

**Михаил Иванович  
НИКИТЕНКО,**  
кандидат технических наук,  
доцент,  
заведующий кафедрой  
"Геотехника и экология  
в строительстве"  
Белорусского национального  
технического университета

**Олег Анатольевич ЛАЖЕВИЧ,**  
главный геолог УП "Геосервис"

**Александр Валентинович  
ХАДАРОВИЧ,**  
начальник отдела геодезических  
изысканий УП "Геосервис"

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОМОНИТОРИНГА РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

### MODERN METHODS OF ENGINEERING SURVEY AND GEOMONITORING OF VARIOUS OBJECTS

Статья является вариантом доклада авторов на 9-й Международной геотехнической конференции "Геотехнический мониторинг" (1–2 июня 2009 г., г. Братислава, Словакия), переработанным ими для журнала. В ней приведен ряд современных технологий инженерно-геологических изысканий и геомониторинга, позволяющих создавать трехмерные модели различных объектов, их элементов любой степени сложности. Представлены также геофизические методы геомониторинга окружающей среды. Подчеркнута необходимость научного сопровождения таких видов работ.

This article is a version of the report made by the authors at the 9th International Geotechnical Conference "Geotechnical Monitoring" (June 1-2, 2009, Bratislava, Slovakia). A number of modern technologies of engineering survey and geomonitoring, allowing to create three-dimensional models of various objects and their elements of different complexity have been presented. The geophysical methods have been also given for environment geomonitoring. The necessity of scientific supervision of these types of work has been emphasized.

#### ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в Республике Беларусь происходит интенсивное развитие инженерных изысканий, вызванное как физическим наращиванием объемов нового строительства и реконструкции объектов, так и значительным изменением характеристик строящихся зданий и сооружений.

Увеличение этажности и общей массы надземной части требует нового подхода к проведению инженерных изысканий. Для обеспечения безаварийной эксплуатации таких сооружений, контроля за их осадками, кренами и т. д. необходимо вести постоянные наблюдения (мониторинг).

#### СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ВЕДЕНИЯ ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОМОНИТОРИНГА

Изыскательские организации, в том числе УП "Геосервис", оснащаются современными техническими средствами для проведения инженерно-геологических, инженерно-геодезических изысканий, включающих бурение скважин, зондирование, лабораторные и полевые опытные работы, геофизические и другие виды исследований.

Результаты научных исследований и накопленный в республике опыт применения различных методов зондирования позволяют констатировать высокую эффективность используемых методов для оценки прочностных и деформационных характеристик грунтов с изучением изменения их свойств во времени и пространстве.

Для определения физико-механических свойств грунтов на большой глубине при величине удельного сопротивления под наконечником зонда до 70–100 МПа предприятием была приобретена и успешно использу-

ется установка статического зондирования фирмы "GeoMil Equipment", позволяющая вести исследования на глубине более 50 м при удельном сопротивлении грунта под наконечником зонда 100 МПа и более.

Использование результатов зондирования на больших глубинах без накопления материалов других видов инженерно-геологических и геофизических исследований, лабораторных и иных работ без научно-исследовательского "фундамента" недопустимо. Непонимание того, что одни и те же значения зондирования в разных грунтах и на разных глубинах имеют совершенно иные физико-механические характеристики, приводит к необоснованному выбору конструкций фундаментов, что ведет, в лучшем случае, к значительному удорожанию работ при строительстве, в худшем — к авариям.

Таким образом, для качественной и безошибочной интерпретации результатов статического зондирования на больших глубинах необходим комплекс инженерно-геологических методов исследований с их оптимальным количеством.

Одним из новейших методов изысканий на разных стадиях проектирования и строительства, а также при эксплуатации зданий и сооружений является лазерное сканирование — технология, применяемая для решения различных задач в строительстве: оценка результатов тепловой реабилитации зданий; организация реставрационных работ; инвентаризация; получение основы для создания геоинформационных систем (ГИС), для расчета объемов, даже для прогнозирования и анализа ситуаций. С помощью лазерного сканирования специалистами УП "Геосервис" на договорной основе были проведены работы по созданию трехмерной модели самого известного исторического объекта в регионе — памятника архитектуры второй половины XI века — Полоцкого Софийского собора.



