

Анализ современных программных обеспечений для интерпретаций радарограмм

¹*ШАХАТОВА Алия Талгатовна, докторант, shakhatovaa@list.ru,

¹МИРҒАЛИҚЫЗЫ Толқын, PhD, доцент, m_t85@mail.ru,

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Саппаева, 2,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье рассматриваются современные системы Ground Penetrating Radar (GPR), программные обеспечения для приема полевой информации и постобработки, которые приводят к получению трехмерных цифровых карт с географической привязкой. Основной принцип работы программного обеспечения георадара состоит из трех модулей: сбор данных, предварительная обработка данных и визуализация данных. В статье проведен анализ двух популярных на рынке Казахстана программных обеспечений RADEXPRO и ГЕОСКАН. RadExPro – это гибкий современный пакет обработки, подходящий для обработки морских данных HR / UHR, обработки данных сейсмических данных на мелководье (рефракция, отражение, MASW и VSP), а также для контроля качества крупномасштабных данных, в том числе в режиме реального времени и ускоренная обработка. Программа GeoScan32 предназначена для управления прибором подповерхностного зондирования (георадаром), а также для последующей обработки и визуализации получаемой в процессе зондирования информации.

Ключевые слова: интерпретация радарограмм, программное обеспечение, формат SEG-Y, Radexpro, Geoskan-32.

Введение

Большинство приложений в области электроразведки и сейсмологии полагаются на обработку до сотен терабайт данных, и их производительность сильно зависит от операций ввода-вывода данных с георадара [1].

В настоящее время метод электроразведки является одним из самых распространенных способов диагностики и мониторинга горных пород на основе электромагнитных полей.

Сейчас приоритетной отраслью является разработка программного обеспечения, которое позволило бы создать информационную модель по полученным данным георадарного обследования и встроить ее в основную модель программного обеспечения интерпретации данных георадара.

Основной принцип такой работы заключается в непрерывной привязке георадарных профилей на основе математического моделирования. Данный прибор используется во многих областях, таких как археология, освоение космоса и даже в гражданском строительстве. Его главное преимущество – неразрушимость исследуемой среды. Однако это остается дорогостоящим вложением, и количество моделей на рынке остается небольшим. Существуют георадары, работающие по-разному при сборе данных, и в этой работе использовался общий режим смещения. Однако

характеристики радара можно изменить. Электромагнитные свойства почвы и центральная рабочая частота могут уменьшать или увеличивать максимальную глубину исследования. Действительно, чем выше эта частота, тем меньше максимальная глубина исследования. Наша главная задача – способствовать идентификации, путем адекватной обработки данных и выбора подходящего программного обеспечения, объектов, скрытых под землей.

Мировой рынок георадарного оборудования очень расширен. Наиболее популярный георадар в Казахстане – это ОКО-2. Этот прибор начал разрабатываться еще в 90-х годах прошлого века. В настоящее время выпускаются десятки разновидностей ОКО-2 – для автодорог, для железных дорог, для поиска коммуникаций, для обследования зданий и сооружений, для археологии, для геологии, для служб чрезвычайных ситуаций и безопасности, универсальные модели со сменными антенными блоками. Для обработки «сырых» данных георадарной съемки используется специальное программное обеспечение. Оно бывает универсальным, которое может использоваться для разных моделей приборов, например, RadexPro. Уникальное программное обеспечение подходит только для одной модели приборов. Для георадаров ОКО-2 и новой модификации ОКО-3 исполь-

зуется ПО Geoscan 32. Оно имеет удобный и понятный интерфейс на русском языке. Для Geoscan 32 выпущено множество видеоинструкций по обработке данных георадарной съемки.

В процессе обработки данных георадарной съемки часто используется встроенный набор фильтров с фиксированными параметрами, что значительно проще для освоения Geoscan неопытными пользователями. С помощью такой версии Geoscan 32 получают данные прямо «в поле» без камеральной обработки, например, при поиске и картировании подземных коммуникаций с помощью специальной версии георадара ОКО – GeoКарт.

Для опытных пользователей георадара ОКО-2 программное обеспечение Geoscan32 позволяет гибко настраивать применение различных фильтров и режимов для обработки радарограмм.

