенциальное значение этого очень велико, например, при планировании транспортных путей, таких как подземные железнодорожные пути, очистки от следов разработок, и при планировании исследования объектов. 3D геологическая модель атрибутов, таким образом, является мощным средством предсказания и экономии времени, которое ассимилирует большое число геоданных по урбанизированному району в один пакет, легкий для использования. Однако, ее нельзя рассматривать как замену детального исследования местности.

### Моделирование коренных пород

Угленосные коренные породы, подстилающие Глазго, состоят из смятых в простые складки слоев, которые разбиты сложными разломами. Данные скважин разной плотности, план шахт и карты точек обнажений ограничивают положение угольных пластов, стратиграфических границ и разломов 3D. При добавлении данных геологической интерпретации, был использован поток структурной обработки GoCAD в целях моделирования ключевых угольных пластов, стратиграфии и разломов (Рисунок 3). Поскольку малоглубинные шахтные выработки часто являются объектом планирования и переработки, из-за добавочной стоимости проектов, модели поверхности угольных пластов с разломами, в сочетании с областями известных и вероятных областей горных выработок, дают нам улучшенные цифровые наборы данных для определения протяженности и глубины этих рисков.

### Применение моделей

Модели являются ключами в Глазго к:

- Идентификации и исследованиям условий проблемных условий грунта
- Исследованию экологических вопросов, таких как миграция загрязнителей в систему грунтовых вод
- Поиску путей уменьшения рисков (например, от бывших выработок и загрязнений)
- Обеспечению того, чтобы грунт перерабатывался надежным и долгосрочным образом для долгосрочной пользы сообществу.

Геологическая модель 3D (для области 25 км<sup>2</sup>) включая поверхностные отложения и ключевые угольные пласти, уже была представлена по оценочной лицензии Городскому Совету Глазго в Lithoframe Viewer для использования при планировании переработки области Clyde Gateway в восточном Глазго.

### Геоинженерные атрибуты моделей

Модели GSI3D можно соотносить на основе объемов с типичными характеристиками физических свойств, т.е. отдельным формациям /комплексам могут приписываться особые атрибуты (Рисунок 4). Затем можно строить синтетические скважины и разрезы по моделям с атрибутами 3D, и могут быть визуализированы вариации атрибутов по глубине (Рисунок 5), или любой другой моделируемой поверхности, например, поверхности воды. Если модели используются, например для планирования исследования участков, их можно пересматривать с последующим добавлением данных по исследованиям новых участков для создания модели разреза участка.

Несмотря на то, что 3D модель дает взаимоотношение между различными моделируемыми комплексами, она полностью не отражает вариации внутри каждого комплекса. Это отображается другими способами. В разрезах, 'прямоугольные обозначения скважин' классифицируются для одного или нескольких характеристик, таких как литология, твердость (Рисунок 6), детальная проницаемость или параметры, такие как стандартные N-значения тестов фильтрационных свойств. Данные также отображаются в результирующих графиках или графиках глубин для каждого параметра. Однако при данных ограничениях программы 3D, которая дает возможность интерактивного отображения данных, разрезов, и другой информации, для области Глазго был также разработан инженерно геологический ГИС. Будучи требуемым форматом отображения большей части геонаучной информации, совместимость выходных данных GSI3D с ГИС фундаментально для локальных властей. Используя ГИС, можно отображать графики например, пластиности, глубинных параметров, распределения размеров частиц и графики Excel

