

Путь в профессию: сейсморазведочная практика МГУ — важный шаг к освоению современных технологий в геофизике

- Турчков А.М., Ермаков А.П., МГУ, г. Москва.
- Воронцов В.В., ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия», г. Уфа.
- Ермаков С.А., ООО «Сейстех», г. Москва.

Полигон в Александровке

Учебно-научная база МГУ им. В.К. Хмелевского, в д. Александровке, Калужская область, — уникальный геофизический полигон, созданный в 1990-х годах для обучения студентов геологического факультета. Расположенный недалеко от Москвы, он славится живописной природой, отсутствием промышленных помех и богатым природным ландшафтом.

Инфраструктура полигона включает капитальные здания, вагон-дома и территория площадью 30 га, что обеспечивает комфортные условия для проживания до 100 человек (Рис. 1).



▲ Рис. 1. Фотография базы с БПЛА.

Полигон активно используется для проведения студенческих практик отделения геофизики Геологического факультета МГУ, геофизического факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Международного университета природы, общества и человека «Дубна». Помимо практик полигон активно используется для проведения геофизических исследований,

испытаний оборудования и научных конференций, включая международные встречи с канадскими коллегами и ежегодную конференцию по малоуглубинной геофизике «Угра». На территории проведения практик расположены уникальные объекты — крупнейшая в мире Барятинская магнитная аномалия, богатая железом, и древние археологические памятники, сохранившиеся со времен неолита.

Геологическое строение района практики до глубин порядка 150–200 метров, которые исследуются с помощью методов сейсморазведки, представлено тремя отделами: четвертичным, нижнекаменноугольным и верхнедевонским. Четвертичные отложения представлены песками, супесями, суглинками, галечниками, реже глинами. Каменноугольные отложения представляют собой сложно построенную толщу — чередованием терригенных и карбонатных морских пачек. Верхний девон полностью сложен карбонатными породами. Основные сейсмические границы, которые выделяются с помощью сейсморазведки на отраженных волнах, — это граница между четвертичными отложениями и каменноугольными на глубине порядка 20–25 метров и граница между нижнекаменноугольными отложениями и верхним девоном на глубине порядка 100–120 метров.

Исторически район связан с важными событиями России: в 1480 году предположительно в окрестности базы произошло стояние на реке Угре завершившее эпоху татаро-монгольского ига; в

годы войны 1812-го проходили партизанские действия; а в годы Великой Отечественной — тяжёлые бои и окружения советских войск. Таким образом, полигон объединяет современную науку, богатое историко-культурное наследие и природное многообразие.

Сейсморазведочная практика в Александровке

Сейсморазведочная практика в Александровке — это важный этап обучения для студентов-геофизиков МГУ. Студенты проходят практику за десять дней, и за это время они имеют возможность впервые по-настоящему попробовать себя в полевых условиях. Место выбрано удачно: вдали от промышленных шумов можно получить данные, свободные от помех, а разнообразие литологических разностей и геологических структур позволяет применять различные методы сейсморазведки для их изучения.

Практика сочетает аудиторные занятия и полевые работы на местности. Студенты делятся на группы и выполняют все этапы настоящих полевых исследований: от планирования и расстановки оборудования до регистрации, обработки и интерпретации данных. Используются разные методики — отражённых, преломлённых, поверхностных волн, а также в рамках сейсмической практики изучается метод георадиолокации. В качестве источников возбуждения в работе применяются кувалды. Для регистрации данных используются современные сейсморегистрирующие системы, применяемые при производстве геофизических исследований в рамках инженерно-геологических изысканий для строительства. Всё это делает процесс обучения максимально приближённым к реальным условиям.

За время практики студенты не только

закрепляют теорию, но и учатся работать с аппаратурой, обрабатывать результаты и интерпритировать полученные сейсмические разрезы. В конце практики студенты готовят отчёт и сдают зачёт. Это опыт, который помогает почувствовать себя будущим специалистом и увидеть, как теория превращается в живую практику. Ниже приведены примеры учебных задачи и результаты их решений.