Обзор обработки данных, полученных с георадаров на основе формата SEG-Y

Основной принцип работы программного обеспечения георадара состоит из трех модулей: сбор данных, предварительная обработка данных и визуализация данных. Все модули взаимодействуют через базу данных, центральную точку в архитектуре системы. Данные моделирования или измерений хранятся в базе данных в необработанном формате. Затем модуль предварительной обработки преобразует их для визуализации. Модуль визуализации показывает пользователю предварительно обработанные данные с помощью трехмерной графики. Визуализация является динамической (визуализация данных изменяется во времени) и позволяет наблюдать несколько свойств процесса – основные показатели электроразведки и т. д.

Данные, собранные во время активных и пассивных сейсмических исследований, могут храниться во многих различных, более или менее стандартных, форматах. Одним из самых популярных является формат SEG-Y, разработанный с 1975 года для хранения однополосных цифровых сейсмических данных на магнитных лентах, а теперь эволюционировавший для их хранения на жестких дисках и других носителях. К сожалению, иногда файлы, заявленные как записанные в формате SEG-Y, не могут быть обработаны с по-

мощью доступных бесплатных или промышленных пакетов [2].

Сравнительный анализ RADEXPRO и ГЕОСКАН

В данной статье будет проведен анализ двух популярных на рынке Казахстана программных обеспечений RADEXPRO и ГЕОСКАН.

RadExPro – это гибкий современный пакет обработки, подходящий для обработки морских данных HR / UHR, обработки данных сейсмических данных на мелководье (рефракция, отражение, MASW и VSP), а также для контроля качества крупномасштабных данных, в том числе в режиме реального времени и ускоренная обработка.

Программа RadExPro зародилась в 1992 году на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, а затем была передана компании вместе с ее первоначальными авторами. Изначально RadExPro активно продавался в России и странах бывшего Советского Союза, а с 2004 года доступен по всему миру. В 2010 году компания заявила, что продала более 400 лицензий по всему миру [3].

RadExPro полностью подходит для построения изображений неглубоких структур при наземных сейсмических исследованиях 2D и 3D с использованием любого типа источника – падения груза, пушек, вибросейсмических аппаратов и других.

Набор доступных алгоритмов включает расчет статики рефракции; кривая линия CDP биннинга; алгоритмы подавления линейного и случайного шума, включая 3D-фильтры; ГСС; деконволюции; автоматические программы статики; интерактивный скоростной анализ; горизонтальный скоростной анализ; миграции до и после стека.

Программа GeoScan32 предназначена для управления прибором подповерхностного зондирования (георадаром), а также для последующей обработки и визуализации, получаемой в процессе зондирования информации.

Программа позволяет:

- записывать данные от георадара в файл;
- производить распечатку радарограмм;
- экспортировать файлы в другие программы обработки;
- проводить послойную обработку;
- представлять данные в 3D формате;

Optional 128 byte SEG-Y Tape Label	3200 byte Textual File Header	400 byte Binary File Header	1 st 3200 byte Extended Textual File Header (Optional)		N th 3200 byte Extended Textual File Header (Optional)	1 or more 240 byte Trace 1 Headers	1 st Data Trace		1 or more 240 byte Trace M Headers	M th Data Trace	Data Trailer 1 or more 3200 byte records (Optional)
--	---	---	---	--	---	---	----------------------------------	--	---	----------------------------------	--

Рисунок 1 – Структура байтового потока файла SEG-Y с N записями расширенного текстового заголовка файла и M трассировками записи

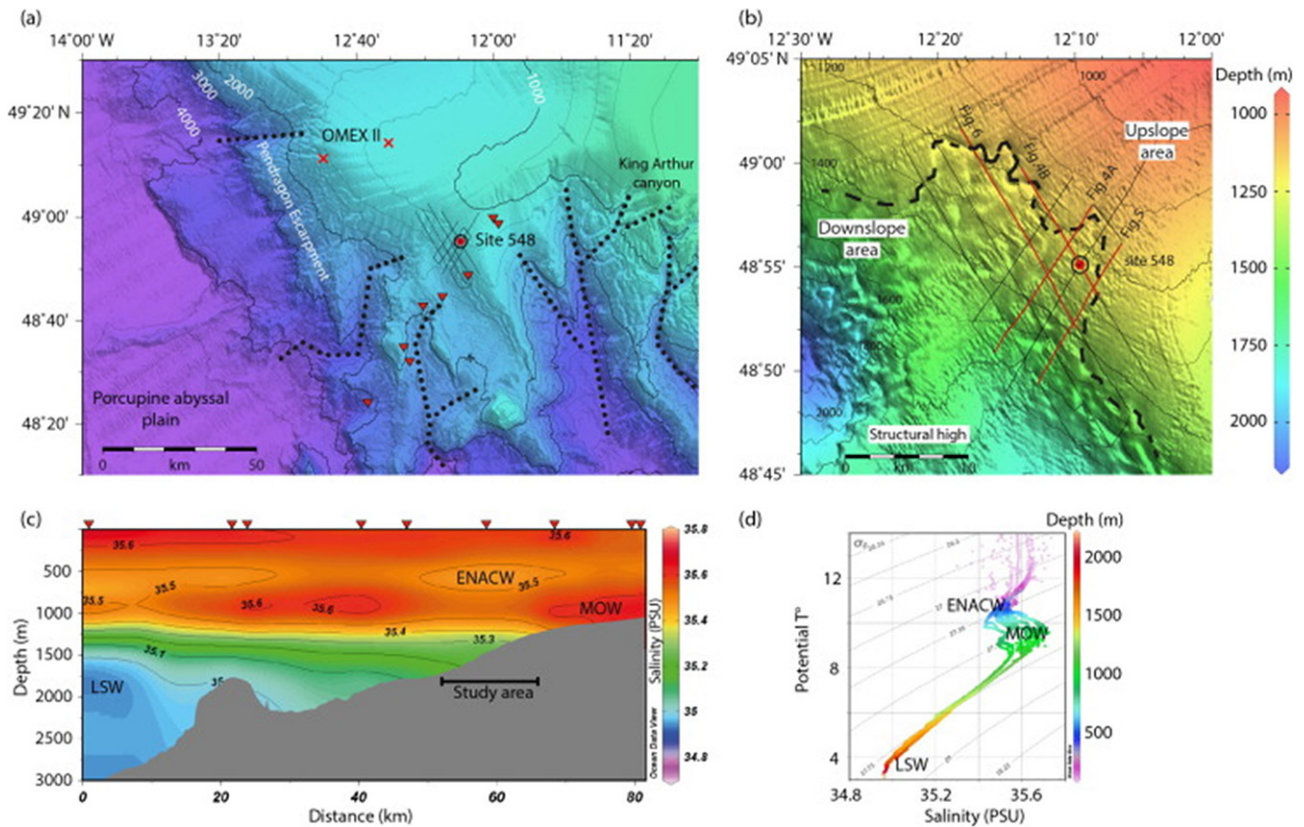


Рисунок 2 – Обработка данных в RadExPro

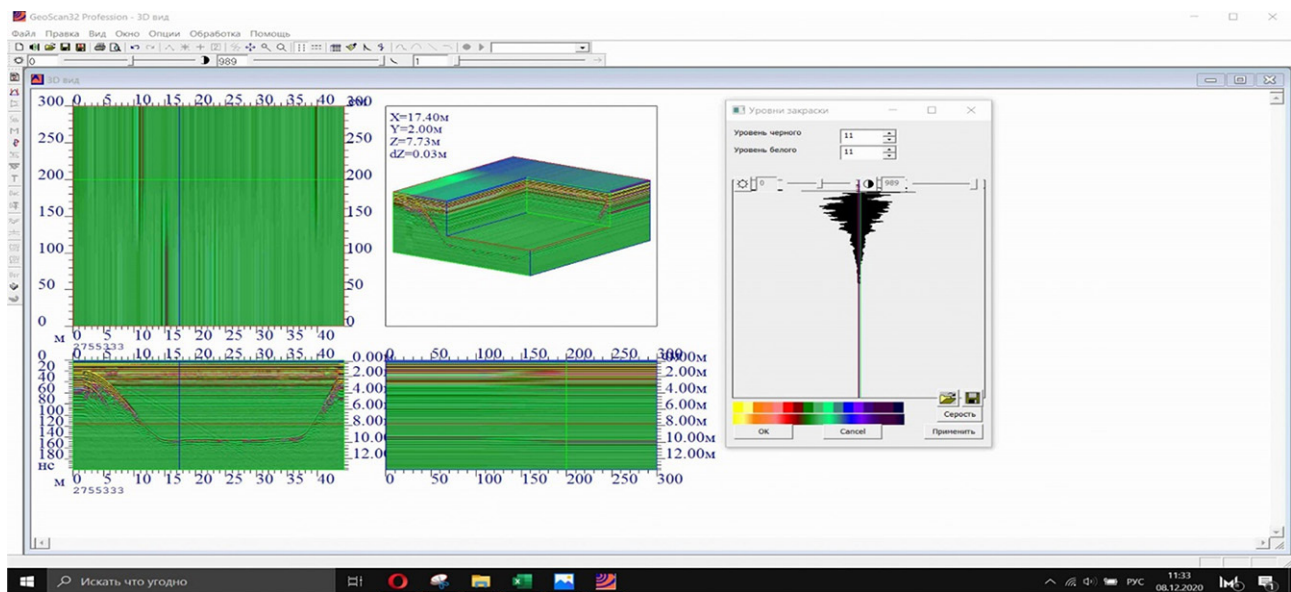


Рисунок 3 – Обработка данных в Geoskan32

- применять цветные палитры для оформления;
- производить обработку файлов и т.д.

Заключение

При обработке и интерпретации данных с георадаров наиболее популярные пакеты обработки GeoScan 32 и RadExplorer 1.4. Сущность обработ-

ки георадиолокационных данных состоит прежде всего в выделении полезного сигнала (осей синфазностей полезных волн) на фоне помех и шума. А затем уже полезные волны, их оси синфазности, амплитуды, частотный состав, общий вид записи и т.д. используются для получения параметров среды. Для выделения полезных сигналов используют отличие их характеристик от соответствующ-

щих характеристик шума и волн-помех. Опираясь на эти отличия, с помощью разнообразных приемов преобразования сигналов, волны-помех

хи стараются ослабить, удалить с записи или хотя бы опознать их на записи и не принимать за полезные волны.

Системные требования к ПО [4]	
GeoScan32	RadExPro
Процессор – программа GeoScan32 работает на персональных компьютерах с процессором Intel x86 или совместимым с ним при рабочей частоте не менее 1500Мгц. ОЗУ – необходимо не менее 512Мб (желательно 4Гб). Видеокарта – не менее 256Мб видео ОЗУ. ПЗУ – для хранения данных желательно наличие до 1 Гб свободного места на диске на каждый час работы. Порты – управление георадаром может осуществляться через порт Ethernet 100 Мбит или WiFi. Операционная система – работа программы GeoScan32 возможна под управлением операционных систем Windows 7, Windows 8, Windows 10.	Минимальные требования процессор Pentium™ 4 и выше, ОС MS Windows 98/Me/NT4/2000/XP, 256 Mb RAM и больше, монитор SVGA и лучше, 30 Mb свободного места на диске для файлов программы РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ: процессор Core 2 Duo; 1 GB оперативной памяти; ОС MS Windows XP или 2000; монитор разрешением 1280×1024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agostin, A. (2007). Cost-benefit criteria for georadar utility mapping methods. Paper presented at the International Society for Trenchless Technology – 25th no-Dig International Conference and Exhibition, Roma 07: Mediterranean no-Dig 2007, 32-43.
2. Barry K., Cavers D., Kneale C. Recommended standards for digital tape formats. *Geophysics* 1975;40(2):344–52. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1440530>.
3. <https://radexpro.com/#clients>
4. https://www.geotech.ru/programmnyj_paket_radexpro_plus/
5. Abiyi, T. A., and Tigistu Haile. "Geophysical Exploration of the Boku Geothermal Area, Central Ethiopian Rift". *Geothermics*, vol. 37, no. 6, 2008, pp. 586-596. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1016/j.geothermics.2008.06.004.
6. Demanet, D., et al. "The use of Geophysical Prospecting for Imaging Active Faults in the Roer Graben, Belgium". *Geophysics*, vol. 66, no. 1, 2020, pp. 78-89. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1190/1.1444925.
7. He, Z., W. Hu, and W. Dong. "Petroleum Electromagnetic Prospecting Advances and Case Studies in China". *Surveys in Geophysics*, vol. 31, no. 2, 2010, pp. 207-224. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1007/s10712-009-9093-z.
8. Slater, L.D., and A. Reeve. "Investigating Peatland Stratigraphy and Hydrogeology using Integrated Electrical Geophysics". *Geophysics*, vol. 67, no. 2, 2020, pp. 365-378. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1190/1.1468597.
9. Eпов, M.I., et al. *Electromagnetic Sounding in Deviated and Horizontal Wells: Mathematical Modeling and Real Data Interpretation*, vol. 3, 2012. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.2118/162034-ms.

Радарограммаларды түсіндірудің заманауи бағдарламалық қамтамасыздандыруларын талдау

¹*ШАХАТОВА Алия Талғатовна, докторант, shakhatovaa@list.ru,

¹МИРФАЛИҚЫЗЫ Толқын, PhD, доцент, m_t85@mail.ru,

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көшесі, 2,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада географиялық анықтамасы бар үшөлшемді цифрлық карталарды алуға әкелетін, дала-лық ақпаратты қабылдауға және өңдеуден кейінгі заманауи Ground Penetrating Radar (GPR) жүйелері талқыланады. GPR бағдарламалық қамтамасыз етуінің негізгі жұмыс принципі үш модульден тұрады: мәліметтерді жинау, мәліметтерді алдын ала өңдеу және мәліметтерді визуализациялау. Мақалада Kazakhstan нарығында екі танымал RADEXPRO және GEOSKAN бағдарламалық қамтамасыз етулері талданды. RadExPro – бұл теңіз-дегі HR / UHR деректерін өңдеуге, таяз су сейсмикалық деректерді өңдеуге (рефракция, шағылысу, MASW және VSP) және нақты уақытты қоса алғанда, деректердің кең ауқымды бақылауына арналған икемді, заманауи өңдеу пакеті және жеделдетілген емдеу. GeoScan32 бағдарламасы жер асты дыбыс шығаратын құрылғыны (GPR) басқаруға, сонымен қатар дыбыс беру процесінде алынған ақпаратты кейін өңдеуге және визуализацияға арналған.

Кілт сөздер: радарограмманы түсіндіру, бағдарламалық қамтамасыз ету, SEG-Y форматы, Radexpro, Geoskan 32.

Analysis of Modern Software for Interpreting Radarograms¹***SHAKHATOVA Aliya**, doctoral student, shakhatovaa@list.ru,¹**MIRGALIKYZY Tolkyn**, PhD, Associate Professor, m_t85@mail.ru,¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, 010008, Nur-Sultan, Satpayev Street, 2,

*corresponding author.

Abstract. The article discusses modern Ground Penetrating Radar (GPR) systems, software for receiving field information and post-processing, which leads to obtaining three-dimensional digital maps with geographic reference. The basic principle of operation of the GPR software consists of three modules: data collection, data preprocessing and data visualization. The article analyzes two popular software RADEXPRO and GEOSKAN on the Kazakhstan market. RadExPro is a flexible, state-of-the-art processing package suitable for processing marine HR / UHR data, shallow water seismic data processing (refraction, reflection, MASW and VSP), and large-scale data quality control, including real-time and accelerated treatment. The GeoScan32 program is designed to control the subsurface sounding device (GPR), as well as for the subsequent processing and visualization of the information obtained during the sounding process.

Keywords: interpretation of radarograms, software, SEG-Y format, Radexpro, Geoskan-32.

REFERENCES

1. Agostin, A. (2007). Cost-benefit criteria for georadar utility mapping methods. Paper presented at the International Society for Trenchless Technology – 25th no-Dig International Conference and Exhibition, Roma 07: Mediterranean no-Dig 2007, 32-43.
2. Barry K., Cavers D., Kneale C. Recommended standards for digital tape formats. *Geophysics* 1975;40(2):344–52. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1440530>.
3. <https://radexpro.com/#clients>
4. https://www.geotech.ru/programmnyj_paket_radexpro_plus/
5. Abiye, T. A., and Tigistu Haile. "Geophysical Exploration of the Boku Geothermal Area, Central Ethiopian Rift". *Geothermics*, vol. 37, no. 6, 2008, pp. 586-596. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1016/j.geothermics.2008.06.004.
6. Demanet, D., et al. "The use of Geophysical Prospecting for Imaging Active Faults in the Roer Graben, Belgium". *Geophysics*, vol. 66, no. 1, 2020, pp. 78-89. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1190/1.1444925.
7. He, Z., W. Hu, and W. Dong. "Petroleum Electromagnetic Prospecting Advances and Case Studies in China". *Surveys in Geophysics*, vol. 31, no. 2, 2010, pp. 207-224. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1007/s10712-009-9093-z.
8. Slater, L.D., and A. Reeve. "Investigating Peatland Stratigraphy and Hydrogeology using Integrated Electrical Geophysics". *Geophysics*, vol. 67, no. 2, 2020, pp. 365-378. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.1190/1.1468597.
9. Epov, M.I., et al. *Electromagnetic Sounding in Deviated and Horizontal Wells: Mathematical Modeling and Real Data Interpretation*, vol. 3, 2012. SCOPUS, www.scopus.com, doi:10.2118/162034-ms.