

## ВЫДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Гриб Н.Н.<sup>1</sup>, Кузнецов П.Ю.<sup>1</sup>, Сясько А.А.<sup>1</sup>, Качаев А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри, Республика Саха (Якутия), Россия, e-mail: grib@nfygu.ru

Рассмотрен вопрос комплексной интерпретации геофизических данных, полученных при проведении изысканий на площадке под строительство комплекса шпалопропиточного завода на территории Алданского улуса Республики Саха (Якутия) город Томмот с целью выделения опасных инженерно-геологических явлений на рассматриваемом объекте исследований. Изучение инженерно-геологических процессов на площадке строительства производилось с привлечением опорного геологического разреза, полученного по результатам интерпретации данных ранее проведенных буровых работ. При выделении опасных инженерно-геологических процессов на изучаемой территории использован комплекс геофизических методов: георадиолокация, электрическое зондирование в модификации дипольное осевое зондирование, сейсморазведка, основанная на корреляционном методе преломленных волн. По результатам комплексной интерпретации геофизических данных, полученных по участку работ, был построен интерпретационный инженерно-геологический разрез с выделением зон талых и мерзлых пород, а также глубин залегания кровли коренных пород и границ трех таликовых зон.

Ключевые слова: геофизические данные, георадиолокация, электрическое зондирование в модификации ДОЗ, сейсморазведка КМПВ, комплексная интерпретация геофизических данных

## HOW TO DETERMINE DANGEROUS ENGINEERING-GEOLOGICAL EVENTS BY GEOPHYSICAL METHODS

Grib N.N.<sup>1</sup>, Kuznetsov P.Y.<sup>1</sup>, Syasko A.A.<sup>1</sup>, Kachaev A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical Institute (branch) «North-Eastern federal university named after M.K. Ammosov» in Neryungri, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: grib@nfygu.ru

The integrated interpretation of geophysical data obtained at the construction site of the sleeper impregnation plant at Aldan Ulus, Republic of Sakha (Yakutia), area of Tommot town was held in order to determine dangerous engineering-geological events. Studying of engineering geological processes on the construction site was produced with the help of the key geological section according to the results of the data interpretation of the previously completed drilling works. When determining dangerous engineering-geological events on the explored territory, a set of geological methods such as ground radar, electrical exploration in the axial dipole doublet modification, seismic measurements based on the refracted waves correlation method was used. On the basis of integrated geophysics data obtained on the construction site the engineering geological record was made to allocate the zones of melted and frozen rocks as well as the depth of bedding of primary rocks and the borders of the three thaw zones.

Keywords: geophysical data, ground radar, electrical exploration axial dipole doublet modification, seismic measurements, integrated interpretation of geophysical data

Изучение строения инженерно-геологического разреза площадки под строительство комплекса шпалопропиточного завода ОАО АК «Железные дороги Якутии» (рис. 1) геофизическими методами производилось с привлечением опорного геологического разреза, полученного по результатам интерпретации данных буровых работ. Глубины буровых скважин опорного геологического разреза составляли 10 м, что вполне достаточно для получения необходимой информации при решении задач данного исследования: определение глубины сезонной оттайки; выделение возможных таликовых зон и зон возможного развития карста; определение глубины залегания кровли коренных пород.

При геофизических исследованиях был использован комплекс геофизических методов: георадиолокация, электрическое зондирование в модификации ДОЗ — дипольное осевое зондирование, сейсморазведка КМПВ (корреляционный метод преломленных волн).

В качестве базового метода в представленном комплексе геофизических методов был выбран метод георадиолокации, что объясняется обеспечением максимальной точности определения положения аномалии по профилю (шаг трасс по профилю наблюдений — 20 см). Для сравнения: шаг точек электрического зондирования по профилю — 20 м, шаг сейсмоприемников в методе КМПВ — 5 м. Таким образом, точность определения положения аномалии составляет: для электрического зондирования ДОЗ  $\pm 10$  м, для сейсморазведки КМПВ  $\pm 2,5$  м, для георадиолокации  $\pm 0,10$  м.

