

УДК 621.396.96:622.1

**Д.В. Саввин, Л.Л. Федорова, А.В. Омельяненко**  
**ДИНАМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ**  
**ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ МЕРЗЛОГО**  
**ГОРНОГО МАССИВА НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ**

*Представлены исследования по совершенствованию программно-аппаратной базы георадиолокаторов и разработка методики (алгоритма) обработки георадиолокационных данных для определения особенностей геологической структуры и свойств мерзлого горного массива месторождений криолитозоны.*

*Ключевые слова:* георадиолокация, мерзлые горные породы, неоднородность.

---

**Д**ля обоснования рациональной технологии добычи месторождений полезных ископаемых, обеспечивающей безопасность горных работ и снижения их себестоимости, требуется получение оперативной и достоверной информации о строении и состоянии разрабатываемого массива горных пород.

Массив мерзлых горных пород представляет собой совокупность различных типов пород, отличительной чертой которых является наличие сезонномерзлых, таликовых зон, ледяных включений и криопэгов. В этих условиях любые изменения их физических свойств и вещественного состава как под действием техногенного, так и природного характера ведет к образованию так называемых неоднородных структур. При геологоразведочных работах для изучения структурных особенностей массива горных пород используют известные пенетрационные методы как проходка шурfov и бурение скважин, позволяющих получить только общую картину горно-геологического строения месторождения. Для получения более детальной информации необходимо значительно повысить плотность доразведочной сети, что существенно увеличивает стои-

мость работ и трудозатраты. В настоящее время при доразведке месторождений полезных ископаемых все более доминирующее положение занимают геофизические методы. Современные геофизические методы исследований характеризуются высокой производительностью и относительно низкой стоимостью работ.

Анализ полученных к настоящему времени результатов применения геофизических методов показал, что наиболее оперативным и результативным методом на вечномерзлых горных породах и грунтах является георадиолокационное зондирование (ГРЛ). Тем не менее, известное на данный момент представление и обработка георадиолокационных данных не позволяет в полной мере использовать ее возможности в комплексе с другими геофизическими методами. Для повышения эффективности применения георадиолокации в комплексе геофизических исследований массива мерзлых горных пород необходимо совершенствование программно-аппаратной базы метода и разработка методики (алгоритма) обработки георадиолокационных данных для совместного анализа данных геофизического комплекса.

Для задач горного производства к структурным неоднородностям массива пород в условиях криолитозоны можно отнести: наличие слоев с различным заполнением, нарушенные, разуплотненные грунты, трещиноватость и т.д. Для георадиолокации эти неоднородности по электрофизическим свойствам являются контрастными средами, а также источником кратных волн — переотражений, которые при фильтрации в частотной области удаляются с частью полезной информации о разрезе и затрудняют дальнейший процесс обработки и интерпретации данных. В этих условиях для выделения реальных отражающих границ и построения обобщенной геоэлектрической модели предлагается использовать данные метода электрического зондирования (ВЭЗ). Этот подход нами программно реализован и широко используется для обработки данных георадиоло-

кации мерзлого горизонтально-слоистого разреза. Например, при совместной инверсии данных ВЭЗ и ГРЛ значения электросопротивлений определяют коэффициенты коррекции амплитуд при процедуре компенсации затухания георадиолокационных сигналов с целью выявления отражающих границ (рис. 1).

Для подавления основных помех уже на стадии георадиолокационной съемки предлагается разработка программно-аппаратной процедуры динамической фильтрации переотражений на неоднородностях мерзлого массива горных пород. На первом этапе по результатам ВЭЗ строится геоэлектрический разрез, далее по данным значений электросопротивлений производится установка параметров аппаратуры георадиолокационного профилирования. Блок-схема предлагаемой динамической фильтрации представлена на рис. 2.

