

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОМ УЧАСТКЕ РУДНИКА

М.В. Тарантин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Возможность проводить измерения в автоматическом режиме, без участия человека, в случаях геофизических исследований на потенциально опасных территориях является безусловным преимуществом. Для оперативной аккумуляции, анализа и использования данных при составлении заключения может быть использован любой современный канал передачи данных в центр обработки. Функционирование всех узлов такой распределенной системы контролируется соответствующим программным обеспечением, поддерживающим связь и необходимую обработку данных. В работе приведено описание такого комплекса для системы наблюдений на базе распределенных оптических сенсоров (DAS).

Ключевые слова: рудник, потенциально опасный участок, геофизические исследования, мониторинг, программное обеспечение.

Потенциально опасные участки рудников требуют пристального внимания со стороны наблюдателей. Измерения при геофизических исследованиях в большинстве своем могут проводиться в автоматическом режиме, без участия человека, что в подобных случаях является безусловным преимуществом. Получаемые данные необходимо оперативно аккумулировать, анализировать и использовать для составления заключений. Эти процессы могут быть реализованы с помощью удаленной системы сбора и анализа данных, иногда (частично) совмещенной с регистрирующей аппаратурой.

На одном из потенциально опасных участков рудника в пределах Верхнекамского месторождения солей развернута система скважинного мониторинга на базе оптоволоконных сенсоров [1]. Система состоит из излучателя, оптоволоконной регистрирующей линии и управляющей аппаратуры и предназначена для сбора и хранения параметров оптических сигналов, которые определенным образом характеризуют изучаемую среду. Измерительная система управляется компьютером. Часть своих ресурсов он тратит на нее, часть может предоставить для программы предварительной обработки получаемых данных. Получаемые данные сохраняются на локальный носитель, доступ к которому извне организован посредством компьютерной сети.

Ежедневные измерения предполагают ежедневную же их обработку и анализ. В связи с этим были разработаны программные модули, позволяющие:

- инициировать измерительный процесс;
- приводить получаемые данные в удобный для дальнейшей обработки вид;
- проводить отбраковку получаемых данных;
- выкладывать полученные данные в заранее определенное хранилище;
- на основании заложенной логики обрабатывать данные и получать изменения скоростных параметров изучаемой среды;
- проводить ретроспективный статистический анализ изменений скоростей;
- формировать и отправлять типовый отчет.

Первый из модулей работает на месте измерений и функционирует на базе аппаратуры измерительной системы (рис. 1), второй предполагается удаленным, на месте оператора, следящего за состоянием среды.

Все наблюдения выполняются в ночное время, когда основные работы на руднике не ведутся. Это позволяет снизить шумовой фон регистрируемых данных. Регистра-

ция оптического сигнала идет постоянно, но в определенное время система из пассивной переходит в активную: управляющая программа включает излучатель, выдающий серию из некоторого заданного количества импульсов через равные промежутки времени. Соответствующие отклики регистрируются и записываются как единичные сейсмические трассы. Всего в серии наблюдений предполагается 100 таких импульсов и трасс, однако по различным причинам их может быть меньше. В таком случае программа обработчик отправляет сигнал аппаратной части системы о необходимости провести серию наблюдений. Команда обрабатывается, и излучатель вновь выдает серию из 100 импульсов, а регистратор записывает 100 трасс-откликов на эти импульсы. Такая итеративная схема позволяет получать необходимую минимальную кратность трасс, что положительно сказывается на соотношении сигнал/шум для получаемых данных (рис. 2).