### ***Интерпретация данных георадиолокации***

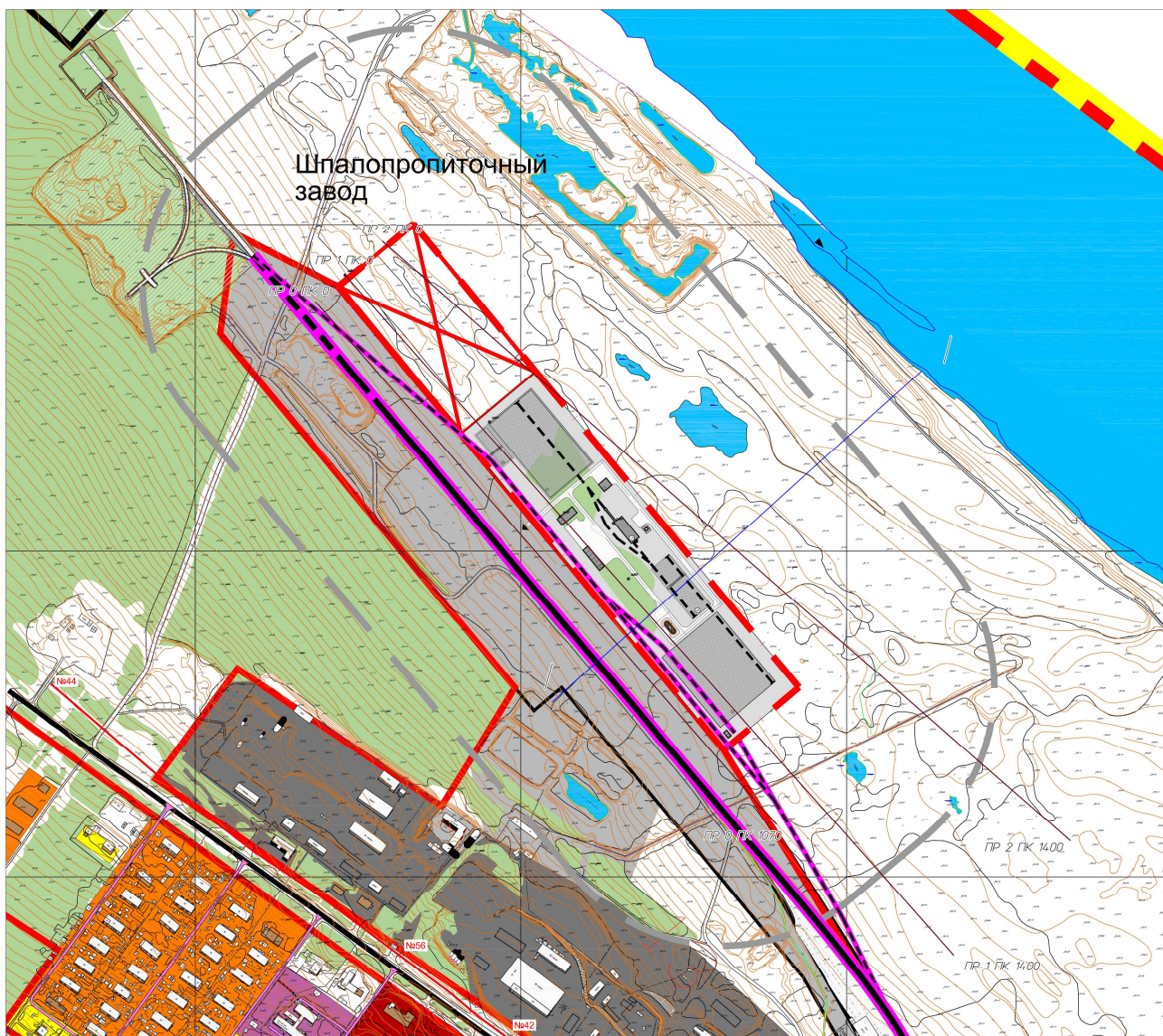
Интерпретация данных георадиолокации осуществлялась в три этапа.