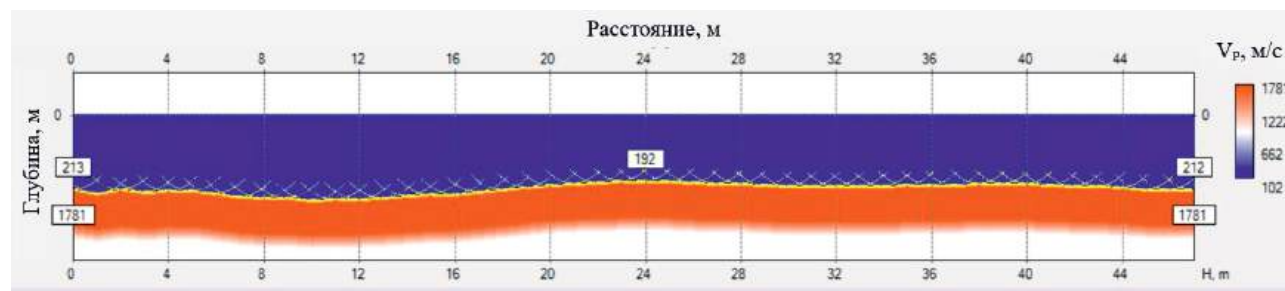
Метод преломлённых волн (МПВ)

В рамках изучения метода преломлённых волн ставится задача о картировании границы увлажнения в слое песка, перекрытом почвой мощностью 20 см. Исследование проводится на берегу реки Воря на двух ортогональных линейных профилях длиной 23 метра. Точка пересечения профилей является контрольной. В этой точке проводится сопоставление вычисленных скоростей распространения волн и глубины преломляющей границы с целью оценки точности расчётов.

Работа МПВ проводится с регистрацией продольных головных волн. Рабочие

▼ *Рис. 2. Возбуждение продольных волн при помощи кувалды.*





▲ Рис. 3. Разрез, полученный МПВ (пояснения в тексте).

моменты возбуждения продольных волн приведены на (Рис. 2). Шаг пунктов приёма — 1 метр, число пунктов приёма — 24. Пункты возбуждения располагаются в начале (0 м), в середине (11 м) и в конце приёмной линии (23 м), а также слева и справа от расстановки (выносы) на расстоянии 10 м. Пример промежуточного результата решения задачи МПВ: глубинный сейсмический разрез по профилю МПВ приведён на (Рис. 3). Желтая линия – граница между «сухим» песком (синий цвет) и «влажносодержащим» песком (красный цвет). Цифрами показаны скорости распространения продольных волн (м/с).

Сейсмотомография (СТ)

Обработка данных метода первых вступлений с помощью сейсмотомографического подхода выполняется на участке с резкими изменениями свойств в верхней части разреза. Задача сводится к обнаружению скоростных аномалий и картированию геологических границ, наиболее контрастных по акустическим свойствам.

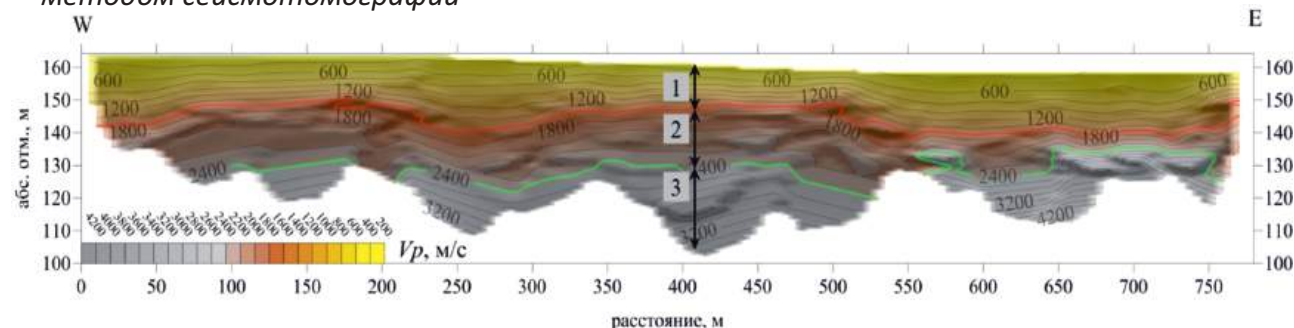
Основные картируемые геологические границы:

- между отложениями четвертичного возраста и ледниковыми отложениями (глубина до 10 метров);
- между ледниковыми отложениями и отложениями нижнекаменноугольного возраста (глубина около 25–30 метров).