**Рис. 1.** Полоцкий Софийский собор

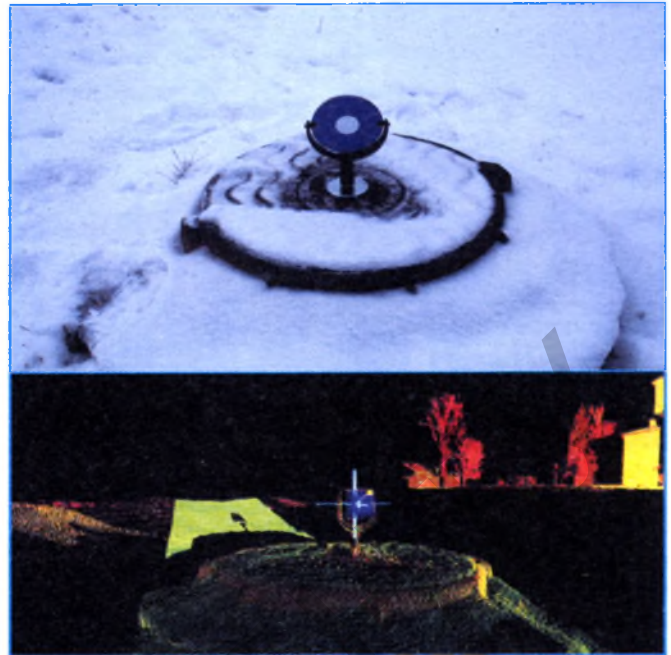
Софийский собор (рис. 1) — самый крупный памятник архитектуры барокко на территории Беларуси. Первоначально храм имел форму куба с ребром 26,4 м, венчали его семь шлемовидных куполов. В 1710 г. в Софийском соборе произошел взрыв порохового склада. При восстановлении, завершенном в 1750 г., древний фундамент, остатки стен и апсид были включены в новую композицию храма. Собор стал представлять собой трехнефную одноапсидную базилику, ориентированную на север. С южной стороны на высоту 57 м поднялись две симметричные башни. В начале XX века был проведен капитальный ремонт храма, после которого в его помещениях разместился музей, а затем — склад. В 1969 г. в Софийском соборе начались реставрационные работы. С 1983 г. в соборе в дополнение к основным функциям действует концертный зал камерной музыки.

Названные выше работы по восстановлению Софийского собора были разделены на несколько этапов (рис. 2–9).

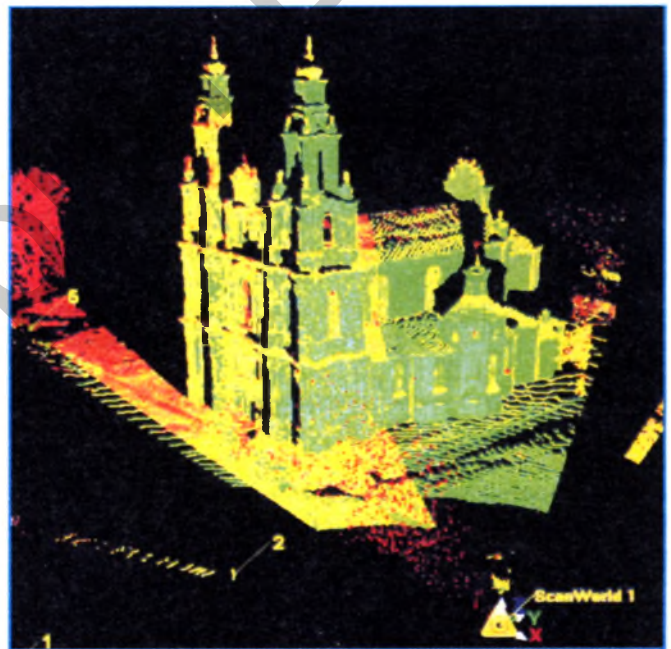
На первом — полевом — этапе было намечено размещение станций сканирования с целью исключения "белых пятен" — неотсканированных участков и специальных марок — опорных точек, по которым позже будет производиться совмещение и уравнивание ("сшивка") сканов. Для получения полной картины станции следовало разместить наиболее оптимально. Кроме того, в каждом скане должны присутствовать минимум три общие марки с соседними сканами, каждой марке задается свой номер. Полевые работы были выполнены в течение двух дней.