Первый этап интерпретации включал в себя технологические операции обработки первичных полевых данных: анализ исходных радарограмм, объединение фрагментов протяженных профилей, выделение волн-помех, определение уровня относительного нуля шкалы глубин, топографическую привязку меток радарограммы.

Второй этап — выделение георадарных комплексов по угловым и стратиграфическим признакам несогласий.

Третий этап — выделение георадарных фаций мерзлых пород и пород, предполагаемых таликовых зон. Выделение фации производилось путем визуального анализа волновой картины, при котором исследовались основные параметры: конфигурация осей синфазности; интенсивность осей синфазности; частотный состав записи; протяженность осей синфазности; форма фациальных единиц в пространстве.

Каждый параметр несет определенную информацию о геологическом строении данной части разреза. Конфигурация отражений позволяет определить основные типы напластования.



*Рис. 1. План-схема площадки под строительство комплекса шпалопропиточного  
ОАО АК «Железные дороги Якутии»*

Амплитуда отражений зависит от изменения литологии, наличия различных флюидов и используется при прогнозировании латеральной изменчивости отложений. На частотный состав записи влияют взаимное расположение отражающих границ, наличие флюидов и т.д. [3].

### ***Интерпретация данных сейсморазведки КМПВ***

При обработке абсолютно всех сейсмических профилей была принята трехслойная модель строения: зона малых скоростей, представленная по большей части рыхлыми отложениями верхней части разреза; область мерзлых рыхлых пород; относительно не нарушенные скальные породы. Существенно осложнило интерпретацию наличие техногенных отложений на значительной части профилей.

При интерпретации данных сейсморазведки отмечены следующие особенности разреза:

- 1) невыдержанность мощности ЗМС (зоны малых скоростей);
- 2) существенная изменчивость мощности зоны мерзлых пород при относительной выдержанности скоростных характеристик;
- 3) существенный разброс скоростей распространения упругих волн в третьем слое, соответствующем скальному массиву.

Самой значимой особенностью для последующей комплексной интерпретации при обработке данных сейсморазведки признано выделение мерзлых пород, существенно отличающихся скоростями распространения упругих волн, выделение таликов и потенциально опасных на развитие карста участков.

Проблема выделения ключевых значимых аномалий была решена только на этапе комплексной интерпретации – с привлечением всех доступных видов информации о строении участка.

### ***Интерпретация данных электрического зондирования ДОЗ***

При интерпретации данных дипольного осевого зондирования важным фактором, влияющим на последующие построения, является определение положения точки отсчета. С теоретической точки зрения точкой отсчета следует считать середину расстояния между питающим и приемным диполем. Глубина точки отсчета принимается примерно от  $1/6$  до  $1/3$  разноса установки. Но по опыту предшествующих исследований наиболее контрастным и геометрически близким к реальному геологическому строению является построение, при котором точка отсчета отнесена к середине питающего (неподвижного) диполя. Помимо преимуществ визуализации, этот способ построения имеет еще одно неоспоримое достоинство: при отнесении точки отсчета к питающему диполю однозначно отбраковываются аномалии, обусловленные приповерхностными и поверхностными объектами. Тем не менее аномалии, морфологически сходные с аномалиями от приповерхностных неоднородностей, не были отбракованы при обработке данных по участку. Причина такого подхода в следующем: минимальная глубинность применяемой установки ДОЗ равна примерно 2,5–3 м, глубина возможного обнаружения линз льда примерно такая же. Соответственно, даже приповерхностные аномалии для этих условий исследования могут иметь существенное значение.