Как правило, в течение практики осуществляется съёмка вдоль нескольких линейных профилей длиной до 500 м. Регистрация осуществляется как продольных, так и поперечных сейсмических волн. Шаг пунктов приёма — 2 метра. Пункты возбуждения располагаются на пунктах приёма, а также слева и справа от расстановки (выносы) с шагом 6 или 12 метров.

Пример результата решения задачи методом сейсмической томографии приведён на (Рис. 4). – глубинный сейсмический разрез в изолиниях скорости распространения продольных волн с элементами геологической интерпретации. 1- первый сейсмический слой: постледниковые (новейшие) отложения четвертичного возраста (пески, супеси,

▼ Рис. 4. Сейсмический разрез в изолиниях скорости распространения, полученный методом сейсмотомографии



суглинки); 2 – ледниковые отложения (суглинки, галечники); 3 – каменноугольные отложения (известняки, песчаники).

Метод отражённых волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ)

Наибольшее количество времени на сейсморазведочной практике уделяется методу отражённых волн в модификации общей глубинной точки (МОГТ). Метод применялся для картирования геологических границ, наиболее контрастных по акустическим свойствам. Основные (опорные) картируемые геологические границы:

- граница стратиграфического несогласия между отложениями четвертичного и нижнекаменноугольного возраста (глубина до 20–25 м);
- граница между отложениями нижнекаменноугольного и верхнедевонского возраста (глубина около 100–120 м).

Съёмка МОГТ выполняется как на продольных, так и на поперечных волнах. В течение практики осуществляется съёмка нескольких коротких профилей (200–500 м) или одного длинного (2500–3000 м). В пределах одной расстановки число пунктов приёма составляет 48 или 96, шаг пунктов приёма — 2 или 5 м в зависимости от типа регистрируемых колебаний, канальности станции и требуемой глубинности.

Пункты возбуждения располагаются на каждом пункте приёма или в два раза

реже. Дополнительно располагаются выносные пункты возбуждения слева и справа от приёмной линии с целью достижения максимальной кратности 24 в пределах расстановки. Глубинность исследований в зависимости от типа регистрируемых колебаний достигает от 25 м (центральная расстановка, S-волны) до 150 метров (фланговая расстановка, Р-волны).

Пример результата решения задачи МОВ-ОГТ: временной разрез с элементами геологической интерпретации (Рис. 5). Сейсмическая граница, показанная зеленым цветом, соответствует границе между четвертичными и нижнекаменноугольными отложениями, глубина границы около 25 м; сейсмические границы, показанные желтым и красным цветом, соответствуют одной границе между нижнекаменноугольными и верхнедевонскими отложениями, глубина границы около 110 м. Синим, бордовым и оранжевым цветом показаны прочие сейсмические границы, не имеющие стратиграфической привязки.

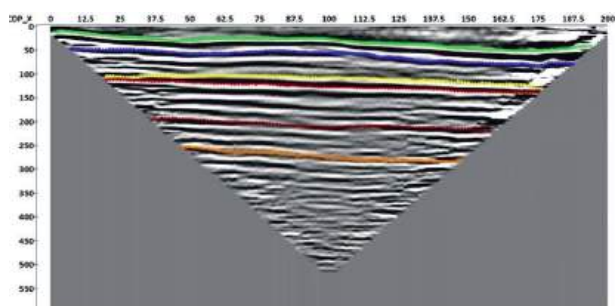
По оси абсцисс отложено расстояние (м), по оси ординат – время (мс).