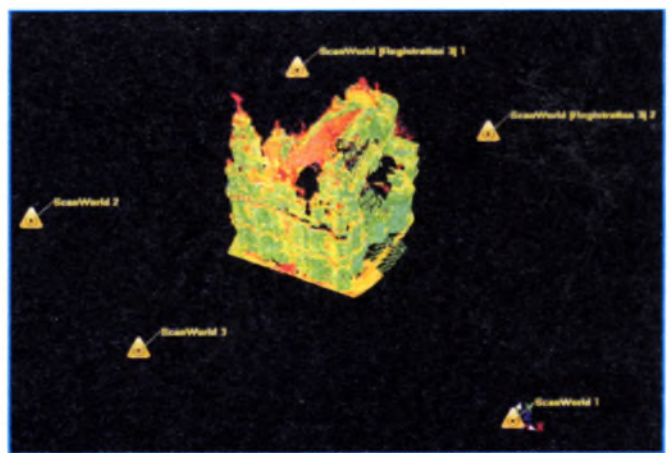
**Рис. 2.** Рабочий комплект: сканер, аккумулятор, портативный компьютер



**Рис. 3.** Марка, распознанная в скане



**Рис. 4.** Скан с первой станции



**Рис. 5.** Схема станций и общее облако точек

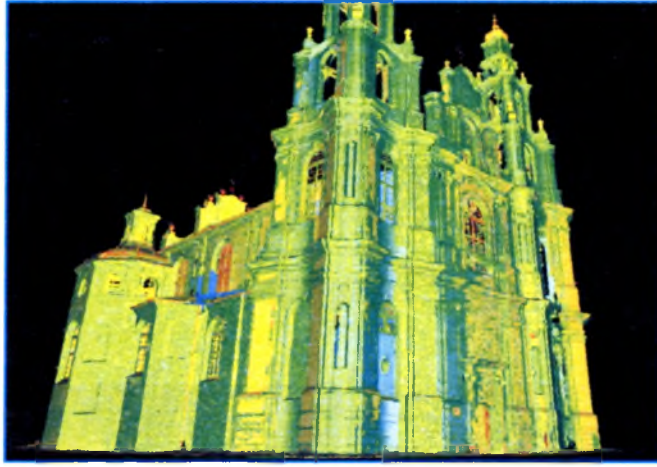


Рис. 6. Модель собора (триангуляционная поверхность)

С пяти станций получили около 10 миллионов точек плотностью один пикет на квадратный сантиметр. Процесс сканирования управлялся с портативного компьютера. Задавались область и плотность сканирования, распознавались марки, регистрировались и сохранялись измерения. Собранный таким образом информация обрабатывалась при помощи программного обеспечения; марки с одинаковыми номерами объединялись в связи, сканы уравнивались в общее облако точек.

Следующий этап — моделирование. Модель строилась при помощи геометрических аналогов, которые вписывались в массив точек (например, трубопровод представлялся цилиндром). Не все объекты, однако, можно описать набором аналогов — в таких случаях применяют функцию построения триангуляционных поверхностей. В рассматриваемом случае использовалась именно эта функция — множество архитектурных элементов собора невозможно описать аналогами — основными геометрическими фигурами — строилась сложная триангуляционная поверхность.

Готовая модель — это универсальное описание объекта, содержащее информацию о площадях поверхностей стен, потолков — полезная функция для расчета расхода строительных материалов при ремонте, тепловой реабилитации здания и др. Выделение двумерной информации из элементов модели — простое и быстрое построение чертежей оконных проемов, карнизов, пилястр. Другие специальные функции позволяют строить точные профили, сечения и разрезы в любой заданной плоскости. По модели собора, при необходимости, можно точно и быстро составить план реставрации, рассчитать потребность в материалах и сроки работ, а также есть возможность спрогнозировать непредвиденные ситуации — степень безопасности на высотных работах и т. п.

Установив высокую плотность сканирования, можно получать подробные модели скульптур, рельефов, прочих сложных интерьерных элементов, которые в изобилии имеются в исторических архитектурных памятниках. Создание моделей — это своеобразная консервация таких объектов, полное и точное их описание (ранее были возможны только фотографии, еще раньше — эскизы, которые, разумеется, не гарантировали соответствия с реальным объектом).