### ***Комплексная интерпретация геофизических данных, полученных по площади работ***

Комплексная интерпретация геофизических данных проводилась в соответствии со следующей схемой [1, 4]:

- 1) выделение значимых аномалий производится путем неоднократных перекрестных сопоставлений геофизических разрезов – сопоставлений разных методов в пределах одного профиля;
- 2) сопоставление разрезов по отдельным методам между профилями (три разных вида сопоставлений – по числу геофизических методов);
- 3) сопоставление положения аномальных точек, выделенных в предыдущие этапы увязки разрезов.

По результатам проведения комплексной интерпретации были решены следующие поставленные задачи.

1. **Определение глубины сезонной оттайки.** При определении положения кровли мерзлых пород реперным методом стали сейсморазведка, корреляционный метод преломленных волн (КМПВ). В силу особенностей строения верхней части разреза – техногенная отсыпка и подстилающие суглинки – слой талых пород на скоростных разрезах КМПВ отражен в качестве зоны малых скоростей. Средняя скорость распространения упругих волн по профилю составила 600–900 м/с. Второй по контрастности аномалий метод – георадиолокация. Граница талых и мерзлых пород на георадиолокационном разрезе выражена в виде плавной смены характера волновой картины. При обработке данных электрического зондирования выделить четкую контрастную границу не удалось, что скорее всего обусловлено тем, что суглинки, как в мерзлом, так и в талом состоянии, имеют относительно невысокое электрическое сопротивление. Тем не менее при комплексной интерпретации полученных геофизических данных представляется возможным получить общее представление о температурном строении разреза (рис. 2а).

2. **Выделение возможных таликовых зон и зон развития карста.** Задача выделения распространения таликовых зон сводилось к определению участков аномально глубокого (существенно ниже уровня сезонной оттайки) протаивания грунтов. Данные участки в дальнейшем интерпретировались как наиболее вероятные зоны распространения таликов. Основным методом для решения этой задачи стала электроразведка [2, 5] – воронкообразные зоны пониженного сопротивления на геоэлектрическом разрезе позволили определить общую форму таликовых аномалий, которые в дальнейшем уточнялись по данным сейсморазведки и георадиолокации (рис. 2а и рис. 2б).

Зоны развития карста определялись по аномально низким скоростям распространения упругих волн на некоторых интервалах слоя коренных пород (по данным сейсморазведки КМПВ) с привлечением данных георадиолокации.