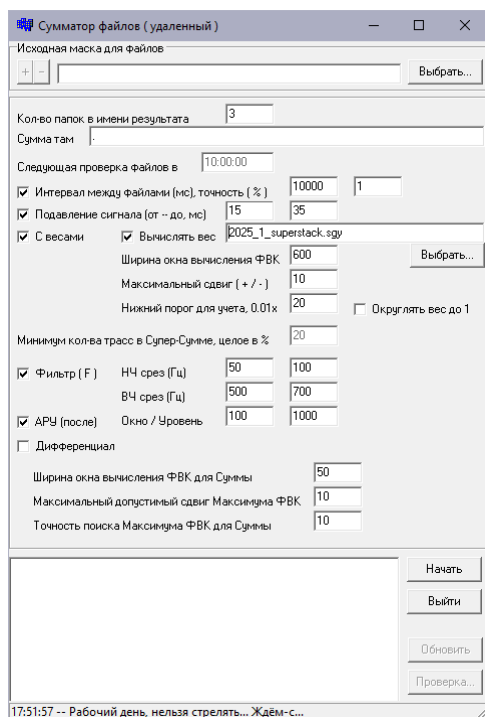


Рис. 1. Внешний вид модуля накопления ежедневного сигнала

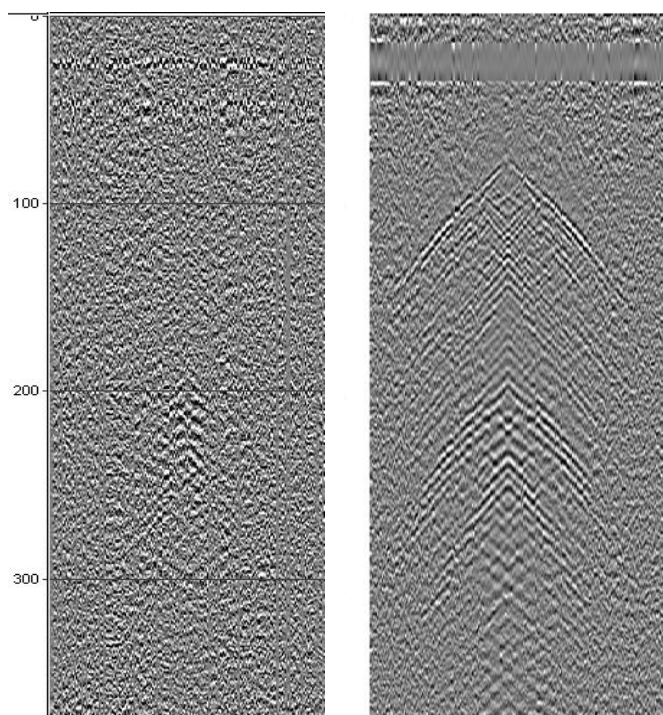


Рис. 2. Фрагмент волнового поля единичной реализации (слева) и с кратностью 100 (справа)

Общение программного модуля с аппаратной частью системы реализовано через http-сервис и предусматривает два параметра: узнать текущий статус и переключить текущий статус.

Если зарегистрировано достаточное количество трасс, можно переходить к их анализу. Каждая реализация трассы сравнивается с некоторой эталонной, которая является суммой подобных реализаций за большой промежуток времени. По априорной информации за этот промежуток времени никаких изменений в среде и ее свойствах не происходило, что позволяет выбрать эти свойства за референсные. Сравнение с эталоном производится для удаления из общего набора трасс тех, которые по каким-то, скорее всего аппаратным, причинам не содержат полезного сигнала и потому не информативны. В среднем таких трасс набирается около половины от общего количества. При этом неинформативность одной трассы в файле не распространяется на весь файл единичной реализации.

Для количественной характеристики качества трассы вычисляется коэффициент ее похожести на эталон – коэффициент Пирсона. На основании проведенного анализа вы-

брано пороговое значение, ниже которого сигнал трассы считается шумом. Параметры суммирования, такие как количество информативных трасс в сумме, их общий или средний вес, записываются в суммарный файл.

Такая операция известна как когерентное суммирование или когерентная фильтрация [2]. В данном случае это весовое когерентное суммирование [3], его применение позволило существенно повысить видимость регулярных волновых форм в общем поле.