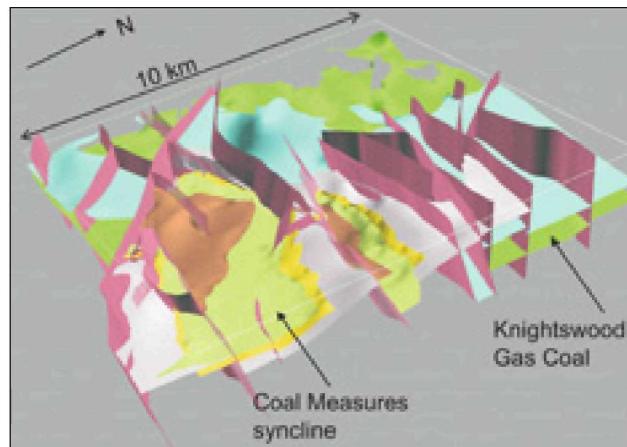


Рисунок 3 Обзор модели коренных пород до 200 м под породами на востоке Глазго, включающей две стратиграфические поверхности и четыре угольных пласта. Разломы показаны розовым (за исключением верхнего угла).

## Экологическая и инженерная геофизика

Стандартного теста фильтрационных свойств и сопротивления сдвигу без дренажа в отношении тех геологических границ, которые были созданы в процессе моделирования 3D.

### Моделирование грунтовых вод

Новая разработка связывает GSI3D с существующей цифровой моделью течения грунтовых вод, ZOOMQ3D. Семейство цифровых моделей ZOOM грунтовых вод состоит из модели потока насыщенных грунтовых вод ZOOMQ3D (Jackson and Spink, 2004), прослеживания транспортировки адвективных фракций ZOOPT (Jackson, 2004), и модели

распределенного питания ZOODRM (Mansour and Hughes, 2004). Все эти модели созданы с использованием препроцессора, называемого ZETUP и входных пространственных файлов из ГИС (Jackson and Spink, 2004). ZOOM был разработан с использованием объектно-ориентированных методов, программируемого подхода, часто применяемого в коммерческих разработках ПО, но относительно недавно принятого в численном моделировании в научном анализе. Основной особенностью моделей ZOOM является преобразование сетки к более подробному изображению, так что любое количество связанных конечно-разностных сеток можно использовать для увеличения изображения определенной части системы грунтовых вод.