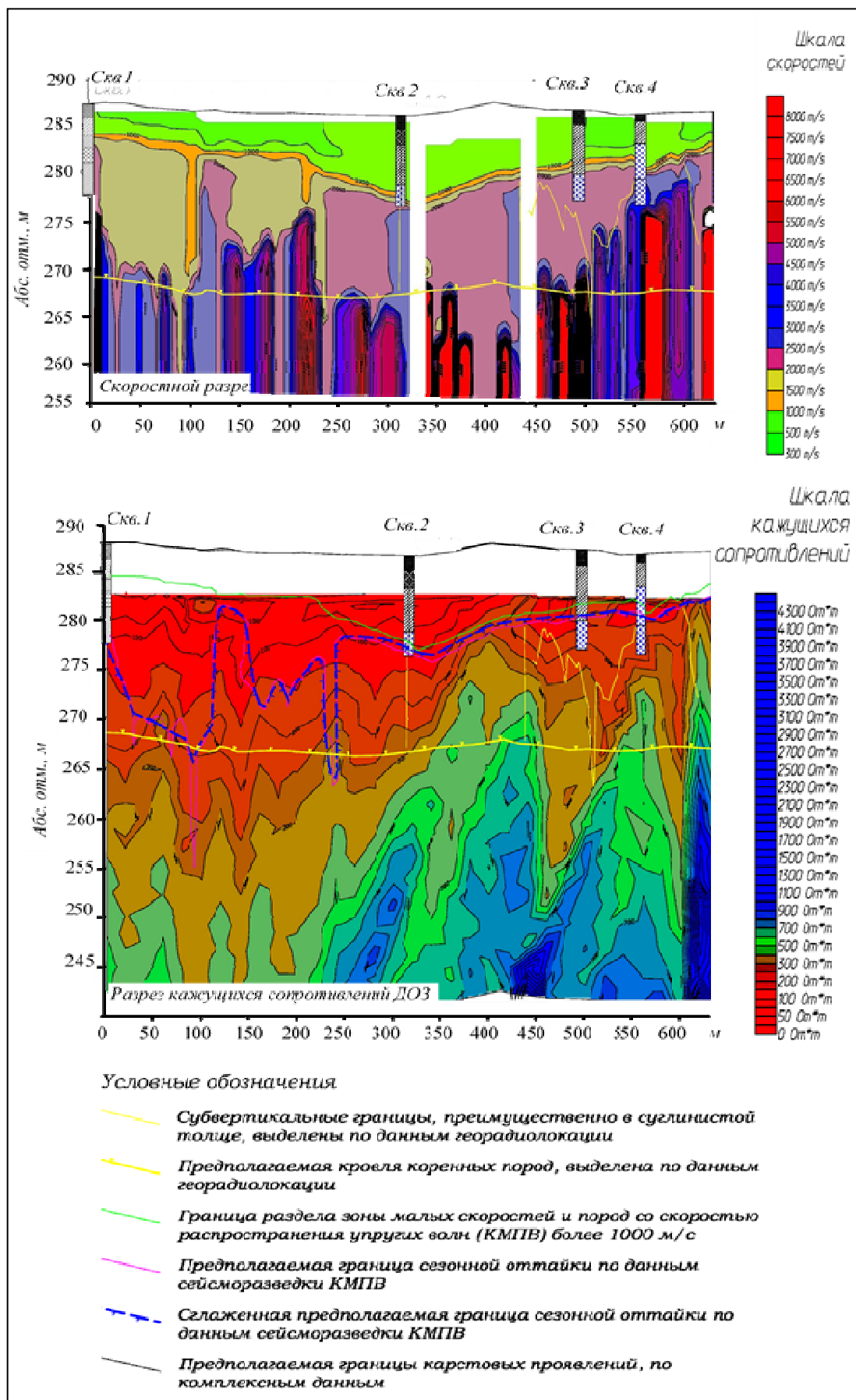


Рис. 2а. Характерные аномалии таликовых зон и зон развития карста при комплексной интерпретации