Рис. 8. Разрезы по отдельным плоскостям

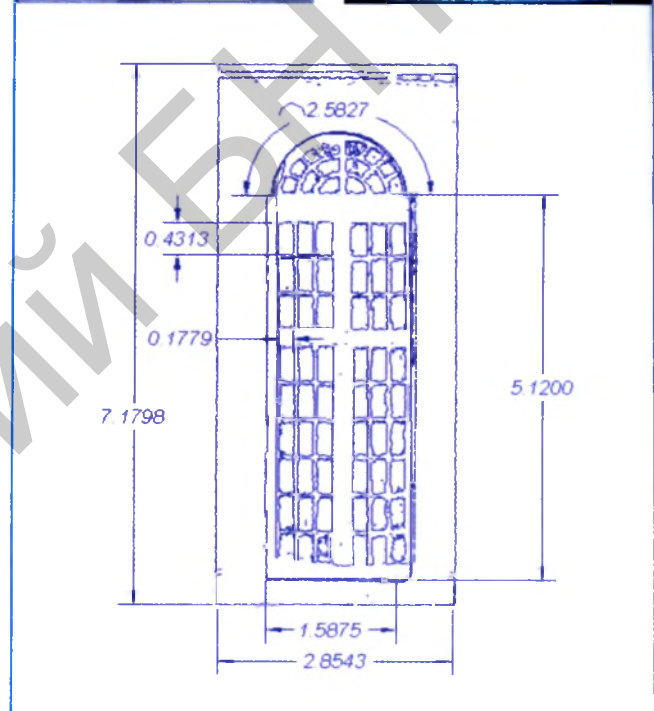
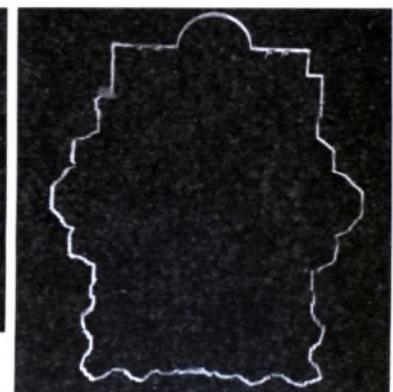


Рис. 7. Фрагмент модели — окно. Фронтальная проекция окна

В УП "Геосервис" применяются и иные геофизические методы геомониторинга: электроразведка методами вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), электропрофилеирование (ЭП), непрерывное радиолокационное профилирование с применением георадара, пенетрационный каротаж (ПК), стандартный каротаж гидрогеологических скважин.



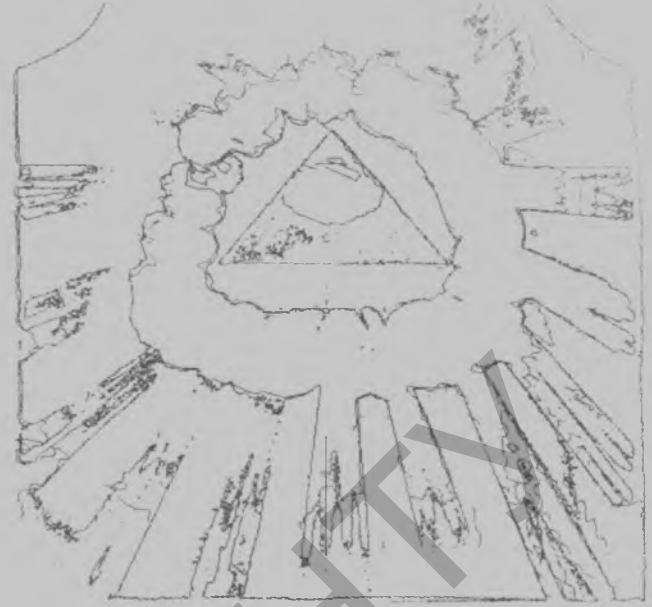
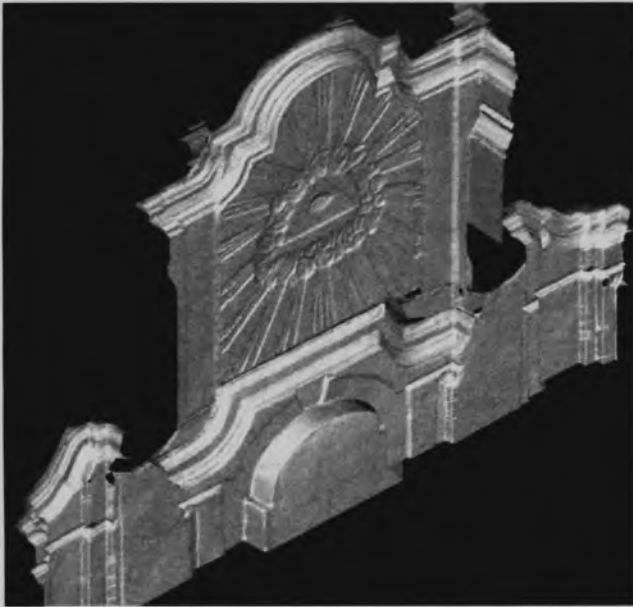