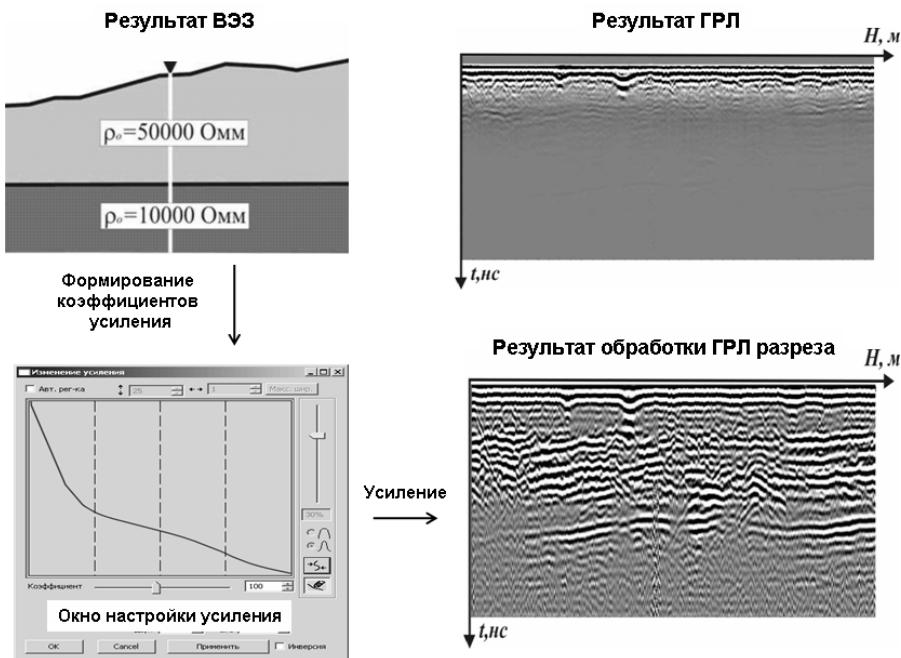
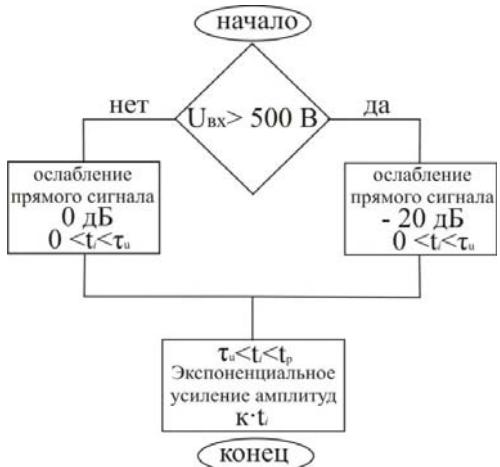


Рис. 1. Пример использования данных ВЭЗ для анализа георадиолокационного разреза (аппаратура АБ-150, ООО «ЛогиС»)



**Рис. 2. Блок-схема двухуровневой динамической фильтрации:**  $U_{\text{вх}}$  — амплитуда зондирующего импульса;  $k$  — коэффициент усиления;  $\tau_u$  — длительность импульса;  $t_p$  — время развертки;  $t_i$  — время регистрации сигнала

Для мерзлого горизонтально-слоистого разреза потери на формирование поля и распространение фронта волны предлагаются компенсировать двухуровневой временной регулировкой усиления по входу антенного усилителя. Первый уровень — для защиты усилителя от прямого воздействия зондирующего сигнала, с целью устранения эффекта перезагрузки приемного тракта во время излучения генераторной антенны. Для георадиолокаторов с амплитудой зондирующего импульса ( $U_{\text{вх}}$ ) больше  $500 \text{ В}$  применяется ослабление прямого сигнала на  $-20 \text{ дБ}$ . Через время  $\tau_u$  усилитель открывается и его усиление достигает расчетной величины на максимальных временах регистрации сигналов  $t_p$  по заданному программой закону компенсации (экспоненциальному) потерь на формировании поля — второй уровень.