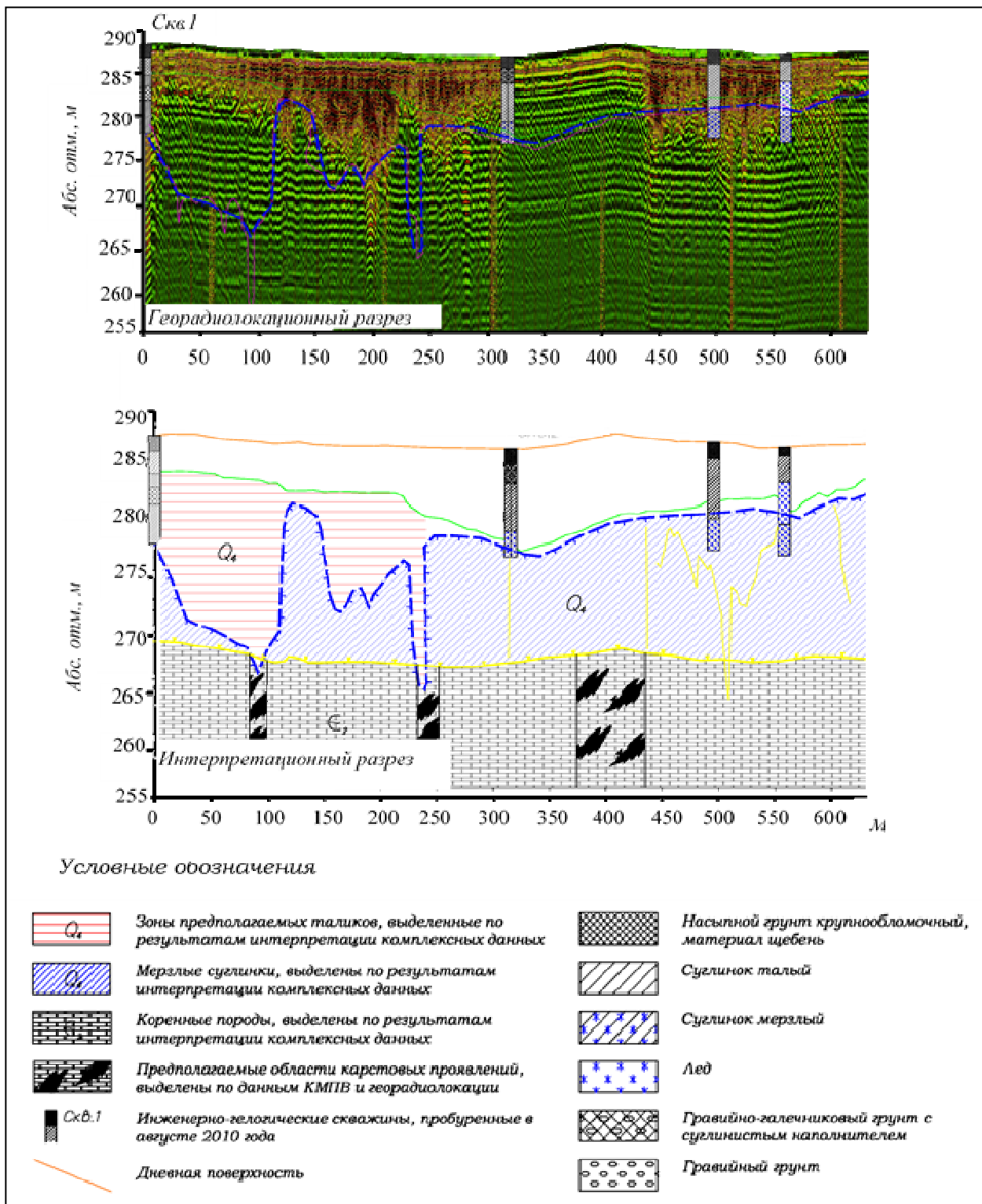


Рис. 26. Характерные аномалии таликовых зон и зон развития карста при комплексной интерпретации

Основываясь на морфологии выделенных аномалий, можно предположить, что и талики, и карст образовались в результате действия приповерхностных водотоков, текущих по направлению к реке. Также наблюдается корреляция отметок рельефа дневной поверхности с зонами таликов – в таликовых зонах отмечаются локальные понижения

рельефа и ниже по склону – небольшие водоемы (рис. 1). При этом установлено существенное влияние поверхностных и приповерхностных водотоков на тепловой режим толщи рыхлых пород. Помимо выноса мелкодисперсного материала талой толщи, не исключено образование карстовых полостей в коренных породах с последующим заполнением этих полостей суглинистым материалом, что также приводит к образованию локальных понижений на дневной поверхности (рис. 2а и рис. 2б).

В пределах участка работ выделены три таликовые зоны с глубиной протаивания пород до 20 м и более. Нижняя граница глубины протайки в существенной мере определяется глубиной положения кровли коренных пород.