Рис. 9. Модель барельефа на фронте собора, обрисовка барельефа

К элементам модели можно прикреплять аннотации и базы данных — описания произведенных работ, даты, особые замечания.

Вместе с тем, возможности геофизических методов исследований при геоэкологических изысканиях и мониторинге заказчиками используются далеко не в полной мере, несмотря на их доступность и высокую информативность. Примером этого является определение точечных источников загрязнения окружающей среды. Начиная с 1973 года, УП "Геосервис" проводило комплексные исследования на площадках нефтяных скважин объединения "Беларусьнефть" для оценки степени и масштаба загрязнения окружающей среды продуктами бурения. В состав этих исследований входили: электроразведка методом ВЭЗ, ПК, бурение опорных скважин с отбором проб грунтов и воды, лабораторные работы. По материалам площадных ВЭЗ (сетка 25x25 м) выявлялись и оконтуривались ореолы загрязнения пород и грунтовых вод, намечалось местоположение точек ПК, скважин и интервалов опробования. Геофизические параметры коррелировались с данными химического анализа воды и водных вытяжек, строились карты минерализации пород и грунтовых вод.

В период с 1973–1995 гг. с интервалом 2–3 года выполнялись повторные ВЭЗ по совмещенной сетке, что позволило оценить процесс формирования и динамику ореолов загрязнения на площадках нефтяных скважин. На рис. 10 представлены карты изоом по данным ВЭЗ, построенные по результатам многолетних режимных исследований, которые отражают степень загрязнения среды и ее контуры на глубине 5 м. Природное состояние геологической среды до начала бурения скважины отражено картой изоом (1973 год). На глубине 5 м залегают песчаные грунты с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) порядка 100–300 ом, ниже — моренные супеси с УЭС 50–70 ом. Такое изменение УЭС песков