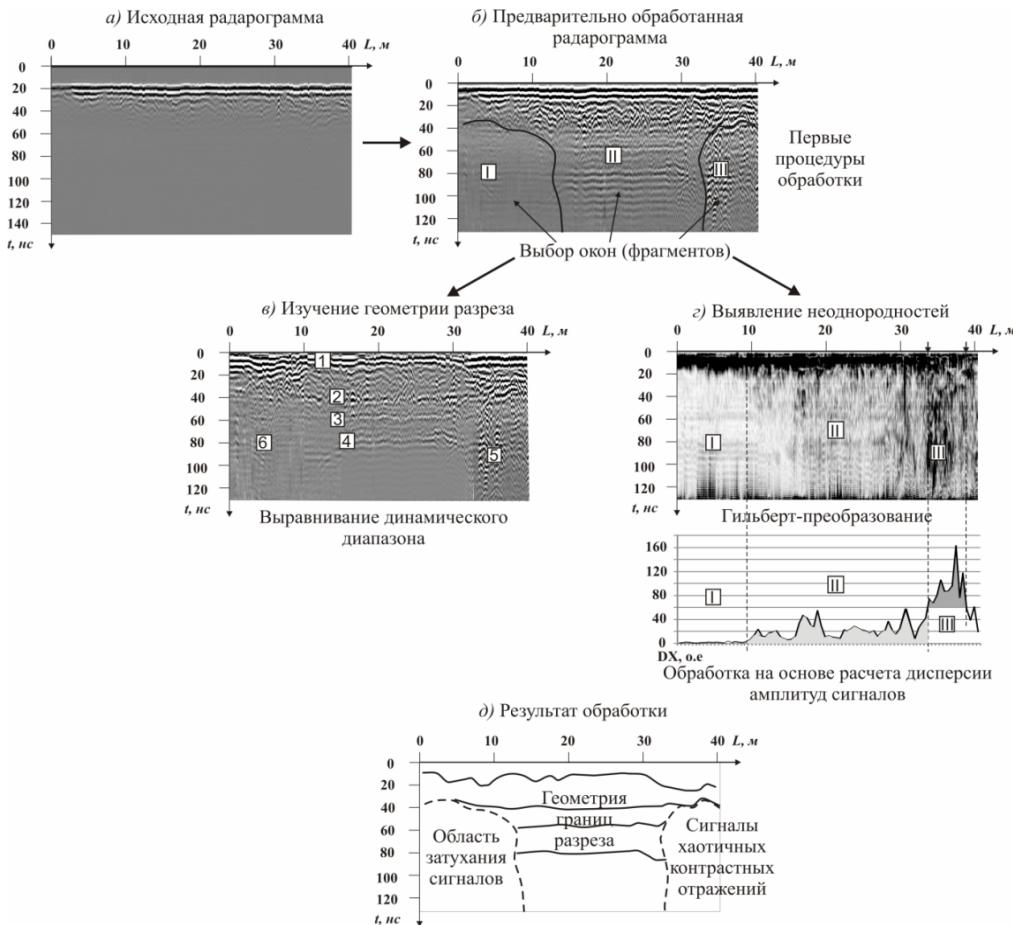
В результате на стадии измерений представляется возможным не регистрировать помехи в слоях, так как энергетически помехи не попадают в

сжатый динамический диапазон регистрации аппаратуры.

В более сложном случае, когда объект поиска имеет непростую конфигурацию, для георадиолокации на стадии камеральных работ предлагается алгоритм обработки в выбранном окне (фрагменте) (рис. 3). Суть методики заключается в выборе фрагментов разреза по задачам исследований и применением определенного алгоритма процедур обработки для выделения искомого объекта.

Для задач изучения геометрии границ разреза и выявления неоднородностей мерзлых горных пород на первом этапе применяются процедуры обработки, включающие редактирование исходных данных, коррекции затухания амплитуд, подавление помех и ввод статических поправок. По предварительно обработанной радарограмме определяются окна (фрагменты), в которых применяются процедуры более глубокой обработки. В процессе выделения геометрии границ разреза применяются процедуры деконволюции, обратной фильтрации, а также выравнивание динамического диапазона с помощью введения коэффициента усиления сигналов. Для выделения сигналов от неоднородностей применяется Гильберт-преобразование, для определения азимутальной точности и значимости аномальной зоны — расчет амплитудного разброса (дисперсии) георадиолокационных сигналов.