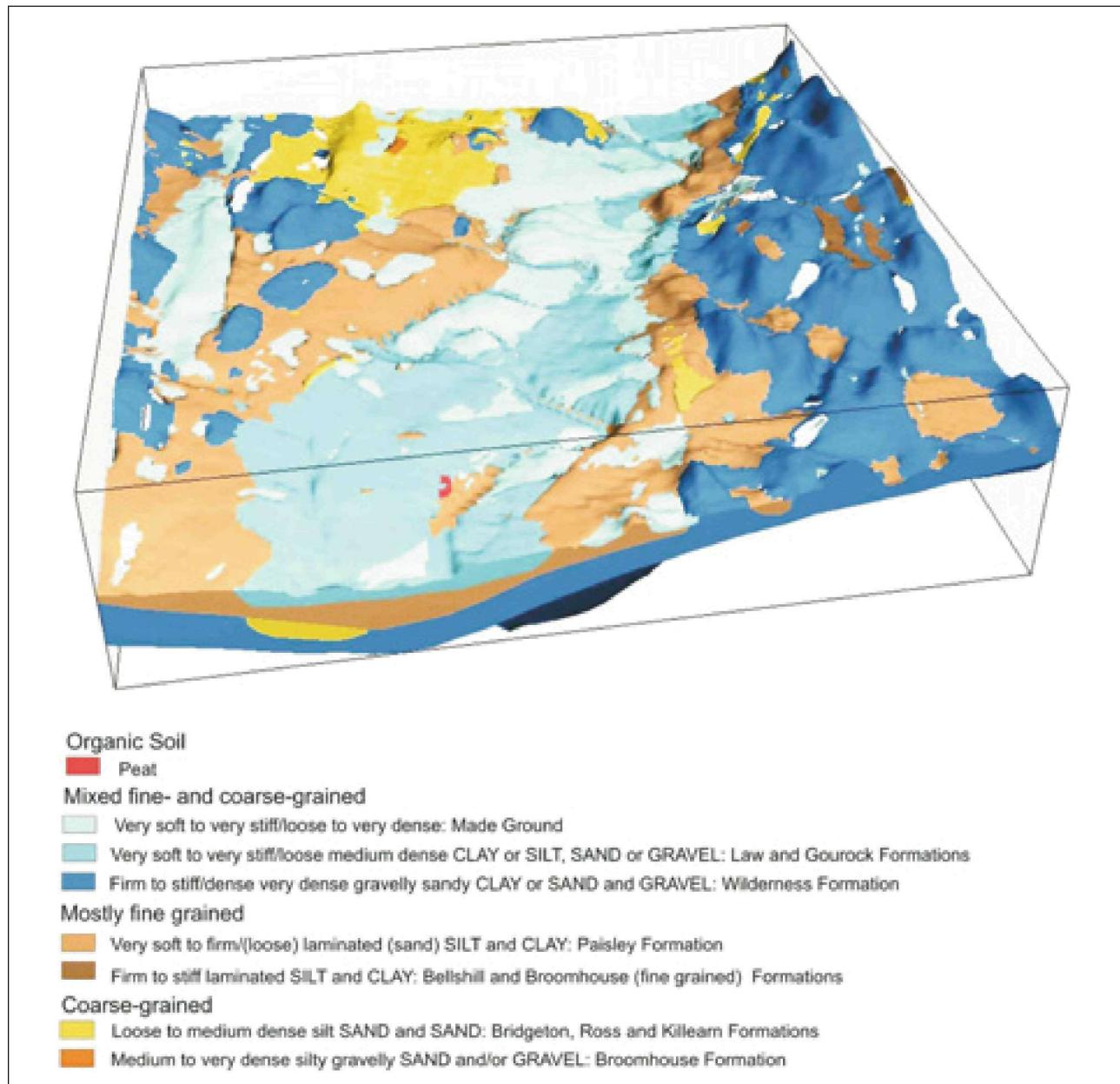


Рисунок 4 3D модель поверхностных и искусственных отложений восточной части Глазго, описанная с точки зрения инженерно-геологической классификации. Коренные породы показаны белым.

## Экологическая и инженерная геофизика

Граница между моделями потока грунтовых вод ZOOMQ3D и GSI3D была разработана, и испытывается с помощью моделей GSI3D, построенных для Глазго. Сетка ZOOM определена и задана нормальным способом, но значения кровли и подошвы каждого гидрогеологического слоя и гидрологические свойства экспортируются из GSI3D. Модифицированная версия препроцессора ZETUP использует эти данные GSI3D для создания входных файлов ZOOM. Весь процесс не сложнее задания модели ZOOM, с использованием ГИС. Разработка этого нового интерфейса и семейства моделей ZOOM продолжается, и опыт, полученный при испытаниях с использованием модели Глазго GSI3D, поможет улучшить будущие версии.

### Геохимическая съемка

BGS предприняло расширенный геохимический пробоотбор в осадках системы притоков Клайда, водах потока и почвах Глазго и его окрестностях. Образцы

осадков и воды были проанализированы на содержание порядка 60 органических и неорганических соединений с целью обзора качества городской дренажной системы и городских почв. Элементами особой заботы является содержание хрома, мышьяка, кадмия и свинца. Текущая работа направлена на интеграцию этих данных с наборами гидрогеологических данных для разработки аппарата оценки рисков 'за один проход' ГИС. Таким образом, было намерение оценки потенциальных угроз приповерхностным грунтовым водам вследствие утечек и исходящих движений загрязнителей почв. Интеграция со схожими данными по эстуарию Клайда даст представление о миграции загрязнителей через долину Клайда и в ее эстуарий.