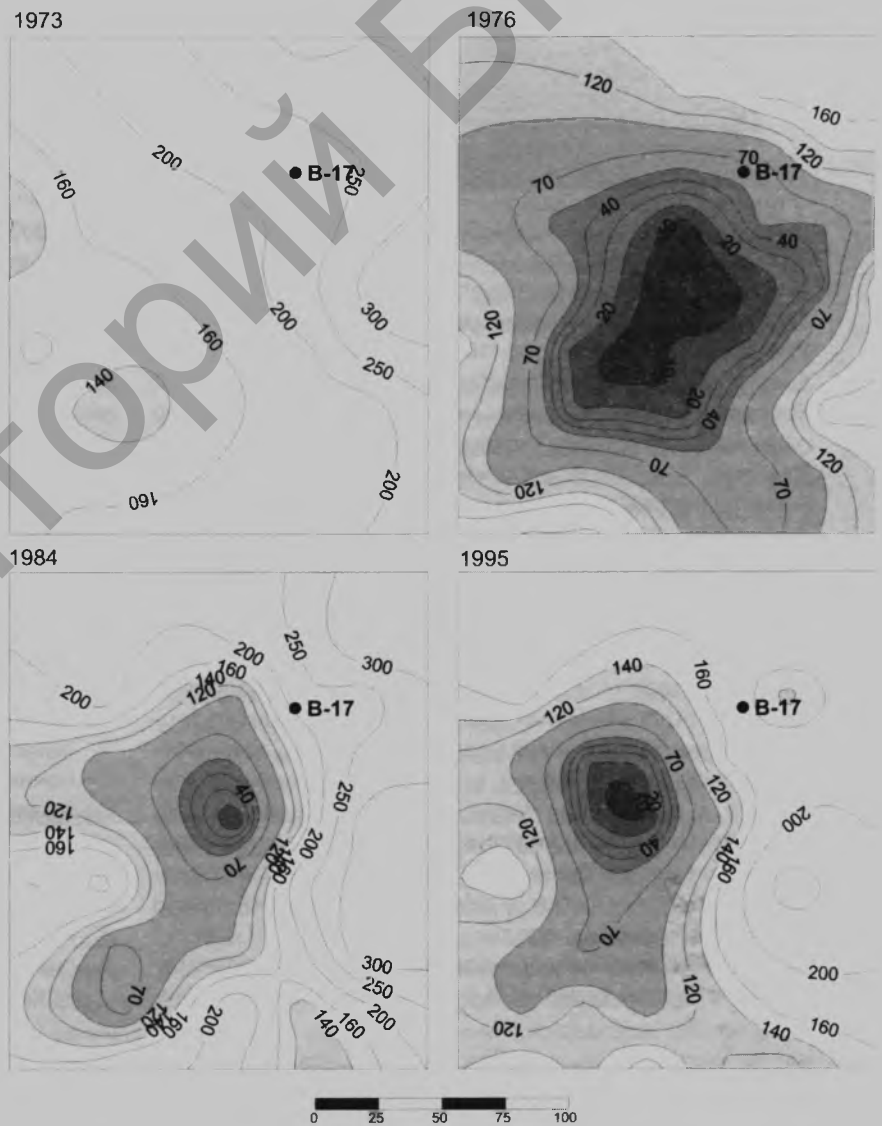


Рис. 10. Карты изоом

обусловлено изменчивостью их гранулометрического состава, наличием глинистости.

Повторные геофизические исследования, выполненные на площадке по совмещенным профилям

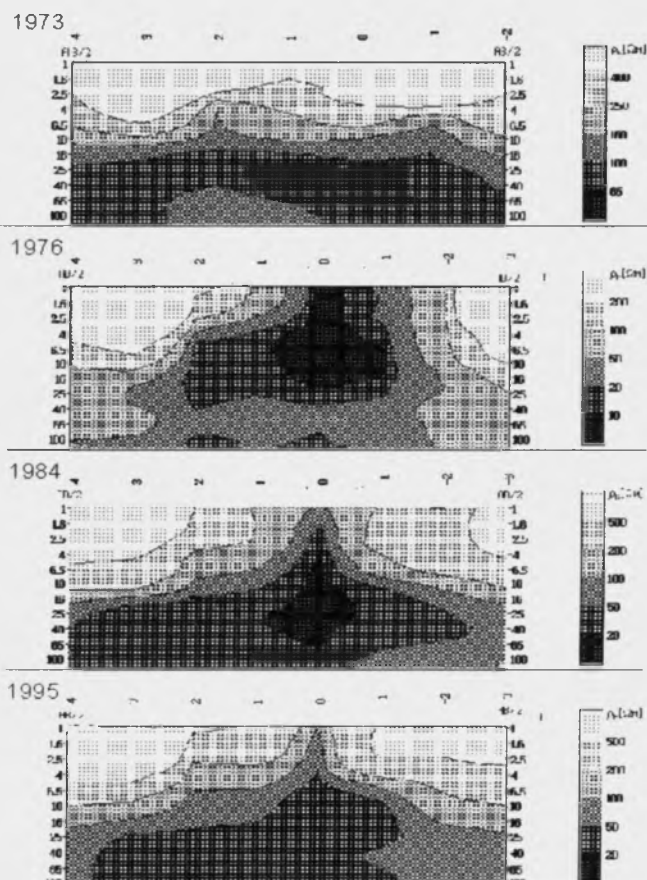


Рис. 11

в 1976 году, свидетельствуют о формировании ореола загрязнения, что подтверждается снижением значения УЭС до 5–10 ом (см. рис. 10). Эпицентр ореола совпадает в плане с хранилищем промывочной жидкости. Распространение загрязнения в плане в последующие годы характеризуется картами изоом за 1984 и 1995 гг. (см. рис. 10). Процесс формирования ореолов загрязнения на глубину наглядно иллюстрируется многолетними разрезами изоом по одиночному профилю, проходящему через эпицентр рассматриваемой площадки (рис. 11).