Георадиолокация (ГРЛ)

Георадиолокация используется студентами для решения нескольких прикладных задач. Одна из них - картирование дна рек и поддонных отложений.

Съёмка на реке проводится с резиновой лодки с электромотором (Рис. 6). В работе применяется георадар «Zond 12e» с антенной 300 МГц, а привязка профилей выполняется по GPS. Средняя скорость движения лодки составляет около 5 км/ч при течении реки примерно 1,5 км/ч. Такой подход позволяет получать чёткие данные о рельефе дна, поддонных слоях и неоднородностях.

▼ Рис. 5. Временной разрез МОВ-ОГТ с элементами интерпретации.





▲ Рис. 6. Выполнение задачи ГРЛ: картирование дна рек и границ поддонных отложений.

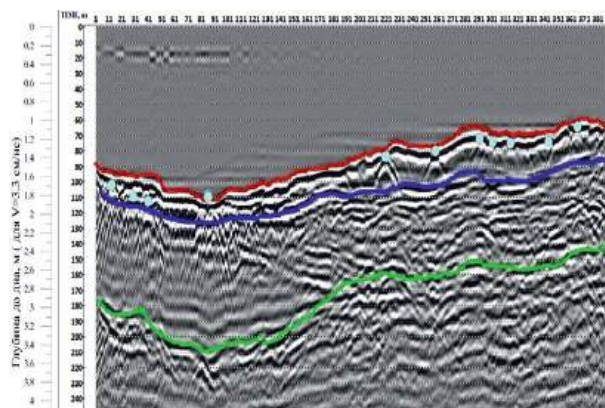
На Рис. 7. приведён пример промежуточного результата георадиолокационных исследований на реке. На динамических разрезах красной линией показана граница "вода-дно". Чуть ниже зелёной линией выделена ось синфазности кратной отражённой волны от этой же границы. Синим цветом показана граница поддонных отложений, а голубые кружки указывают вершины гиперболических дифракций, которые отражают наличие локальных неоднородностей в толще.

На суше георадиолокация используется для решения геотехнических задач: изучение внутренней структуры железобетонных плит, а также поиска подземных коммуникаций.

Таким образом, студенты осваивают полный цикл работы: от сбора георадиолокационных данных до их интерпретации.

Метод поверхностных волн (MASW)

Метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW) применяется для картирования границ в толще дисперсных отложений. Съёмка осуществляется с применением 24- или 48-канальных расстановок, с шагом ПП/ПВ 1–2 м. Для работ методом MASW реализуется фланговая расстановка, источник располагается на выносе 6–12 м.



▲ Рис. 7. Радарограмма по профилю ГРЛ при акваторных исследованиях.

Применение бескабельных сейсморазведочных систем

Учебная практика в Александровке традиционно проводится на аппаратуре, применяемой в малоглубинной и инженерной сейсморазведке. Это современное оборудование российского производства, которое активно используется в производственных условиях (Рис. 8). Благодаря компактности и удобству эксплуатации оно позволяет студентам за ограниченное время освоить все этапы — от полевых наблюдений до камеральной обработки.

В отличие от этого, аппаратура для нефтяной сейсморазведки куда более громоздка, сложна в обращении и требует значительных затрат. Демонстрировать её студентам в рамках короткой практики затруднительно и слишком дорого. Однако особое место среди технологий «большой сейсмики» занимают бескабельные нодальные системы. Они используются в крупных производственных проектах, но при этом отличаются мобильностью и компактностью. Небольшое количество каналов может быть применено даже в учебных целях, что открывает новые возможности для практики.

Впервые такое оборудование появилось на полигоне в Александровке в 2022



▲ Рис. 8. Сейсморазведочная система ЭЛИСС-3 на 48 каналов в рабочий момент.

году, когда компания «Геоспейс Технолоджис Евразия» предоставила его бесплатно для проведения первых опытных работ (Рис. 9). Тогда это были не студенческие практики, а научные исследования, но именно в тот момент стало очевидно, что бескабельные системы можно эффективно применять и в учебном процессе. Особенно показательной была ситуация, когда для работы с относительно большим количеством каналов (около 300) оказалось достаточно

▼ Рис. 9. Бескабельная станция GSX в кузове пикапа.