### Изучение эстуария

Малоглубинные геофизические исследования и химический анализ осадков, были выполнены на внутреннем и внешнем эстуарии Клайда в целях описания и идентификации возможных участков

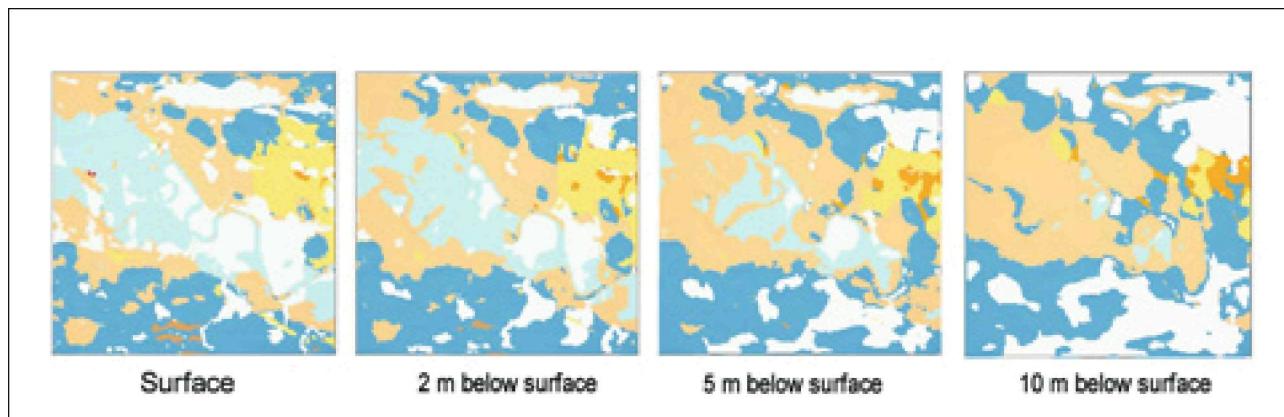


Рисунок 5 Изображения в плоскостях (слайсы) инженерно-геологических комплексов по 3D модели (Рис 4) на поверхности, 2 м, 5 м и 10 м под уровнем земной поверхности. Легенда как для Рисунка 4. Коренные породы показаны белым цветом.

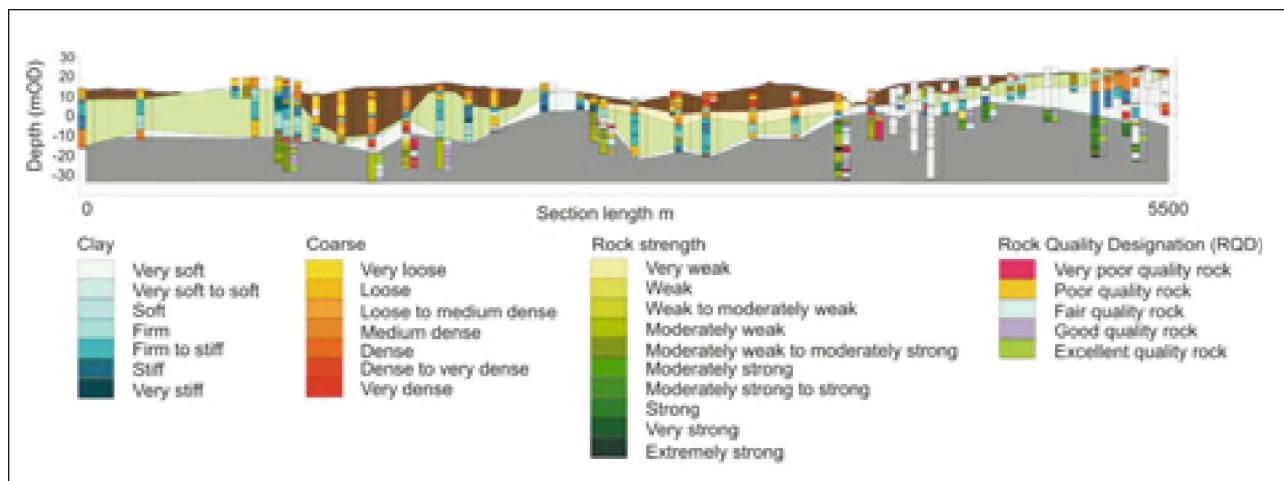


Рисунок 6 Разрез восток-запад через восточную часть Глазго: разрез был охарактеризован с точки зрения литостратиграфии, тогда как 'прямоугольники скважин' имеют цветовой код для описания твердости/плотности (слева) и качества пород (RQD) (справа), что указывает на большие внутренние вариации свойств литостратиграфических комплексов.