Многолетние наблюдения на других аналогичных площадках показывают, что процесс формирования и стабилизации ореола загрязнения продолжается от трех до десяти лет, рассоление также довольно длительно (десятилетия). Эти процессы зависят от геолого-гидрогеологических условий площадок, количества атмосферных осадков и, в целом, от условий инфильтрации и растекания минерализованных растворов. Площадь загрязнения и его интенсивность зависят также от объемов источника загрязнения, культуры производства буровых работ и эффективности инженерной защиты окружающей среды.

В процессе геоэкологического мониторинга возникает также задачи, связанные с поисками и оконтуривани-

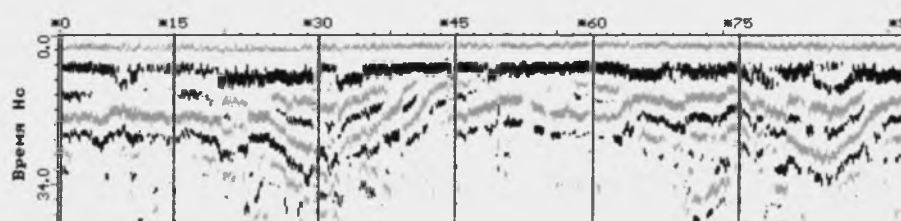


Рис. 12

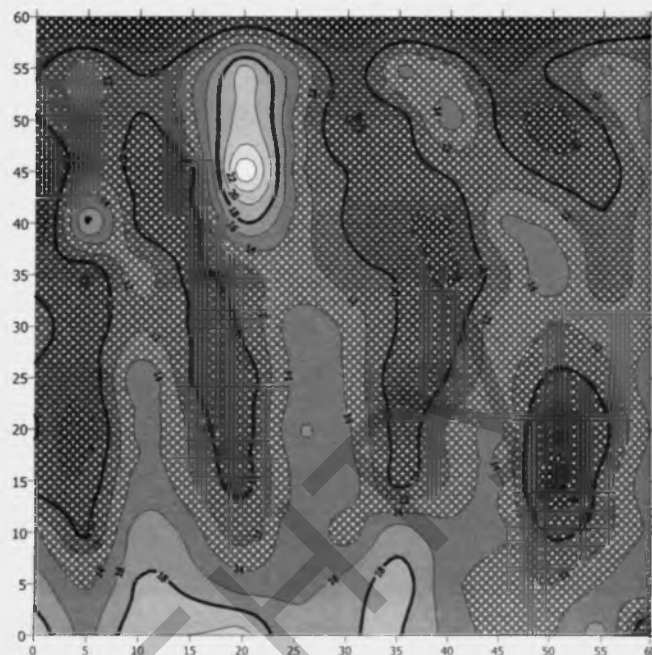


Рис. 13

ем различных захоронений отходов промышленного и сельскохозяйственного производства и оценкой масштабов загрязнения. При их решении, наряду с традиционными электроразведочными методами, применяется непрерывное радиолокационное профилирование. Примеры подобных исследований приведены на рис. 12 и 13. На радиолокационном профиле отчетливо выделяются контуры захоронений в разрезе (см. рис. 12), а по карте изоом (см. рис. 13) они прослеживаются в плане.

Применение геофизических методов в комплексе инженерно-геологических изысканий при проведении геоэкологического мониторинга окружающей среды позволяет значительно повысить эффективность изысканий, способствует рациональному размещению выработок для захоронения отходов производства, определению оптимальных объемов таких отходов для захоронения в конкретных выработках. В целом, эти методы являются действенным средством экологического контроля.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Увеличение объемов строительства и реставрации объектов различного назначения в Беларуси, изменение и усложнение характеристик зданий и сооружений определили необходимость интенсификации инженерно-геологических изысканий, применения современных технологий и технических средств их реализации.
- 2 Возможности современных методов изысканий многими заказчиками до настоящего времени используются не в полном объеме, несмотря на их доступность и высокую информативность.
- 3 Геофизические методы инженерно-геологических изысканий являются также весьма эффективным способом экологического контроля окружающей среды.

Статья поступила  
в редакцию 07.08.2009.