Как видно на рис. 3 расчет дисперсии сигналов азимутально определяет зоны аномальных георадиолокационных сигналов, приуроченных к различным свойствам среды. На данном рисунке приведены результаты, полученные с использованием аппаратуры ОКО-2 с антенным блоком АБ-400 с центральной частотой 400 МГц (ООО «ЛогиС»).



**Рис. 3. Последовательность применения алгоритма фрагментарной обработки георадиолокационных сигналов для совместного анализа данных геофизического комплекса:** 1—4 — границы раздела сред; 5 — контрастные сигналы отражения; 6 — область затухания сигналов; I—III — выделенные фрагменты разреза

Расчет дисперсии также целесообразно использовать для корреляции данных георадиолокации с другими геофизическими методами, в особенности с картами электропрофилирований и автоматизации обработки для картирования аномальных зон, связанных с нарушенностями структуры.

Опыт георадиолокационных исследований показал, что в мерзлых рыхлых отложениях, зоны неоднородных нарушенных структур на георадиолокационных разрезах выделяются областями хаотичных контраст-

ных сигналов — отражений. В качестве поискового критерия предлагается использовать наибольшее значение дисперсии амплитуд георадиолокационного сигнала по профилю (DX) [1]. Данная методика обработки апробирована в комплексе горногеологических изысканий при доразведке россыпного месторождения (ОАО Алмазы Анабара). При комплексной обработке данных электроразведки ДЭМП и ГРЛ выделены области максимальной корреляции аномальных значений электросопротив-

лений по ДЭМП и наибольших значений дисперсии сигналов ГРЛ, что позволило уточнить границы аномальных зон и составить карту контура россыпи. Результаты геофизических исследований хорошо сходятся с данными геологического опробования и подтверждены отработкой россыпи по указанным контурам [2].

В результате проведенных исследований установлена целесообразность и доказана эффективность применения метода георадиолокации

в комплексе геофизических изысканий мерзлого горного массива. При этом, разработана и успешно апробирована методика измерений, обработки и интерпретации данных, основанная на анализе динамических характеристик сигналов, позволяющая получить оперативную и достоверную информацию о структурных особенностях и криогенном состоянии массива горных пород при решении горно-геологических задач на месторождениях криолитозоны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саввин Д.В. Исследование методом георадиолокации изменения криогенного состояния грунтов при техногенном воздействии / Д.В. Саввин, Л.Л. Федорова, А.В. Омельяненко // «Проблемы инженерного мерзлотоведения»: материалы IX Международного симпозиума, г. Мирный, 3–7 сент. 2011 г. — Якутск, 2011. — С. 439–443.
2. Федорова Л.Л. Картирование алмазоносных россыпей на основе комплексной обработки данных геофизических методов, включающих георадиолокацию / Л.Л. Федорова // «Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений»: сборник докладов Международной научно-практической конференции, г. Мирный, апр. 2011 г. — Новосибирск: Наука, 2011. — С. 548–553. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Саввин Денис Валерьевич — старший инженер, e-mail: deophysic@mail.ru,  
Федорова Лариса Лукинична — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: Lar-fed-90@rambler.ru,  
Омельяненко А.В. — доктор технических наук, заведующий лабораторией, Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского Сибирского отделения Российской академии наук.



#### ТУГНУЙСКИЙ РАЗРЕЗ ОАО «СУЭК» ПОСТАВИЛ НОВЫЙ МИРОВОЙ РЕКОРД В БУРЕНИИ

В апреле бригада Юрия Егорова Тугнуйского разреза ОАО «СУЭК» установила новый мировой рекорд в бурении. В течение месяца коллектив бригады буровым станком Pit Viper-271 выполнил бурение в объеме 41 806 погонных метров. Предыдущий рекорд в объеме 37 000 погонных метров был установлен в Кемеровской области пять лет назад. В общей сложности по итогам квартала бурильщики выполнили объем работ в 158 000 погонных метров, что на 38 000 больше запланированного.