3. **Определение глубины залегания кровли коренных пород.** При решении этой задачи учитывался фактор наличия мерзлых пород в верхней части разреза. Наиболее контрастно граница рыхлых и коренных пород выражена на георадиолокационном разрезе. При совмещении построенной по радиолокационным данным границы с электроразведочным и сейсморазведочным разрезами выявлена следующая закономерность – в интервалах профиля, на которых были выделены талики, кровля третьего слоя по данным сейсморазведки практически полностью совпала с построенной границей. Ситуация с геоэлектрическим разрезом несколько сложнее – совпадение георадиолокационной границы с областью высокого градиента кажущихся сопротивлений наблюдается примерно на 50% профиля, и для решения этой задачи дипольное зондирование привлечено в качестве вспомогательного метода. На тех интервалах профиля, где отсутствовали предполагаемые талики, аномалии на скоростном и геоэлектрическом разрезах были экранированы аномалиями кровли мерзлых пород. Следует отметить, что существует опасность ложного толкования наблюдаемой георадиолокационной аномалии – аналогичного вида отражения можно получить, исследуя уровень грунтовых вод. В пользу интерпретации выделенной границы как кровли коренных свидетельствуют следующие факты – абсолютная отметка зеркала воды реки Алдан, протекающей в 400 м от участка работ, составляет примерно 278 м (рис. 3). Отметка выделенной границы – от 265 до 268 м.

При приближении к реке абсолютная отметка предполагаемой кровли коренных пород составляет 260 м. Это логично вписывается в картину увеличения мощности рыхлых отложений по мере приближения к водотоку и не подтверждает гипотезу о связи аномалии с уровнем грунтовых вод. Таким образом, в результате комплексной интерпретации геофизических данных было установлено, что абсолютная отметка кровли коренных пород достаточно выдержана, а мощность рыхлых отложений составляет в среднем 20 м.