Предусмотрен случай, когда все единичные трассы существенно отличаются от эталонной, выходя за предельные рамки отличий. В таком случае считается, что сигнал по какой-то причине сильно изменился, например, изменились свойства интервала породного массива, и за результат принимается простая сумма всех единичных реализаций. Такой вариант суммирования предполагает возможность изменения свойств изучаемой среды в больших временных масштабах. Дальнейший анализ будет проведен другим модулем, в соответствии с возможными допустимыми временными вариациями скоростей.

Все получаемые трассы проходят определенную стандартизацию – подвергаются частотной фильтрации для выделения полезного набора частот и выравниванию амплитуд.

Просуммированные трассы считаются результирующими данными и выгружаются по указанному адресу (пути), откуда, например, отправляются по почте другим модулем всем заинтересованным получателям.

Результирующий файл представляет собой очищенный сейсмический файл, содержащий минимум шумов и максимум полезной информации. В настоящей работе нас интересует вариативность первых вступлений от одного файла (дня) к другому и тренд их изменений.

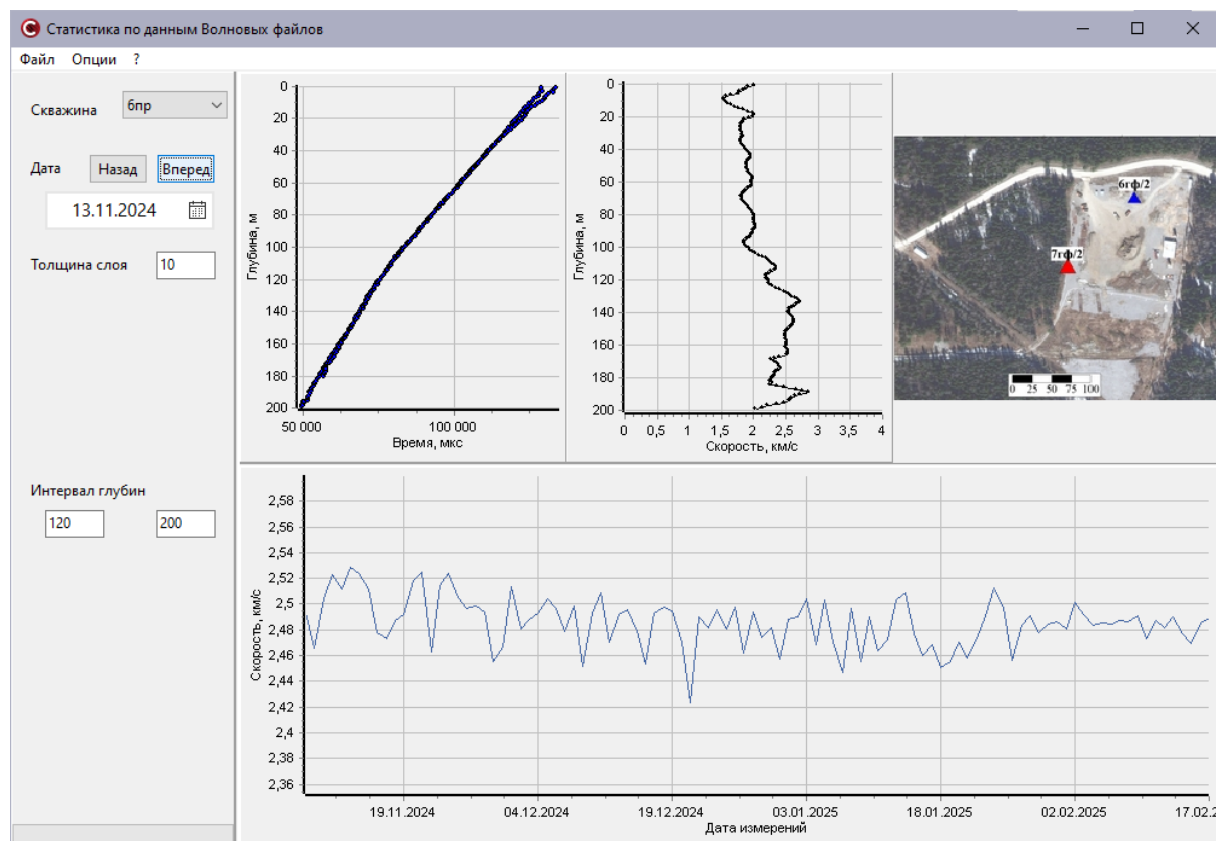


Рис. 3. Внешний вид модуля статистической обработки

Для статистической обработки ряда измерений предназначен другой модуль (рис.3). Он принимает в качестве исходных данных множество суммарных файлов, строит по каждому из них согласно известной геометрии системы измерений и примерному положению первых вступлений скоростную характеристику и проводит анализ ее вариаций. В настоящее время производится наблюдение за средней скоростью в небольшом интервале глубин: вычисляется среднее во временном окне и отклонения; при значительных отклонениях интервал помечается как требующий внимания со стороны оператора.

По загруженным из файлов данным можно увидеть рассчитанные скоростные характеристики для каждого наблюдательного интервала в выбранный день и динамику их изменений за все время наблюдений в заданном интервале глубин.