## Экологическая и инженерная геофизика

загрязнения. Исследования с буфером, локатором бокового обзора и многолучевым эхолотом проводились для установления природы и мощности колонки осадков. Затем образцы осадков с поверхности и керна были проанализированы на содержание широкого диапазона геохимических и органических соединений. Первонаучальные результаты говорят о влиянии промышленности на осадки эстуария.

### Выводы

- BGS разработал аппарат для управления информацией и моделирования, который дает возможность интегрирования цифровых геоэкологических данных на основе определения свойств и анализа 3D геологических моделей, разработанных с помощью ПО, выполненного на заказ.
- В области Глазго, продолжается работа по комбинированию цифровых геологических данных с физическими свойствами, геохимией и гидрогеологией для получения современной и легко извлекаемой информации для плановиков и разработчиков. Этот продукт улучшит понимание загрязнения поверхности и грунтовых вод, и опасностей связанных с бывшими шахтами, и влиянием наводнений и изменения уровня моря и будет способствовать плановикам и разработчикам в принятии решений о долгосрочном использовании и регенерации земель.

### Благодарности

Мы признательны всем, кто внес вклад в этот проект, многим коллегам BGS, особенно Sue Loughlin, Brighid Dochartaigh, Malcolm Graham, Fiona Fordyce, David Jones, Katie Whitbread, Andrew Finlayson, Gaud Pouliquen, Tony Irving, и Bill Mclean. Также благодарим наших коллег особенно из Службы разработки и регенерации, Городского Совета Глазго. Данная работа публикуется с разрешения Исполнительного директора Британской Геологической Службы (NERC).

### Литература

- Browne, M.A.E. and McMillan, A.A. [1991] British Geological Survey thematic geology maps of Quaternary deposits in Scotland. *Quaternary Engineering Geology, Geological Society Engineering Geology Special Publication*, 7, 511-518.
- Browne, M.A.E., Forsyth, I.H., and McMillan, A.A. [1986] Glasgow, a case study in urban geology. *Journal of the Geological Society, London*, 143, 509-520. Culshaw, M.G. [2005] From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38, 231-284.
- Jackson, C.R. [2004] User's manual for the particle tracking model ZOOPT. *British Geological Survey Internal Report, CR/04/141N*.
- Jackson, C.R. and Spink, A.E.F. [2004] User's manual

for the groundwater flow model ZOOMQ3D. *British Geological Survey Internal Report, CR/04/140N*. Kessler, H. and Mathers, S.J. [2004] Maps to Models. *Geoscientist*, 14,10, 4-6. Kessler, H., Sobisch, H.G., Mathers, S., Lelliott, M., Price, S., Merritt, J.E., Ford, J., Royse, K., and Bridge, D. [2005] Three Dimensional Geoscience Models and their Delivery to Customers. In: Russell, H.A., Berg, R.C., and Thorleifson, L.H. Three-Dimensional Geologic Mapping for Groundwater Applications. *Geological Survey of Canada, Open File*, 5048, 39-42. Mansour, M.M. and Hughes, A.G. [2004] User's manual for the recharge model ZOODRM. *British Geological Survey Internal Report, CR/04/151N*.

Mellon, P. and Frize, M. [2006] A digital geotechnical data system for the city of Glasgow. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> IAEG International Congress*. Geological Society of London. Merritt, J.E., Entwistle, D., and Monaghan, A. [2006] Integrated geoscience data, maps and 3D models for the city of Glasgow, UK. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> IAEG International Congress*. Geological Society of London. Smith, I.F. [2005] Digital Geoscience Spatial Model Project Final Report. *BGS Occasional Publication*, 9, Keyworth, Nottingham. ISBN 0 85272 520 5.