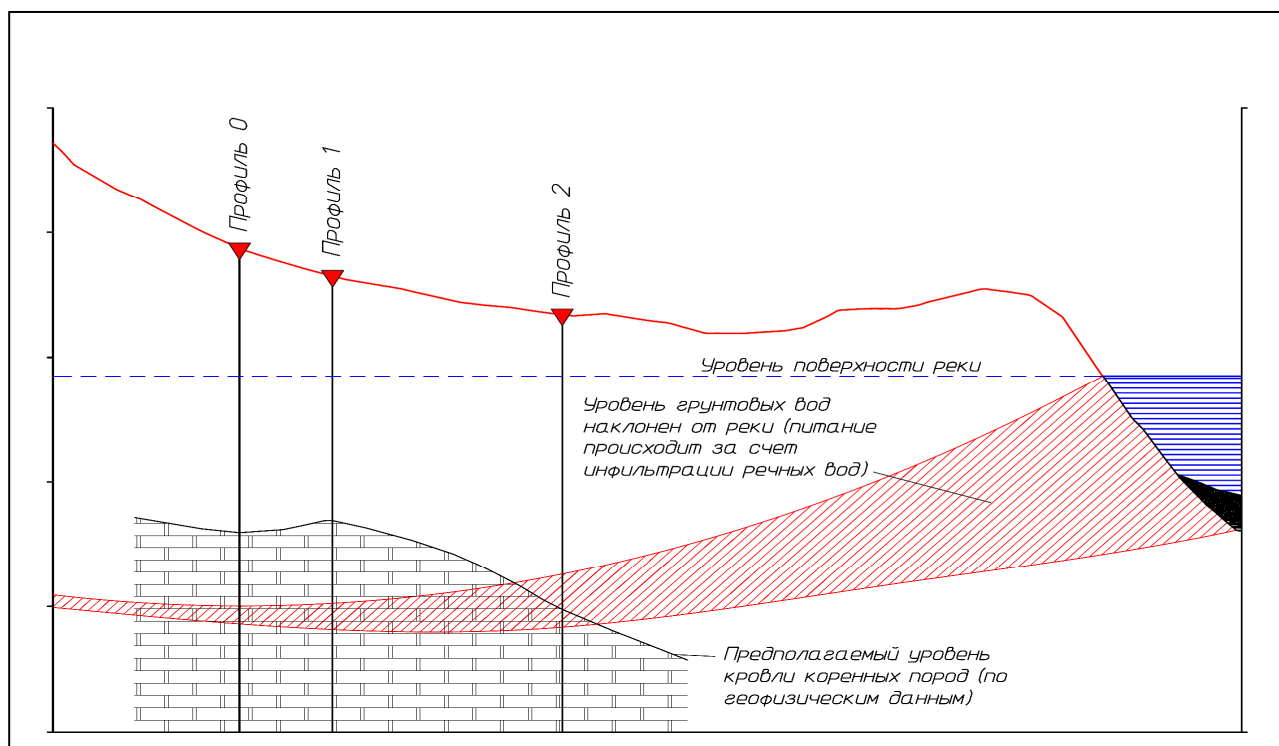


Рис. 3. Модель уровня зеркала грунтовых вод

Таким образом, по результатам проведенных инженерно-геофизических изысканий на объекте «Комплекс шпалопроточного завода в г. Томмот Алданского улуса» установлено следующее.

1. В пределах участка работ расположены три таликовые зоны с глубиной протаивания пород до 20 м и более. По-видимому, нижняя граница глубины протайки в существенной мере определяется глубиной положения кровли коренных пород. Предполагается связь выделенных таликовых зон с грунтовыми водами.
2. С высокой степенью вероятности предполагается наличие карстовых проявлений в коренных породах (кембрийских доломитах). По результатам сейсморазведки определены наиболее значимые области возможного развития карста. В целом, карстовые промоины коррелируют по положению в плане с таликовыми зонами, но есть и исключения – возможные карстовые промоины без выделенных таликов и талики, не сопровождающиеся карстовыми явлениями в коренных породах. Образование карстовых полостей в коренных породах с последующим заполнением этих полостей суглинистым материалом привело к образованию расположенных вкrest склона локальных понижений дневной поверхности.
3. Глубина границы сезонной оттайки находится в пределах нормы (за исключением таликовых зон).
4. Выделенные при бурении интервалы монолитного льда (скважина 4, интервал 3,2–7,1 м) на геофизических разрезах не отмечены. Не исключено, что встреченный при буровых

работах лед имеет линзовидное распространение. В частности, лед, перебуренный при проходке скважины 4, располагается в локальном понижении кровли мерзлых пород в пределах талика и, вероятно, может быть образован грунтовыми водами, протекающими непосредственно на границе талых и мерзлых пород.

5. Выделена кровля коренных пород. Абсолютная отметка кровли коренных пород достаточно выдержана, мощность рыхлых отложений составляет в среднем 20 м. Отмечено закономерное увеличение мощности рыхлых отложений по направлению к реке Алдан.

6. Отмечена высокая степень корреляции геофизических разрезов с результатами буровых работ.

### Список литературы

1. Комплексирование методов разведочной геофизики: Справочник геофизика / Под ред. В.В. Бродового, А.А. Никитина. – М.: Недра, — 1984. — 384 с.
2. Знаменский В.В. Общий курс геофизики: Учебник для вузов. – М.: — Недра, 1989. – 520 с.
3. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие – М.: Издательство МГУ, 2008. – 192 с.
4. Тархов А.Г. Принципы комплексирования в разведочной геофизике / А.Г. Тархов, В.М. Бондаренко, А.А. Никитин. — М.: Недра, 1977. — 221 с.
5. Шевнин В.А., Модин И.Н., и Большаков Д.К. Краткое пособие по электроразведке. [Электронный ресурс] / Москва, МГУ, геологический ф-т, кафедра геофизики: сайт - URL: <http://geophys.geol.msu.ru/STUDY/krym/krim008.htm> (дата обращения 25.05.2015)

### Рецензенты:

Имаев В.С., д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт земной коры Сибирское отделение Российской Академии Наук, г. Иркутск;

Трофименко С.В., д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмологии и сейсмотектоники, Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск.