

УДК 550.83

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД ВОСТОЧНОГО БОРТА КАРЬЕРА «НЮРБИНСКИЙ» (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

© 2015 С.А. Великин, Ю.Л. Марченко, К.И. Бажин

*Вилюйская научно-исследовательская мерзлотная станция  
Института мерзлотоведения СО РАН, п. Чернышевский, 678185; e-mail: frozen@mirny.sakha.ru*

Наиболее перспективным и наименее затратным способом обработки 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 комплексных геофизических исследований с привлечением современных технических средств.

*Ключевые слова: геофизические исследования, геокриология, мерзлые породы, карьер «Нюрбинский».*

### ВВЕДЕНИЕ

Строительство и последующая эксплуатация сооружений в криолитозоне приводят к значительным изменениям инженерно-геокриологических условий, определяющих устойчивость оснований этих объектов и сохранности природного комплекса, что особенно важно для России, криолитозона которой составляет 63% ее территории и является основным источником осваиваемых минерально-сырьевых и энергетических ресурсов.

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.

Изменение условий на поверхности, сопровождающее потепление или похолодание, может сильно трансформировать направленность мерзлотного процесса, развитие или деградацию мерзлых толщ (Конищев, 2009), а в случае антропогенных воздействий связанных с разработкой месторождений открытым способом на фоне идущего потепления климата эти явления могут многократно усиливаться.

Если не уделять достаточного внимания к изучению криогенной среды вмещающих горных пород карьеров криолитозоны, 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 геофизическим исследованиям, которые основаны на изучении естественных и искусственных физических полей, формирующихся и изменяющихся в геологической среде при воздействии на них природно-техногенных факторов. Структура этих полей и их изменение во временном интервале может отражать состояние геокриологического разреза и характер проходящих здесь процессов (Бобачев, Яковлев, 2012; Зыков, 2007).

В отличие от многих методов (наземные визуальные наблюдения, горные и буровые работы, статическое зондирование, лабораторные исследования) инженерно-геологических исследований преимущество геофизики заключается в возможности:

– получения разнообразной воспроизводимой количественной, информации о физических



Рис. 1. Обрушенный участок борта карьера «Юбилейный» (Западная Якутия, п. Айхал) в мерзлых породах.

свойствах, составе, строении горных пород и их изменчивости во времени по совокупности параметров исследуемых геофизических полей;

– опосредованного объемного изучения массивов мерзлых пород и динамики их изменения недоступных для геологических и буровых методов исследований;

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

– дистанционного изучения геокриологической среды без ее нарушения.

Не смотря на остроту проблемы, геофизические работы проводятся службами мониторинга безопасности горнодобывающих предприятий в весьма ограниченном объеме, что связано с отсутствием специализированных геофизических служб в штате горнодобывающих предприятий, а также со сложностью проведения исследований в условиях разрабатываемых месторождений. Основные сложности – это ограниченная доступность участков исследования и помехи, обусловленные наличием ЛЭП, различных электроустановок, промышленных помещений и круглосуточными карьерными работами.

Все это, в свою очередь, делает необходимым использование имеющегося опыта геофизических работ по изучению инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород карьеров (Гладков и др., 2012; Никитин, 2008; Скляр и др., 2015), который во многом перекликается с опытом геофизических исследова-

ний при оценке состояния и контроле оснований гидротехнических сооружений в криолитозоне (Великин, 2012, 2013).

Проблеме необходимости применения геофизических методов и их возможностям в системе измерительно-контрольных наблюдений за состоянием откосов карьеров и вмещающих их масс горных пород в условиях криолитозоны посвящена настоящая работа.

Авторы настоящей работы проводили геофизические исследования по изучению инженерно-геокриологического состояния вмещающих пород восточного борта карьера «Нюрбинский», расположенного в юго-восточной части Якутской алмазонасной провинции в пределах Накынского кимберлитового поля (Черкашин и др., 2015), в связи с выявленными аномально-высокими скоростями смещения земной поверхности восточного борта, направленного в сторону карьера<sup>1,2</sup> (рис. 2).

<sup>1</sup>Зырянов И.В., Коноваленко В.Я. 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 2011г. и 1-й 2012 г.» Якутнипроалмаз: Мирный, 2012. 33 с.

<sup>2</sup>Волков Ю.И., Киянец А.В. Отчет по оказанию работ по ИТУ по договору №753-10/09 между ВИОГЕМ и АК «Алроса», «Экспертная оценка геомеханической ситуации на карьере «Нюрбинский». Белгород: ФГУП ВИОГЕМ, 2010. 68 с.



## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявленные аномальные скорости смещения, обусловленные инженерно-геокриологическими процессами могут привести к потере устойчивости борта карьера, что создаст проблемы связанные с безопасной эксплуатацией алмазного месторождения.

