

Геофизические исследования при оценке инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород карьеров горнодобывающих предприятий в криолитозоне. Результаты и проблемы

С.А. Великин., К.И. Бажин., Ю.Л. Марченко..

Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция ИМЗ СО РАН,

Реферат

Наиболее перспективным и наименее затратным способом отработки целого ряда полезных ископаемых является карьерная добыча полезных ископаемых. Основную опасность (сложность) при строительстве и эксплуатации карьеров горной промышленности в криолитозоне представляют процессы деградации мерзлых пород, ведущие к потере устойчивости бортов и развитию оползневых процессов. В настоящее время, несмотря на обширную информацию, полученную при инженерно-геологических изысканиях, есть потребность в наиболее полном объемном представлении структуры геокриологических разрезов и в объективной оценке распределения физических параметров возможных ослабленных зон. Это может быть достигнуто путем проведения специализированных исследований с привлечением современных технических средств и методик.

Ключевые слова:

Geophysical investigations for estimation engineering-geocryological conditions of adjacent strata of open-cast mines of the mining enterprises in permafrost zone

S.A. Velikin, K.I. Bazhin, Ju.L. Marchenko

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Russia

Abstract

The most perspective and least expensive way of mining operations for a number of minerals is open-cast mining. The basic danger during construction and operation of open-cast mines in permafrost zone is degradation of frozen rocks. The last leads to instability of open-cast mine boards and landslips development. Now, despite of many information received during engineering-geological study, there is a requirement for the fullest 3D representation of frozen massive structure, as well as, in an objective estimation of physical parameters distribution of possible weakened zones. This can be obtained by using special investigations with modern tools and techniques.

Key Words:

Введение

Строительство и последующая эксплуатация сооружений в криолитозоне приводят к значительным изменениям инженерно-геокриологических условий, определяющих устойчивость оснований этих объектов и сохранности природного комплекса.

Важнейшим фактором этого процесса является вечная мерзлота - при ее деградации деструктивные экзогенные процессы здесь начинают протекать интенсивно, динамично и могут быстро перейти в катастрофическую стадию. Если не уделять достаточного внимания мониторингу криогенной среды, то катастрофическая ситуация связанная с потерей устойчивости оснований и откосов карьеров может возникнуть неожиданно, в любой момент эксплуатации (рис.1).

В этих условиях особую роль следует отвести комплексным мониторинговым геофизическим исследованиями. Они основаны на изучении естественных и искусственных физических полей, формирующихся и изменяющихся в геологической среде при воздействии на них природно-техногенных факторов, причем структура этих полей и их изменение во временном интервале может отражать состояние геокриологического разреза и характер проходящих здесь процессов.



Рис.1. Фотография обрушенного участка борта карьера в мерзлых породах.

В отличие от многих методов инженерно-геологических исследований преимущество геофизики заключается в возможности:

- получения разнообразной количественной, воспроизводимой информации о физических свойствах, составе, строении горных пород и их изменчивости во времени по совокупности параметров исследуемых геофизических полей;

- опосредованного объёмного изучения массивов мёрзлых пород и динамики их изменения недоступных для геологических и буровых методов исследований;

- картирования границ раздела разнородных по физическим свойствам и составу горных пород;

- дистанционное изучение геокриологической среды без её нарушения.

Не смотря на остроту проблемы, геофизические работы проводятся в весьма ограниченном объеме, что связано с отсутствием специализированных геофизических служб в штате горнодобывающих предприятий и сложностью проведения самих исследований в условиях разрабатываемых месторождений (наличие ЛЭП, различных электроустановок и промышленных помещений, и др., а также объёмными круглосуточными крьерными работами. Все это делает необходимым как можно полнее использовать опыт геофизических работ по изучению инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород карьеров

Авторы настоящей работы участвовали в проведении исследований по изучению инженерно-геокриологического состояния вмещающих пород участка карьера «Нюрбинский» (рис.2) в связи с выявленными высокими скоростями смещений реперов на примыкании восточного борта карьера.



Рис.2 Карьер «Нюрбинский».

Основная цель работ - это изучение в пределах участка «Нюрбинского» карьера техногенных и вторичных мерзлотно-геоморфологических процессов, связанных с техногенной деятельностью, которые возможно являются основными причинами смещения бортов карьера. Для исследования восточного борта карьера «Нюрбинский» применяется комплекс инженерно-геологических, геофизических и мерзлотных исследований. По результатам полевых исследований выявлены участки развития и активизации мерзлотных процессов, представляющих опасность при эксплуатации месторождения.

Комплекс полевых геофизических исследований включал следующие методы:

- Сейсморазведка
- Геоэлектрическая томография
- Георадиолокация
- Гамма – каротаж
- Многочастотное однокважинное радиоволновое профилирование (ОРВП-МЧ)
- Радиоволновое просвечивание (РВГИ)

Инженерно-геологические условия района

Инженерно-геологические условия карьера Нюрбинский характеризуются заложением его в терригенно-осадочных песчанистых, алевритистых, глинисто-алевритистых отложениях нижней и средней юры (частично и верхнего триаса) перекрытыми четвертичными делювиально-элювиальными образованиями, представленными сильно льдистыми суглинками и супесями.

В мерзлом состоянии перекрывающие трубки юрские отложения представляют собой довольно монолитную толщу. Прочность на сжатие этих отложений составляет около 40 Мпа, объёмный вес 1.8-2.5т/м³. В талом состоянии прочность их резко снижается, а верхняя часть разреза этих отложений превращается в плавун. В целом, перекрывающие породы на дневной поверхности под действием атмосферных осадков легко разрушаются до рыхлого состояния

Для изучения инженерно-геокриологических условий на восточном борту карьера было пробурено 10 мерзлотных скважин по 12м и 3 скважины по 100 м, во всех пробуренных и имеющихся скважинах проводились температурные наблюдения.

На участке расположения скважин расположенных в непосредственной близости к карьру, вскрыты шпировые и повторно-жильные льды. Данные ледяные включения могут оказывать значительное влияние на процессы деформации прибортового пространства карьера. Этот интервал (5-7 м от поверхности) со вскрытыми льдами может активно принимать участие в годовом теплообороте.

По ряду скважин на глубинах 3.5-6.0м происходили провалы бурового инструмента. Ниже интервала провалов часто следовали льдистые грунты. Также встречаются суффозионные воронки диаметром до 3 м, глубиной до 1м (рис.3). В 10-20 м от уступа карьера находится водоотводная канава и небольшой водоем техногенных соленых вод.здесь прослеживаются эрозионные борозды временных потоков воды, направленные в сторону водоема (рис.4).



Рис. 3.Суффозионная воронка



Рис. 4.Эрозионные борозды временных потоков

В непосредственной близости от линий юго-восточных и северо-восточных реперов, где были выявлены смещения наблюдается участки с активным проявлением заболачивания, при этом процесс заболачивания происходит не только за счет вод атмосферных осадков и временных потоков, но и технических минерализованных вод. Вследствие накопления этих вод в грунтах идут процессы перераспределения солей, изменение и без того нарушенного температурного режима. Эти факторы могут привести к увеличению границы протаивания, образованию таликов, понижению температуры начала замерзания пород, интенсификации процесса деформаций.

На основании геокриологических исследований и температурных наблюдений в скважинах следует, что состояние пород, слагающих верхнюю часть разреза рыхлых отложений, можно охарактеризовать как пластично-мерзлое. Такие породы могут скользить под влиянием нагрузок не только в непосредственной близости, но и на некотором удалении от бортов карьера. Конструкция стенок карьера – откосы около 40° – обеспечивают только устойчивость от поверхностных осыпных и оползневых явлений, но не обеспечивают глубинную устойчивость от тангенциальных напряжений от веса пород, развивающихся в пластично-мерзлой толще.

Результаты геофизических исследований

Сейсмопрофилирование

При полевых наблюдениях использовалась цифровая многоканальная сейсмостанция "Summit Compact" (производства компании DMT, Германия) с полевым ноутбуком, на котором производилась визуализация и запись полевых данных.

В результате проведенных сейсмических исследований восточного борта карьера «Нюрбинский» были построены и качественно проинтерпретированы сейсмические разрезы по 10 сейсмическим профилям.

Результаты работ

1. На скоростных разрезах продольных и поперечных волн (рис.5) выделены два сейсмических слоя, отличающихся по градиенту скорости и характеру поведения изолиний скорости. Сейсмическую границу между этими двумя слоями можно трактовать как область разрушенных или трещиноватых горных пород.

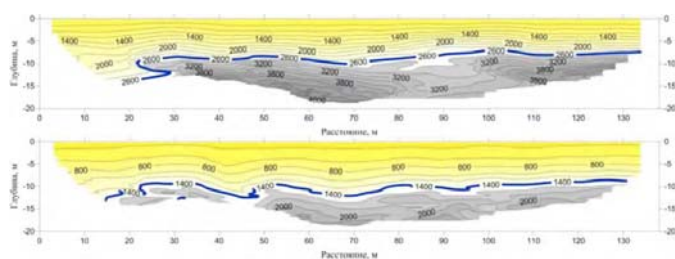


Рис. 5. Пример сейсмических разрезов в изолиниях скорости: продольных волн (вверху) и поперечных волн (внизу). Шаг изолиний 200 м/с. Синяя линия – сейсмическая граница между первым и вторым сейсмическими слоями.

2. На сейсмических картах-срезах (рис. 6) отношения скоростей V_s/V_p и коэффициента Пуассона выделяется ряд линейных зон субмеридионального простираения. Эти зоны представляют собой области с чередующимися значениями параметра V_s/V_p и коэффициента Пуассона: области повышенных значений параметра V_s/V_p и пониженных значений коэффициента Пуассона сменяются областями пониженных значений параметра V_s/V_p и повышенных значений коэффициента Пуассона.

Наличие зон субмеридионального простираения чередующихся значений параметра V_s/V_p и коэффициента Пуассона можно трактовать как отражение механизма отрыва оползневого тела при его смещении в сторону склона карьера.

Следует отметить, что эти зоны хорошо коррелируют с более глубинным (~ до 50м) строением геоэлектрических разрезов по данным электроразведки.

Более аргументированное истолкование сейсмических результатов требует привлечения дополнительных геологических исследований и других геофизических методов.

Геоэлектрическая томография

Для работ методом геоэлектрической томографии использовалась многоканальная и многоэлектродная электроразведочная аппаратура Syscal-Pro производства Французской фирмы Iris Instruments.

Результаты работ

Результаты обработки полевых данных электротомографии (рис.7) показывает, что геологическая толща исследуемого участка расчленяется на высокоомную верхнюю часть и относительно низкоомную нижнюю часть. При этом в отличие от разреза, построенного по геологическим данным, имеет место неоднородное распределение удельного сопротивления по латерали во всем диапазоне глубин. На рис.7 выявлен слой мощностью примерно 20-30м, присутствующего на многих из профилей. Можно предположить, что этот слой связан с особенностями геокриологического состава и строения верхней части нижнеюрских отложений - морозобойной, умеренно трещиноватой, льдонасыщенной толщ мерзлых пород.

Таким образом, по данным геоэлектрической томографии можно выделить следующие основные особенности геоэлектрического разреза (ГЭР):

1) Литологически однородная толща чередующихся алевроитов и песчаников расчленяется по удельному сопротивлению на высокоомный поверхностный слой и подстилающие его низкоомные участки разреза.

2) Практически все низкоомные аномалии расположены в интервале глубин 20 - 65м приурочены к толще глинистых алевропесчаников и толщ сильновыветрелых аргиллитов. В геологическом отношении высокоомные участки приурочены к приповерхностным нижнеюрским отложениям J1s-2-3. Латеральная неоднородность по-видимому связана с фаціальными особенностями строения участка.

Следует отметить, что присутствие в ГЭР довольно крупных тел изометрической формы и подстилающих их пластов глинистых пластично мерзлых пород может быть причиной развития оползневой активности ниже слоя годовых колебаний температур, т.е. ниже 15-20м.

Это предположение вполне обосновано, поскольку полученные в результате геоэлектрические разрезы в пределах имеющихся скважин дают почти полное соответствие изученным по керну и по каротажу геологическим разрезам скважин (рис.7), а геоэлектрическое строение (рис.6) совпадает со строением, построенным с помощью сейсмoproфилирования карт отношения продольных и поперечных скоростей, по которым выделяются ослабленные зоны и возможные трещины бокового отпора.

На карте изолиний кажущегося сопротивления (рис. 8) по данным геоэлектротомографии синим цветом выделен участок пониженных сопротивлений. Интересно отметить, что он повторяют контуры обрушенного борта карьера трубки Юбилейная, также расположенного в Западной Якутии.

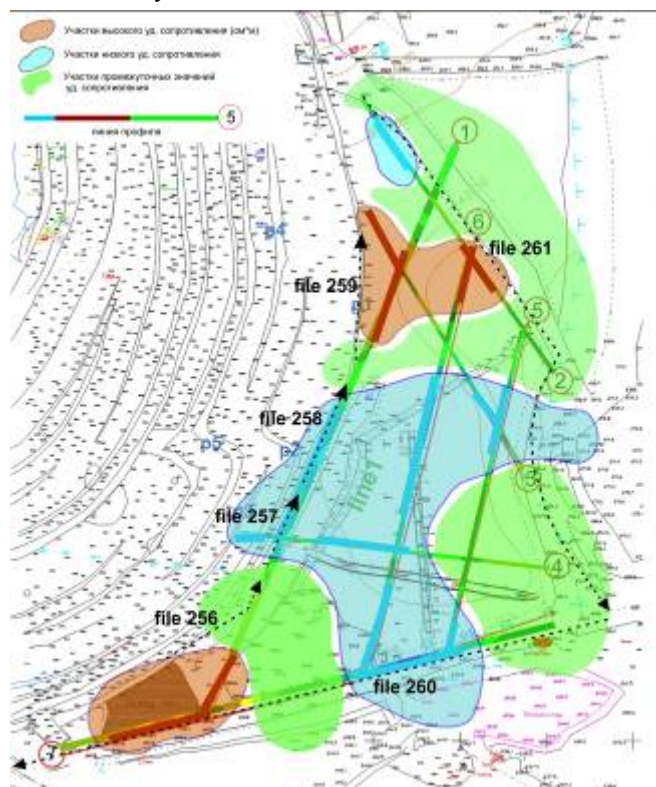


Рис. 8 Картирование ослабленных участков по данным геоэлектротомографии вблизи борта карьера Нюрбинский

Подводя итоги проделанных электротомографических работ, можно отметить их высокую информативность для изучения состояния примыкающих к карьеру массивов горных пород. Это позволит надеяться в дальнейшем, после проведения лабораторных исследований физических свойств по керну скважин, на выделение и разбраковку негативных участков с точки зрения оползневой опасности и потери устойчивости бортов, что не-

обходимо для оценки всей ситуации в целом и принятия управленческих решений.

Георадиолокация

Полевые наблюдения по борту карьера «Нюрбинский» производились аппаратурой GSSISIRSystem-2000 (антенна 200D, частота 200 МГц). Было отработано 25 профилей в пределах восточного борта карьера «Нюрбинский» с целью оценки состояния рыхлых отложений верхней части разреза.

Результаты работ

По сети широтных профилей выполнена обработка данных в формате 3D. Результаты обработки георадиолокации (рис.9) показывают, что разуплотненные участки на глубине от 4 до 10 м в плане укладываются в приграничную линию зоны разрушенных пород, выделенную по данным малоглубинной сейсморазведки на срезе глубины 12 м.

В северной части карты область повышенных значений диэлектрической проницаемости соответствует обводненному участку борта карьера, с зафиксированным выходом воды (рис.10).

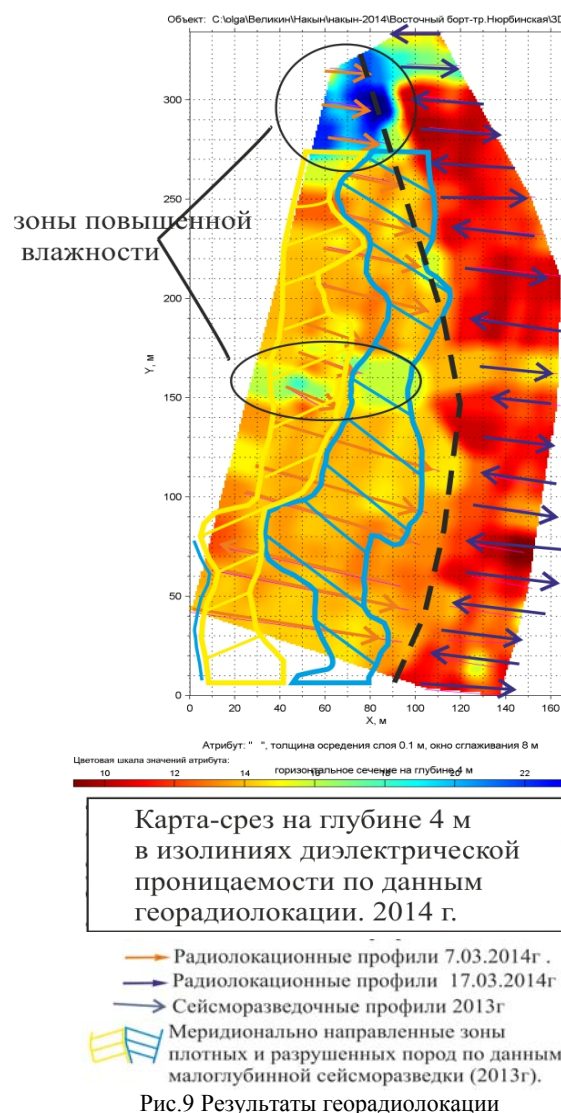


Рис.9 Результаты георадиолокации

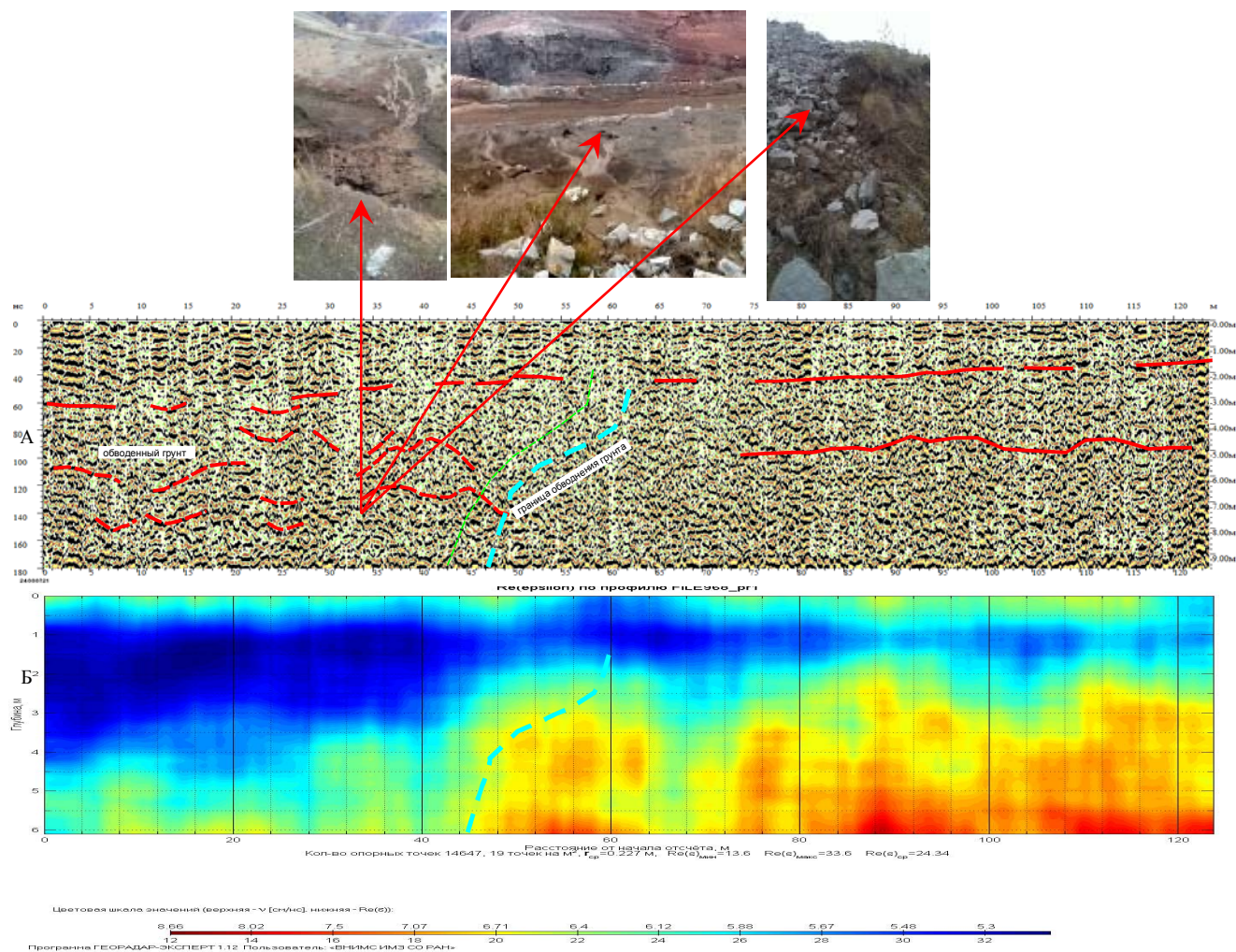


Рис.10 Геоэлектрический разрез участка разгрузки грунтовых вод по данным георадиолокации

В средней части карты участок менее высоких значений диэлектрической проницаемости простирается от области скважины СМ4 до восточной границы участка съемки. При трехмерном построении модели данные интерполируются таким образом, что значения эпсилон наиболее близки к истинным

В юго-восточной части, где наблюдаются наиболее интенсивные смещения бортов карьера, выявлены многочисленные нарушения и трещины по профилям, расположенным вкрест борта карьера. Направление нарушений и трещин совпадает с субмеридиональными зонами чередующихся значений параметров V_s/V_p и коэффициента Пуассона, предположительно интерпретируемых как признаки трещин отрыва при образовании оползней.

Скважинные методы исследования

На восточном борту карьера трубки «Нюрбинская» были проведены геофизические исследования в пяти наблюдательных скважинах ИГС10, ИГС11, РВП12, РВП13, РВП14 (рис.11) с целью изучения межскважинного пространства. Скважины ориентированы перпендикулярно восточному борту карьера в непосредствен-

ной близости от него. Скважина ИГС11 расположена в самом карьере.

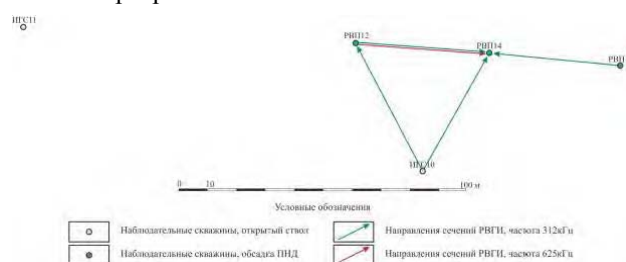


Рис. 11. Схема расположения наблюдательных скважин и направлений межскважинного просвечивания на восточном борту карьера трубки «Нюрбинская»

Измерения в этих скважинах были проведены следующими методами:

1. Односкважинное радиоволновое профилирование (ОРВП-МЧ) –многочастотный метод электрокаротажа, диапазон частот от 1.25 МГц до 50 МГц);
2. Радиоволновое просвечивание (геоинтроскопия) межскважинного пространства (РВГИ) на частоте 312 кГц;
3. Гамма-каротаж.

По результатам односкважинных измерений были построены корреляционные схемы и обобщенный разрез по линии скважин ИГС11 – РВП12 – РВП14 - РВП13, представленные на рис.12, 13. Из разреза следует, что на протяжении порядка 200 метров, породы залегают горизонтально, либо субгоризонтально. Можно проследить даже маломощные, порядка 1 метра, пласты на

достаточно значительном расстоянии. Горизонтальное залегание пластов нарушается в нижней части разреза. Это нарушение может быть обусловлено либо унаследованием рельефа от карбонатного цоколя, либо структурным нарушением в данной области. На основании этого, на рис.13 выделено возможное место нарушения согласного залегания осадочных пород с амплитудой 3 м.

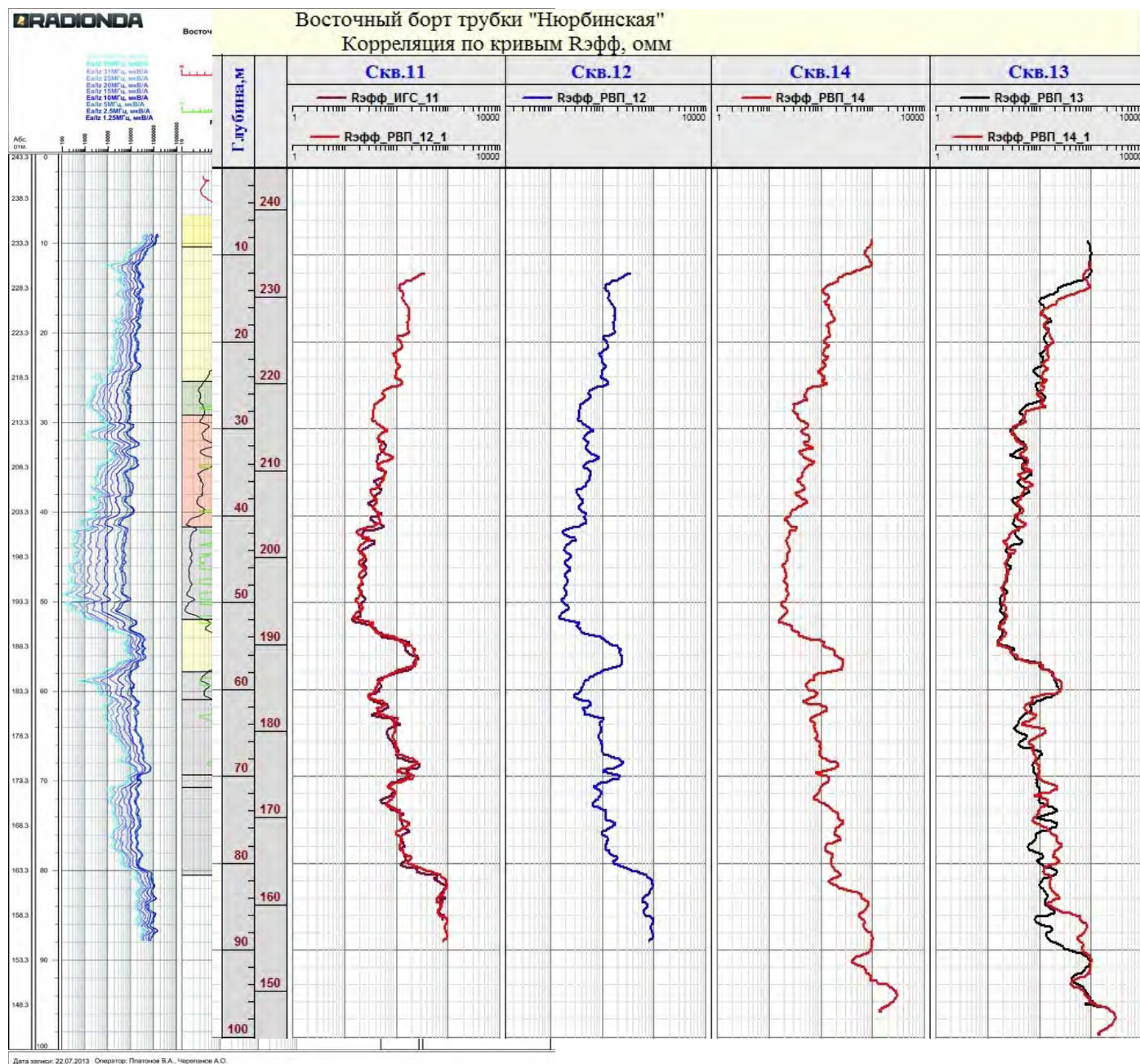


Рис. 12. Диаграммы каротажа ОРВП-МЧ Корреляционная схема по кривым Rэфф и ГК

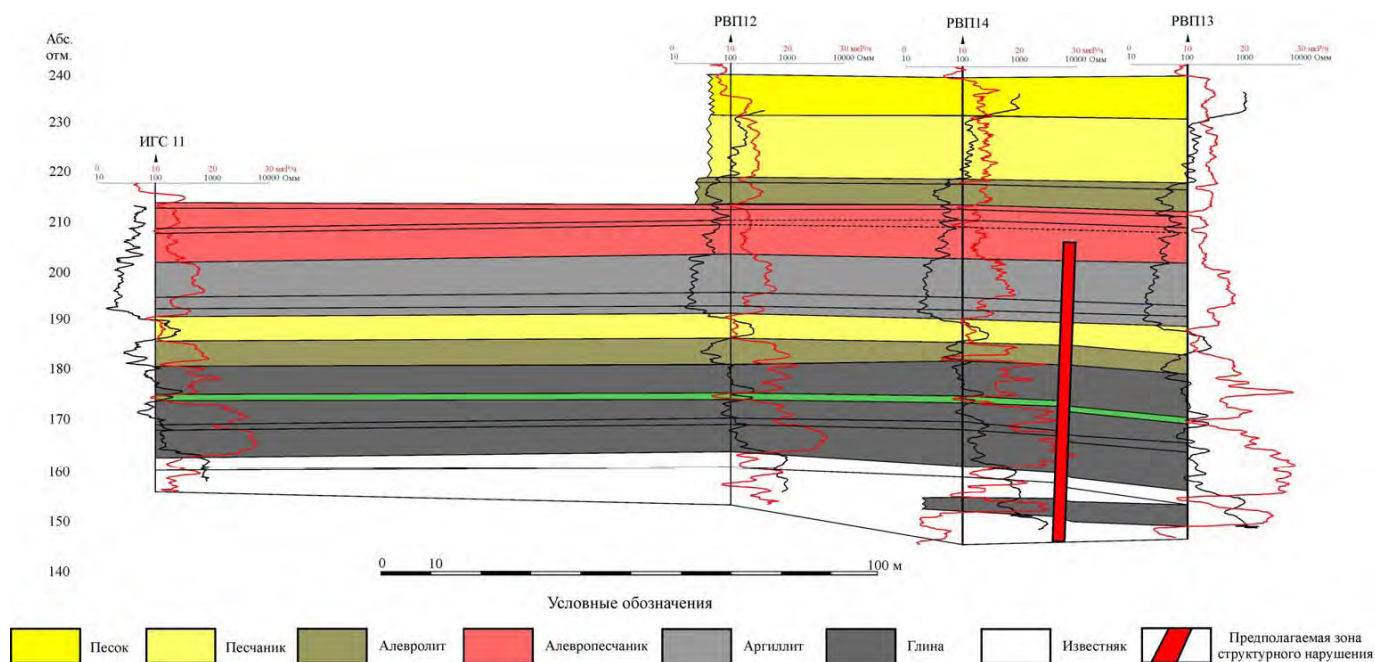


Рис. 13. Обобщенный разрез по результатам односкважинных наблюдений

Результаты обработки межскважинного радиоволнового просвечивания РВГИ представлены в виде геоэлектрических разрезов (рис.14). Для сравнения с односкважинными методами, рядом с разрезами вынесены диаграммы электрических сопротивлений по данным ОРВП и естественной радиоактивности (гамма – каротаж).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что между скважинами ИГС10 – РВП14 – РВП13 может присутствовать вертикальная неоднородность с пониженным рэфф, по отношению к

вмещающим породам. На геоэлектрическом разрезе по линии скважин РВП12 – РВП14 – РВП13 (см.рис.14) между скважинами РВП14 – РВП13 можно заметить перегиб в центральной части разреза. Пунктирной линией выделена возможная схема существования древнего структурного нарушения. Подобная мощная субвертикальная область является ослабленной зоной и может быть потенциальным источником опасности для устойчивости.

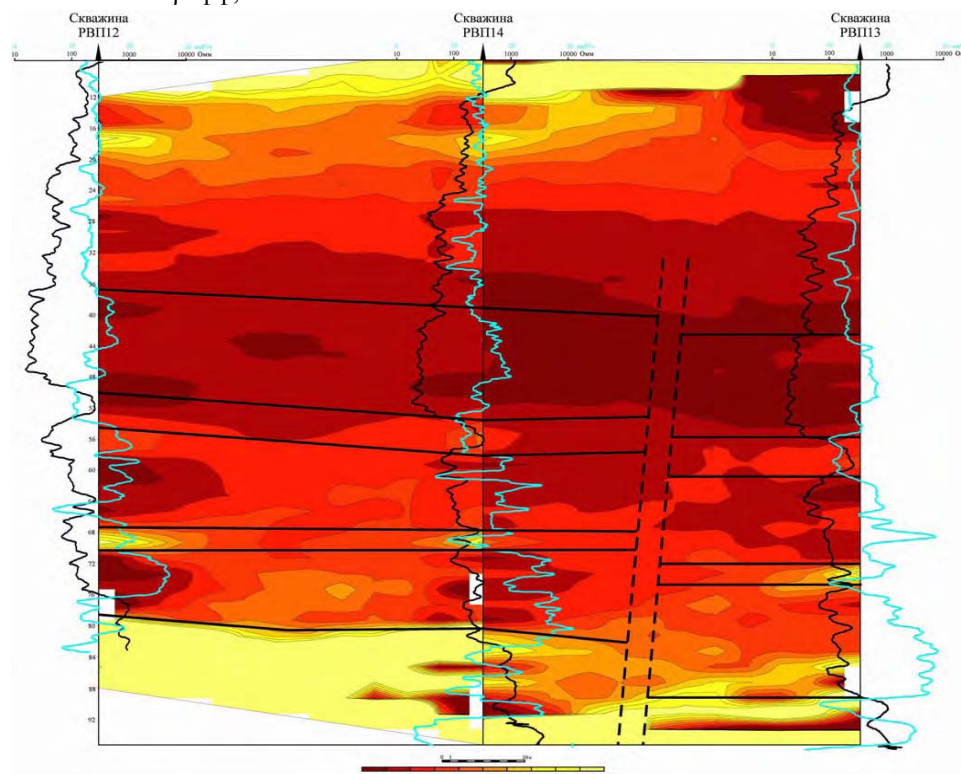


Рис. 14 Геоэлектрический разрез по линии скважин РВП12 – РВП14 – РВП13

Резюме.

Результаты геофизических работ подтверждают, что верхняя часть рыхлых отложений (10-15 м) достаточно раздроблена и разуплотнена, есть незначительные воронки, возможно термокарст. Фиксируются трещины отрыва, зоны разуплотнения, проседание грунтов, возможно обводнение. Хвостохранилище - подпитка водой да и температурный режим верхнего слоя благоприятствует развитию негативных процессов., вот и имеем глубину 15 метров ограничивающую оползень).

В результате по структурно- тектоническому анализу и комплексу мерзлотных и инженерно-геофизических работ в примыкании восточного борта выявлены потенциально опасные зоны состояние которых необходимо контролировать и установлены закономерности инженерно-геологического строения, на которую оказывают влияние карьер и отвалы.

Выводы

1.Первой причиной смещения бортов карьера в первую очередь является сам карьер. В этом случае негативные процессы провоцируют особенности геокриологического строения, в частности, признаки возможных оползней.

2.Второй причиной как и в других карьерах, разрабатываемых в вечномерзлых породах, основной причиной смещения бортов карьера являются технологическая деятельность (например, примыкающие к карьеру отвалы, способствующие оттаиванию вечномерзлых пород).

3. В случае Нюрбинского карьера причиной смещений является особенности геокриологического строения вмещающих пород, а спусковым механизмом этих процессов являются поверхностные геокриологические процессы, спровоцированные антропогенной деятельностью.

4.Зеркалом скольжения пород, примыкающих к бортам карьера, скорее всего являются пласты глин, залегающие на небольшой глубине.

5.Ведущим геофизическим методом, позволяющим обнаружить и проследить смещение пород, примыкающих к бортам карьера, безусловно является электрическая томография, в комплексе с радиоволновым просвечиванием, гамма каротажем и термометрией, позволяющим получить надежные сведения для интерпретации томографии и георадиолокацию для выявления и контроля динамичных поверхностных геокриологических процессов.

6. Проведенные исследования показывают целесообразность геофизического мониторинга, чтобы на ранней стадии выявлять и прогнозировать опасные участки, на которых возможно возникновение оползневых процессов.

7. Избежать развития негативных процессов в ходе строительства и последующей эксплуатации карьеров полезных ископаемых можно путем своевременной разработки мероприятий по обеспечению устойчивости на основе долговременных программ натурных наблюдений за состоянием этих объектов.

Литература

- Киянец А.В. 2010. Отчет о выполнении работы по оказанию НТУ «экспертная оценка геомеханической ситуации на карьере «Нюрбинский» (заключительный).. Белгород
- Скворцов А.Г. 1987. Применение сейсмоакустических методов для изучения режима оползней. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. ВСЕГИНГЕО.
- Горяинов Н.Н., Боголюбов А.Н., Варламов Н.М., Матвеев В.С., Никитин В.Н., Скворцов А.Г. 1987. Изучение оползней геофизическими методами. Москва. Недра.
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ по результатам выполнения ИТУ Работа 753-12/03 Этап 1 "Выполнить систематизацию и анализ результатов инструментальных наблюдений деформирования бортов карьера «Нюрбинский» за 2-й цикл 2011 г. и 1-й 2012 г. " (Тема № 23-05-753)
- ОТЧЁТ по договору №42 от 11.11. 2013 г по теме " Экспертная геолого-геофизическая оценка криолитогенного строения опасных геолого-геоморфологических процессов восточного борта карьера «Нюрбинский»
- ОТЧЕТ по договору № 36 от 2010 года по теме: "Обследование участка восточного борта карьера «Нюрбинский» с помощью метода геоэлектрической томографии."
- 1995г. "Информационный отчет по договору между ВНИМС и БГРЭ на проведение работ по теме «Оценка возможностей комплекса электроразведочных скважинных и межскважинных геофизических методов в условиях Среднеморкокинского алмазного района на примере участка Разломный»." ВНИМС ИМЗ СО РАН, п. Чернышевский.
- 2008г. "Отчет о проведенных работах по поискам структур для захоронения дренажных вод карьеров трубок Нюрбинская и Ботубинская в 2007-2008 гг (Структурная партия) " Группа «АЛРОСА», Открытое акционерное общество «АЛРОСА-Нюрба», Мирнинская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ЗАО), г. Мирный.
- Семенов А.С. 1980. "Электроразведка методом естественного электрического поля". Ленинград «Недра»,
- Зыков Ю.Д. 2007."Геофизические методы исследования криолитозоны." Изд-во Московского университета. Москва, г.
- Ржевский В.В., Новик Г.Я. 1978. "Основа физики горных пород." «Недра»,.