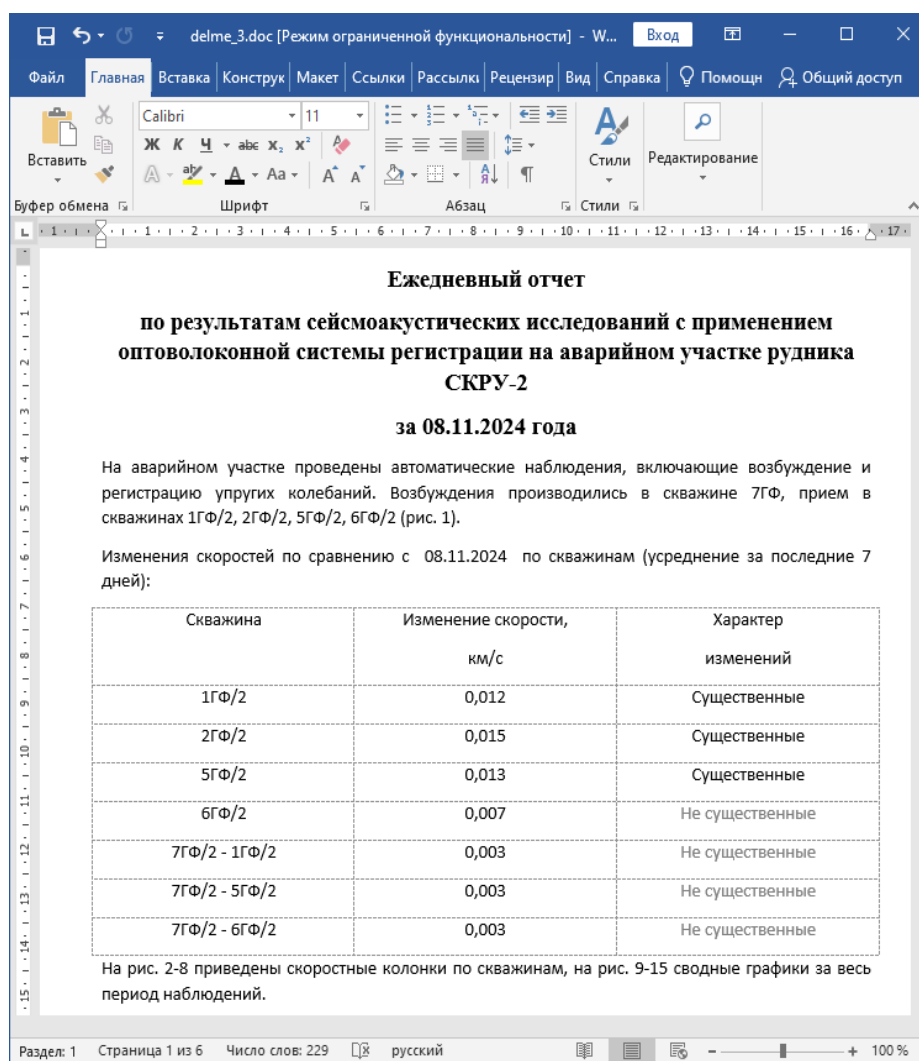


Рис. 4. Фрагмент формируемого ежедневного отчета

В ежедневный отчет включаются получаемые скоростные кривые и характер изменений скорости в выбранном интервале за большой промежуток времени (или за все время наблюдений) для визуального контроля. Формируемый файл (рис. 4) формата Microsoft Word сохраняется в указанное место, откуда может быть отправлен электронной почтой.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер 122012000401-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чугаев А.В., Санфиров И.А., Кузнецов А.И., Богданов Р.А. Скважинный сейсморазведочный мониторинг породного массива с применением оптоволоконных распределенных акустических датчиков // Наука и технологические разработки. – 2023. – Т. 102, № 4. – С. 50-63. – DOI: 10.21455/std2023.4-3.
2. Бережнев Я.М., Беловежец Н.Н., Рукавишников Г.Д. Извлечение поперечной сейсмической волны из записей сейсмического шума на Таштагольском железорудном месторождении методом пассивной интерферометрии // Геофизические технологии. – 2024. – № 3. – С. 65-73.
3. Санфиров И.А., Чугаев А.В., Трапезникова А.Б., Тезикова А.Д. Направления развития сейсморазведочного мониторинга водозащитной толщи действующих соляных рудников // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 27-31. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.04.

УДК 550.831.016

DOI:10.7242/echo.2025.2.4

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ
ПОРОД ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ В РАЙОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ОЗЕРА
ПО ДАННЫМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Г.В. Простолупов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На территории техногенного озера Верхнекамского месторождения калийных солей с 2016 года с периодичностью в 2-3 года проводятся мониторинговые гравиметрические наблюдения. Получена серия карт динамического гравитационного поля. В работе, помимо данных изменения поля во времени, изучены карты гравитационного поля в редукции Буге, проведено их сравнение. Участок исследований находится на подработанной территории, в сложной геодинамической обстановке. Обнаружена значительная изменчивость поля от года к году даже для гравитационных аномалий в редукции Буге. Аномалии динамического поля на фоне аномалий в редукции Буге сосредоточены в большей степени в районе обширных нединамических аномалий. Замечен блуждающий характер расположения динамических аномалий в периодах наблюдений. Сделаны выводы о необходимости включать в мониторинговые исследования трансформанты наблюденного поля в редукции Буге.

Ключевые слова: мониторинг, аномалия, гравитационное поле, оседание, техногенное озеро, трансформанты, интерпретация.

На Верхнекамском месторождении калийных солей на территории техногенного озера с 2016 года с периодичностью в 2-3 года проводятся мониторинговые гравиметрические наблюдения. Ранее были исследованы динамические аномалии в периодах наблюдений в периодах 2016-2018, 2018-2021 и 2021-2023 гг. Обнаружены циклы «разуплотнение – оседание – уплотнение» [1], которые заключаются в инверсии знака динамических аномалий и объясняются процессами разуплотнения-уплотнения и оседания земной поверхности. На начальном этапе происходит разуплотнение, что соответствует отрицательной аномалии. Оседание земной поверхности над зоной разуплотнения приводит к уплотнению пород, что фиксируется положительной динамической аномалией силы тяжести. Это свидетельствует об интенсивной динамике – прекращении процесса разуплотнения пород и начале нового цикла «разуплотнение пород – оседание – уплотнение пород» верх по разрезу с затухающим характером [2].

Результаты мониторинга представляют собой относительные величины. Для расчета динамических аномалий используются только инструментальные наблюдения, без внесения поправок. Также интересно рассмотреть и абсолютные величины – сами гравиметрические карты в редукции Буге в каждом цикле наблюдений. Изменения конфигурации изоаномал заметны уже в наблюденном поле, что говорит о сильной неустойчивости плотностного состояния пород.