небольшой команды из 10 человек. Это продемонстрировало высокий потенциал оборудования в учебных целях: оно позволяет студентам почувствовать себя частью реальных производственных проектов и знакомит их с технологиями, которые сегодня широко применяются в мировой сейсморазведке.

Практика студентов с использованием ПАК «Геотом»: новый уровень подготовки специалистов завтрашнего дня

Летняя практика студентов-геофизиков 3-го курса Геологического факультета МГУ в Александровке в 2025 году вышла на новый уровень благодаря внедрению в учебный процесс отечественного программно-аппаратного комплекса «Геотом». Этот современный бескабельный сейсморегистрирующий комплекс, созданный компаниями «Сейстех» и «Геосейс», стал не просто частью учебной программы, а наглядным примером того, как в образование приходят технологии будущего. Сегодня «Геотом» можно по праву назвать совре-



▲ Рис. 10. Сейсморазведочные профили, сформированные системой ПАК "Геотом".

менным стандартом сейсморазведки и оборудованием завтрашнего дня.

«Геотом» представляет собой лёгкий и мобильный автономный полевой блок массой всего 1,6 кг, способный работать свыше ста суток без замены батарей даже в условиях низких температур. Комплекс позволяет вести регистрацию сейсмических сигналов в формате SEG-Y, дистанционно управлять каналами и контролировать состояние батарей, памяти и шумового фона почти в режиме реального времени. Надёжная радиосвязь на расстоянии до 300–500 метров делает систему удобной для работы в самых разных условиях. Универсальный разъём обеспечивает совместимость с любыми сейсмоприёмниками, а простое программное обеспечение на русском языке облегчает настройку и эксплуатацию. При этом «Геотом» разрабатывался с учётом экологических требований — он минимизирует воздействие на окружающую среду, что особенно важно при работах в природных условиях.

В рамках практики студенты под руководством преподавателей и специалистов прошли полный цикл сейсморазведочных работ: от разметки профилей и установки приёмников до возбуждения сигналов, сбора информации и её камеральной обработки (Рис. 10). Впервые

они получили возможность работать с оборудованием, которое не требует кабельных соединений и даёт возможность дистанционного контроля и управления в полевых условиях (Рис. 11).

Пример полевых данных, полученных с применением ПАК «Геотом», приведен на (Рис. 12). В результате обработки данных МОГТ были построены временные разрезы (Рис. 13). На этих разрезах чётко выделяются отражения не только в верхней части разреза до 200 мс, но и на значительно больших глубинах — порядка 400–700 мс. Максимальное отражение на уровне 700 мс при учёте эффективной скорости распространения продольных волн 2500 м/с соответствует глубине около 800 м.

Такая глубинность была достигнута на практике впервые — и это при использовании всего лишь кувалды в качестве

▼ Рис. 11. «Геотом» - дружелюбный и удобный интерфейс, мобильное управление.



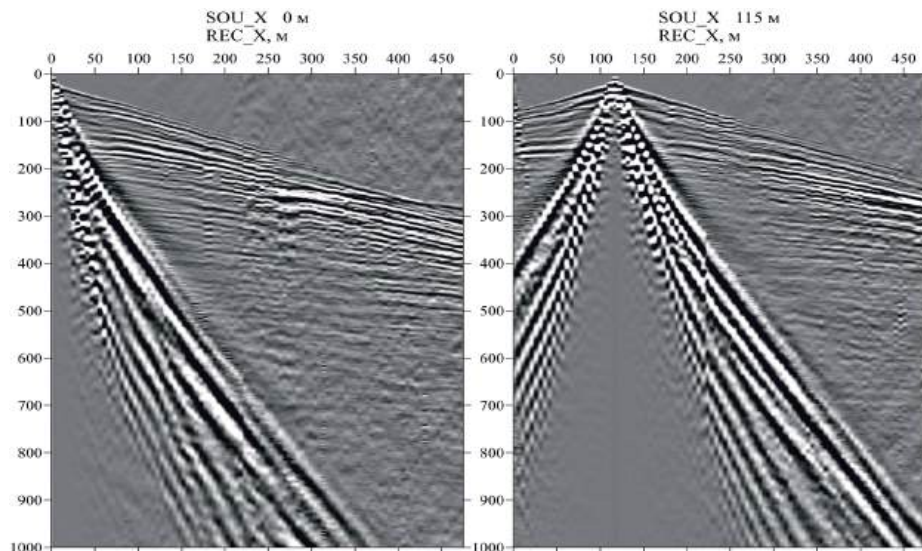


Рис. 12. Сейсмограммы, полученные с использованием ПАК «Геотом».

источника возбуждения и современной бескабельной системы ПАК «Геотом». Подобных результатов раньше студенческая практика не демонстрировала. Полученные данные показали, что даже в учебных условиях можно приблизиться

к уровню настоящих производственных исследований, а сами студенты получили уникальный опыт работы с технологиями, обеспечивающими глубокое зондирование геологической среды.

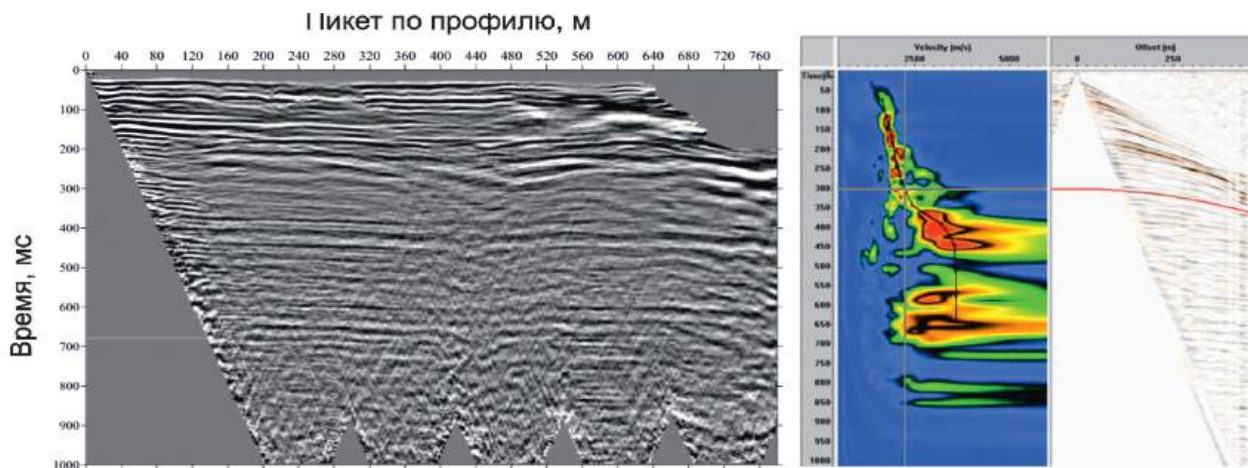


Рис. 13. Временной разрез (слева), полученный с использованием ПАК «Геотом», окно интерактивного скоростного анализа (справа).

Заместитель декана Геологического факультета МГУ по инновациям Михаил Юрьевич Токарев подчеркнул: «Возможность использовать передовые отечественные программно-аппаратные комплексы в рамках учебных практик — важная составляющая подготовки специалистов высшей квалификации для геологоразведочной отрасли. Мы стараемся насытить учебные программы не только стандартными, но и инновационными технологиями сбора и обработки данных».

Таким образом, практика с применением ПАК «Геотом» позволила студентам не только закрепить знания и получить ценные навыки, но и почувствовать, что они работают с технологиями, которые определяют будущее сейсморазведки в России».

Благодарности:

Геофизические практики на Александровской базе проводятся при финансовой поддержке А. Г. Яковлева (ООО "Северо-запад"). Авторы выражают благодарность В.В. Воронцову (ООО "Геоспейс Технолоджис Евразия") и С.В. Гурьеву (ООО "Геосейс") за предоставленное оборудование для проведения учебной практики.