На начало 2015 г. глубина карьера составляла 287 м, размеры по верхней бровке с учетом россыпи 1050×1650 м, расстояние от отвала до карьера 330 м, высота северного отвала от 25 (на юге) до 50 м (на севере). К югу от восточного отвала находится аварийная емкость 1-й очереди хвостохранилища ОФ № 16 и зумпф. Расстояние от крупного гидротехнического сооружения до карьера составляет 288 м, до отвала – 312 м, а от зумпфа до карьера – 125 м. Средняя отметка верхней бровки карьера +250, а дна карьера -37 абс. м. Высота уступов, отстраиваемых по проекту на переднем контуре в перекрывающих породах, соответствуют 30 м, а угол наклона 35° для уменьшения поступления в карьерное поле поверхностных вод с прилегающей территории и отвалов вскрышных пород за пределами конечного контура карьера предусмотрены нагорные канавы по западному и восточному бортам с отводом, поступающих в них стоков, в верховье хвостохранилища (Черкашин и др., 2015).

Объект достаточно хорошо изучен различными методами в процессе изысканий (Дроздов, Попов, 2014; Скляров и др., 2015; Ступин, Антипина, 2012; Черкашин и др., 2015), но вмещающие породы изучались недостаточно детально и без должного комплексирования, направленного на изучение и прогноз возникновения в процессе разработки карьера возможных негативных инженерно-геокриологических процессов.

По результатам проведенных нами комплексных геофизических исследований определены участки развития и активизации мерзлотных процессов, представляющих опасность при эксплуатации месторождения.

Комплекс полевых геофизических исследований включал сейсморазведку, геоэлектрическую томографию, георадиолокацию, гамма-каротаж, многочастотное односкважинное радиоволновое профилирование (ОРВП-МЧ), радиоволновое просвечивание (РВГИ) и геотермию. Каротажные исследования проводила фирма «Радионда». Для анализа ситуации также использовались данные бурения Мирнинской экспедиции АК АЛРОСА и данные определения физических свойств Института мерзлотоведения (ИМЗ) СО РАН<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Великин С.А., Марченко Ю.Л., Бажин К.И. и др. Отчет о выполнении геофизических исследований по договору № 25 от 24 апреля 2014 года между ВНИМС и АК «Алроса» «Геолого-геофизическая оценка геокриологического состояния верхних горизонтов вмещающих пород карьеров Нюрбинский и Ботубинский». Чернышевский: ВНИМС, 2014. 74 с.

Инженерно-геологические условия восточного борта изучаемого карьера «Нюрбинский» характеризуются заложением его в терригенно-осадочных песчаных, алевролитистых, глинисто-алевритистых отложениях нижней и средней юры (частично и верхнего триаса) перекрытых четвертичными делювиально-элювиальными образованиями, представленными сильно льдистыми суглинками и супесями.

В мерзлом состоянии перекрывающие трубку юрские отложения представляют собой довольно монолитную толщу. Прочность на сжатие этих отложений составляет около 40 МПа, объемный вес 1.8-2.5 кг/м<sup>3</sup>. В талом состоянии прочность их резко снижается, а верхняя часть разреза этих отложений превращается в пльвун. В целом, перекрывающие карбонатные породы на дневной поверхности под действием атмосферных осадков легко разрушаются до рыхлого состояния (Ржевский, Новик, 1987).

Для изучения инженерно-геокриологических условий на восточном борту карьера было специалистами АК «Алроса» было пробурено 10 мерзлотных скважин по 12 м и три структурные скважины по 100 м (рис. 2). Описание скважин производилось специалистами Вилуйской научно-исследовательской мерзлотной станции и ИМЗ СО РАН. Во всех скважинах проводились температурные наблюдения.

В непосредственной близости к карьере в скважинах СМ-5 и СМ-6 (рис. 2), в верхней части разреза на глубине 5-7 м от поверхности в песчано-глинистых породах вскрыты шлировые и повторно-жильные льды, которые могут оказывать значительное влияние на процессы деформации прибортового пространства карьера. Участок верхней части разреза со вскрытыми льдами может активно принимать участие в годовом теплообороте.

При бурении на участке расположения скважин СМ-2, СМ-9, СМ-10 (рис. 2) на глубинах 3.5-6.0 м наблюдались провалы бурового инструмента. Ниже интервала провалов следовали обводненные грунты, часто с включениями льда, кроме этого на описываемом участке встречаются суффозионные воронки диаметром до 3 м и глубиной до 1 м (рис. 3а). В 10-20 м от уступа карьера на участке расположения ИГС-7 прослеживаются эрозионные борозды временных потоков воды (рис. 3б).

В непосредственной близости от линий юго-восточных и северо-восточных реперов (рис. 2), наблюдаются участки с активным проявлением заболачивания, при этом процесс заболачивания происходит не только за счет вод атмосферных

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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 глубины границы протаивания, образованию таликов, понижению температуры начала замерзания пород, интенсификации процесса деформаций.

На основании данных наших геофизических и геокриологических исследований и температурных наблюдений в скважинах восточного борта карьера 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  $40^\circ$  – обеспечивает только устойчивость от

поверхностных осыпных и оползневых явлений, но не обеспечивает глубинную устойчивость от тангенциальных напряжений от веса пород, развивающихся в пластично-мерзлой толще (Ржевский, Новик, 1978).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Сейсмопрофилирование.** При полевых наблюдениях использовалась цифровая многоканальная сейсмостанция «Summit Compact» (компания DMT, Германия).

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

На скоростных разрезах продольных и поперечных волн (рис. 4) выделены два сейсмических слоя, отличающихся по градиенту



Рис. 3. Суффозионная воронка (а) и эрозионные борозды временных потоков (б) в карьере «Нюрбинский».

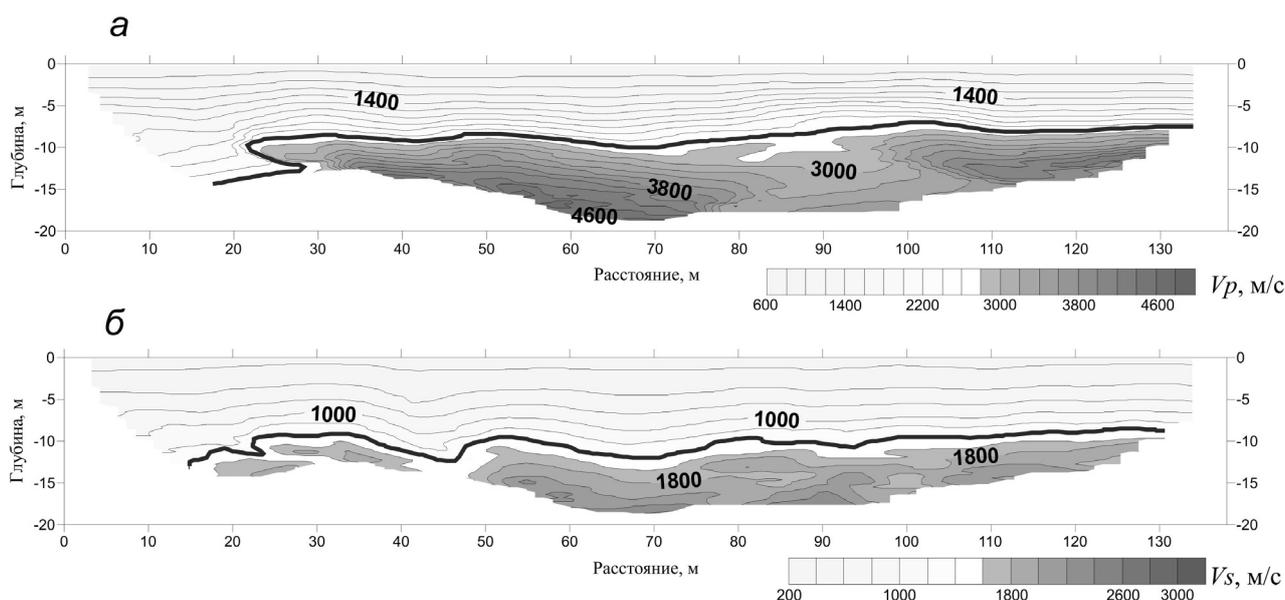


Рис. 4. Сейсмические разрезы в изолиниях скорости: продольных волн (а) и поперечных волн (б). Сечение изолиний 200 м/с. Утолщенной изолинией показана сейсмическая граница между первым и вторым сейсмическими слоями.

скорости и характеру поведения изолиний скорости. Сейсмическую границу между этими двумя слоями можно трактовать как область разрушенных или трещиноватых горных пород.

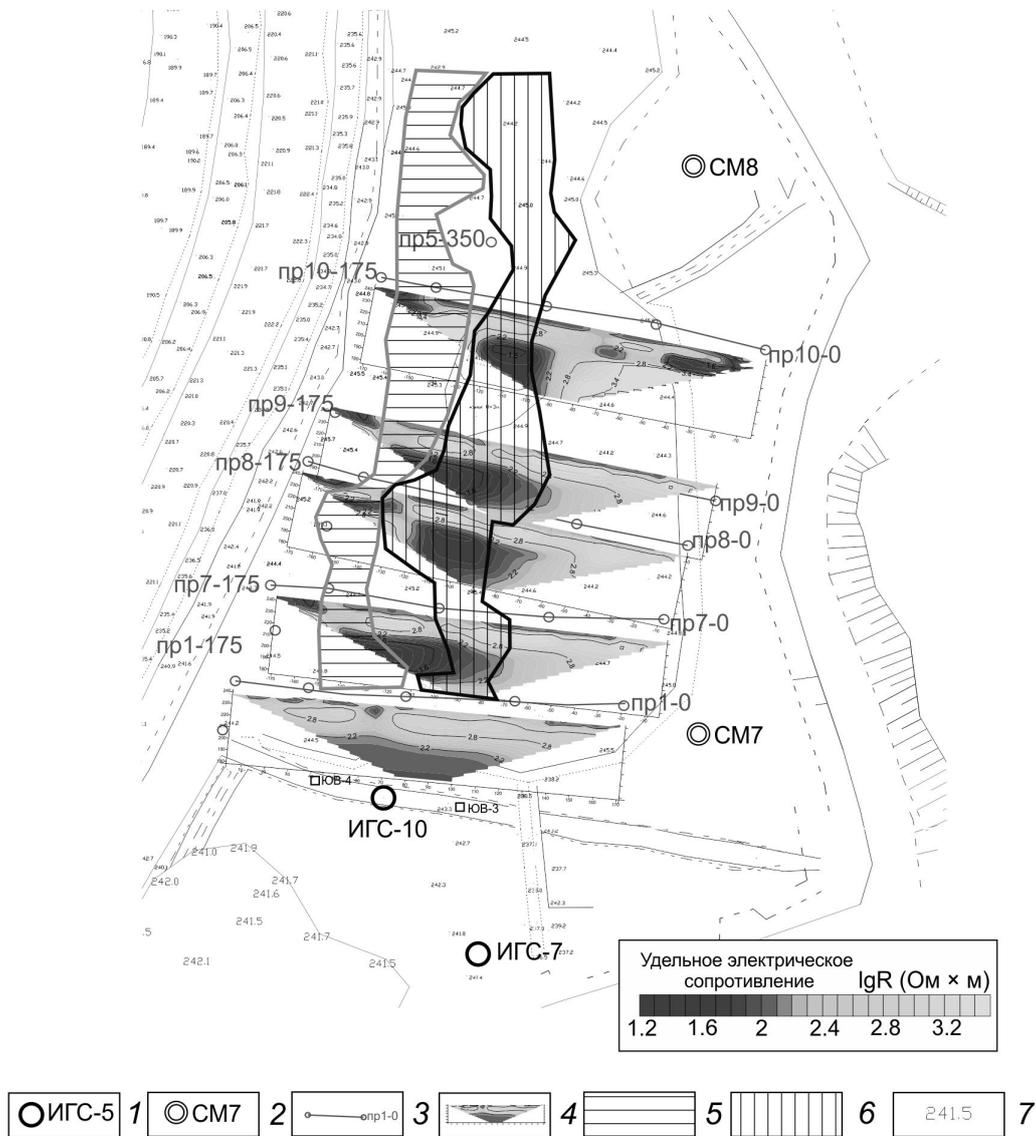
На сейсмических картах-срезах отношения скоростей  $V_s/V_p$  и коэффициента Пуассона выделяется ряд линейных зон субмеридионального простирания. Эти зоны представляют собой области с чередующимися значениями параметра  $V_s/V_p$  (рис. 5) и коэффициента Пуассона: области повышенных значений параметра  $V_s/V_p$  и пониженных значений коэффициента Пуассона сменяются областями пониженных значений параметра  $V_s/V_p$  и повышенных значений коэффициента Пуассона. Выделенные зоны некоторым образом коррелируются с более глубинным строением геоэлектрических

разрезов, что возможно связано с структурно-тектоническим строением участка.

Наличие зон субмеридионального простирания чередующихся значений параметра  $V_s/V_p$  и коэффициента Пуассона можно трактовать как отражение механизма отрыва оползневой тела при его смещении в сторону склона карьера (Горяинов и др., 1987).

**Геоэлектрическая томография.** Для работ методом геоэлектрической томографии использовалась многоканальная и многоэлектродная электроразведочная аппаратура Syscal-Pro® (фирма Iris Instruments, Франция).

Результаты обработки полевых данных электротомографии показывают, что геологическая толща исследуемого участка расчленяется на высокоомную верхнюю часть и относительно



## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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. Выделен относительно высокоомный слой мощностью ~ 20 м, присутствующий на многих профилях (рис. 6). Можно предположить, что этот слой связан с особенностями геокриологического состава и строения верхней части нижнеюрских отложений, так как по геокриологическому описанию ряда скважин, в том числе скважин РВП-12, и РВП-14 (рис. 2), он характеризуется, как морозобойный, умеренно трещиноватый и льдонасыщенный.

По данным геоэлектрической томографии можно выделить основные особенности геоэлектрического разреза. Литологически однородная толща чередующихся алевритов и песчаников расчленяется по удельному сопротивлению на высокоомный поверхностный слой и подстилающие его низкоомные участки разреза. Практически все низкоомные аномалии расположены в интервале глубин 25-65 м, что соответствует толще глинистых алевропесчаников и сильновыветрелых аргиллитов. В геологическом отношении высокоомные участки приурочены к приповерхностным нижнеюрским отложениям J1s-2-3. Латеральная неоднородность, по-видимому, связана с фациальными особенностями строения участка.

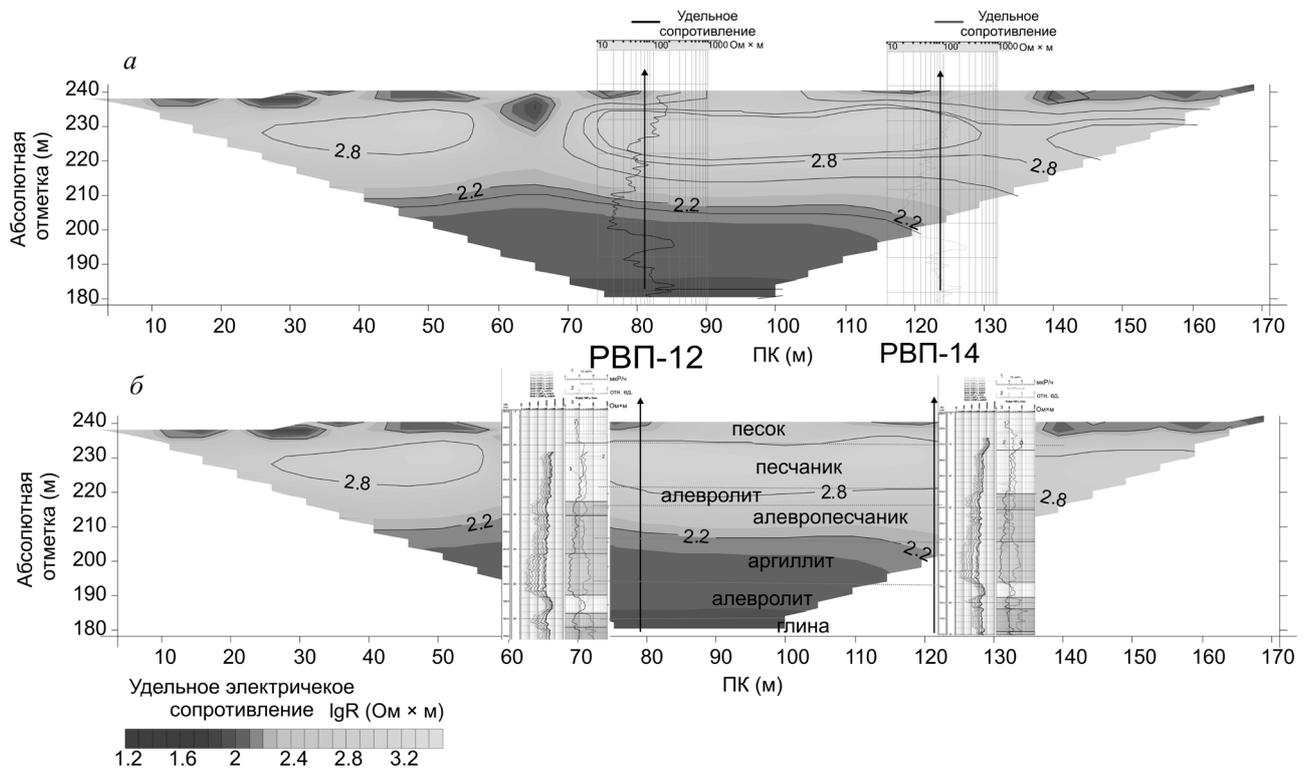
Следует отметить, что присутствие в разрезах, выделенных нами по данным каротажа

и наземных геофизических исследований, довольно крупных тел изометричной формы и, подстилающих их, пластов глинистых пластично-мерзлых пород может быть причиной развития оползневой активности ниже слоя годовых колебаний температур, то есть ниже 20-25 м.

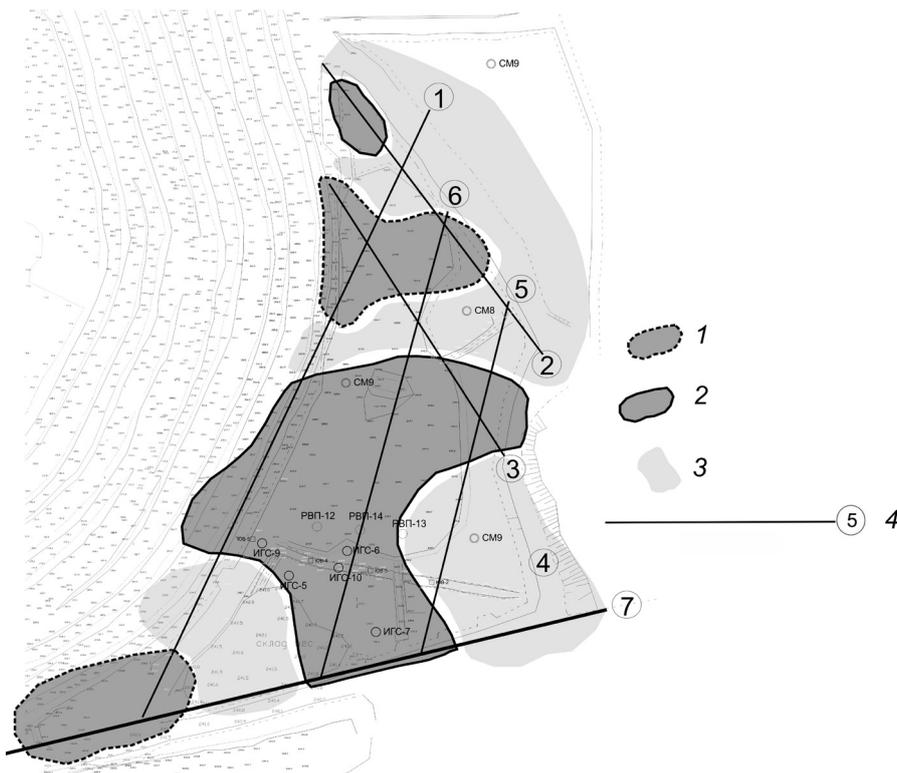
Это предположение вполне обосновано, поскольку полученное в результате проведенных исследований геоэлектрическое строение участка восточного примыкания карьера (рис. 5) совпадает в плане с выделенными зонами повышенных и пониженных значений отношения скоростей продольных и поперечных волн, полученным с помощью сейсмопрофилирования. По карте отношения скоростей продольных и поперечных волн выделяются ослабленные зоны и возможные трещины бокового отпора, а геоэлектрические разрезы в пределах имеющих скважин дают почти полное соответствие изученных параметров по керну и каротажу геологическим разрезам скважин (рис. 6).

По данным геоэлектротомографии выделен подковообразный участок пониженных сопротивлений (рис. 7), который предположительно связан с толщиной глинистых алевропесчаников и сильновыветрелых аргиллитов.

**Георадиолокация.** Георадиолокационные исследования довольно широко используются при изучении состояния верхней части геокриологического разреза за счет высокой разности



**Рис. 6.** Сопоставление данных геоэлектротомографии с результатами каротажных исследований. Геоэлектротомография и ОРВП (а). Геоэлектротомография, РВП и гамма-каротаж (б).



**Рис. 7.** Картирование ослабленных участков по данным геоэлектротомографии вблизи борта карьера Нюрбинский: 1 – участки высокого удельного сопротивления; 2 – участки низкого удельного сопротивления; 3 – участки промежуточных значений удельного сопротивления; 4 – линия профиля и его номер. Остальные условные обозначения на рисунке 2.

электрических свойств мерзлых и талых пород (Владов, Старовойтов, 2004).

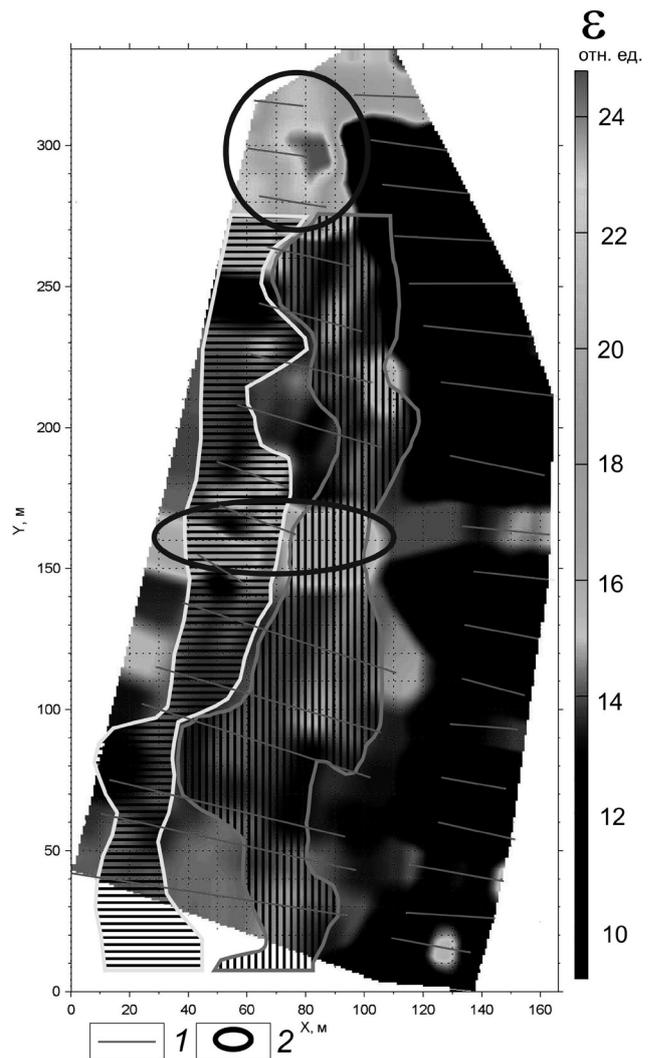
Полевые наблюдения на участке исследования методом георадиолокации производились аппаратурой SIRSystem-2000 (фирма GSSI, USA) с антенной 200D и частотой измерений 200 МГц.

Результаты обработки георадиолокации (рис. 8) по сети широтных профилей, выполненные в формате 3D, показывают, что разуплотненные участки на глубине от 4 до 10 м в плане укладываются в приграничную линию зоны разрушенных пород, выделенную по данным сейсмопрофилирования на срезе глубины 12 м. Предположительно это признак трещин отрыва при образовании оползней.

В северной части района исследований (рис. 8) зона повышенных значений диэлектрической проницаемости соответствует обводненному участку борта карьера, с зафиксированным выходом воды. По данным совместной интерпретации георадиолокации и геоэлектротомографии, а также на основании визуальных наблюдений (рис. 9) была выделена граница обводнения грунта.

**Скважинные методы исследования.** С целью изучения межскважинного пространства в трех наблюдательных скважинах РВП12, РВП13,

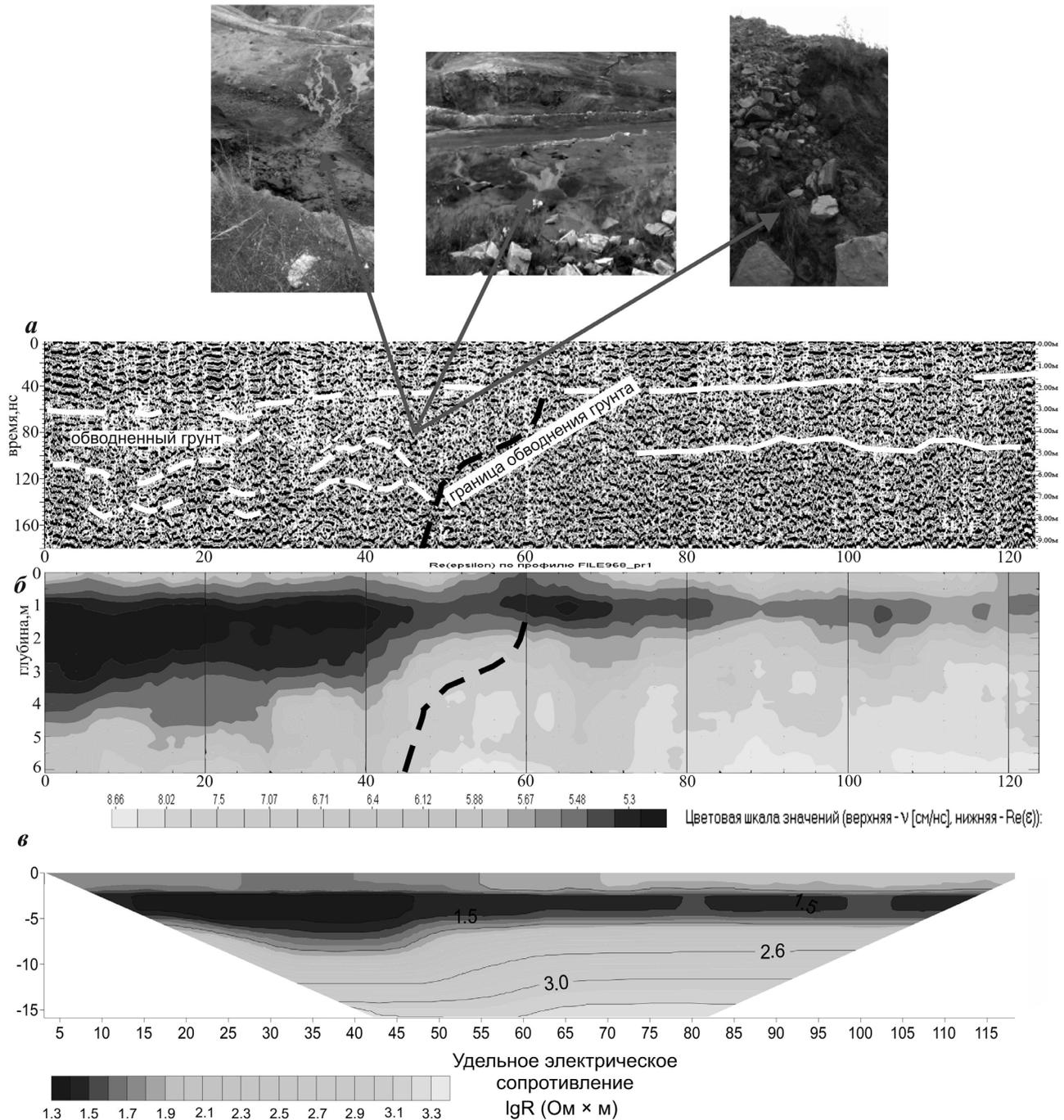
**Рис. 8.** Срез в изолиниях диэлектрической проницаемости на глубине 9 м по данным георадиолокации: 1 – профили георадиолокации; 2 – зоны повышенной влажности. Остальные условные обозначения показаны на рисунке 5.



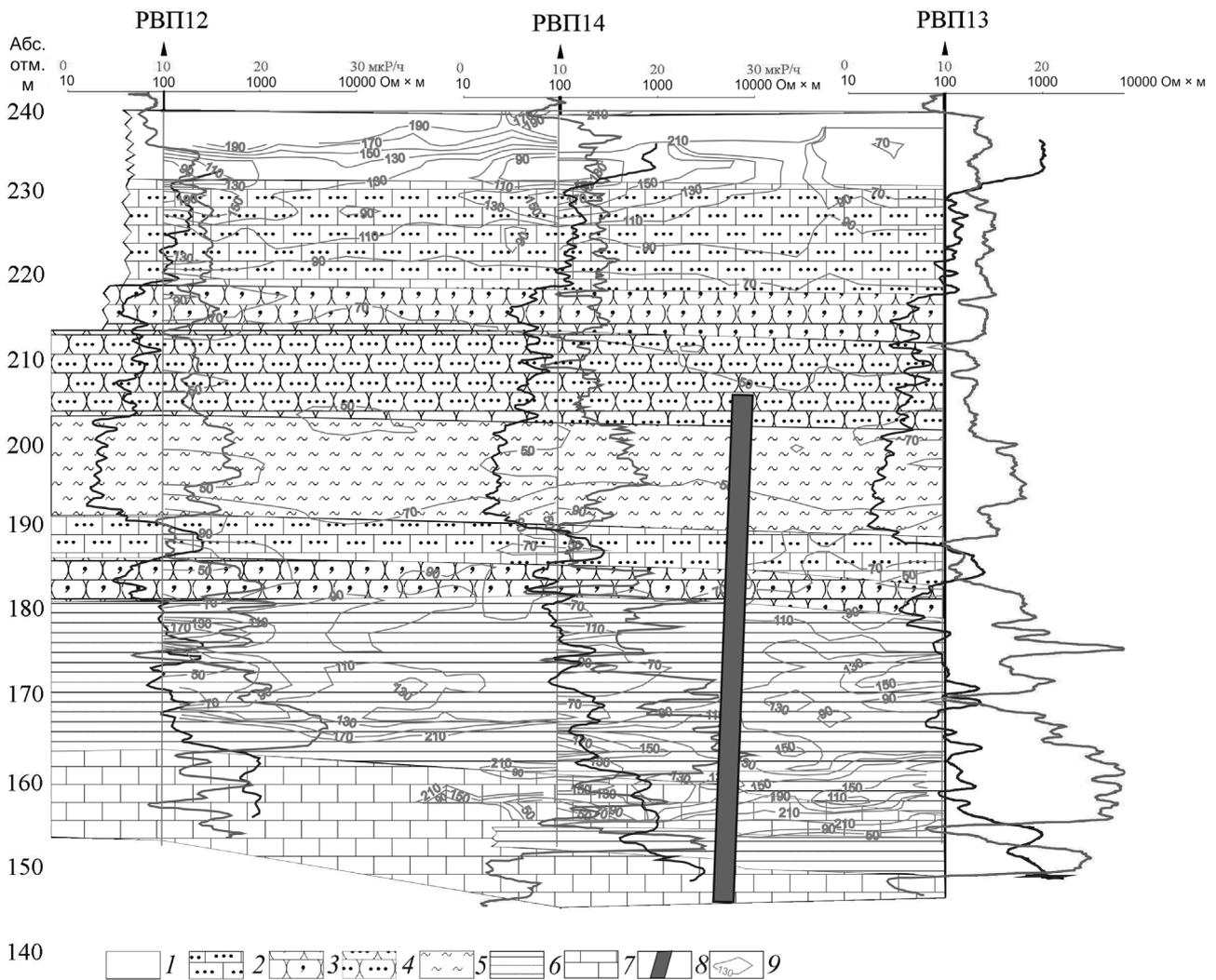
## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

РВП14, ориентированных перпендикулярно восточному борту карьера в непосредственной близости от него (рис. 2), были проведены односкважинное радиоволновое профилирование многочастотным методом электрокаротажа (ОРВП-МЧ), в диапазоне частот от 1.25 МГц до 50 МГц, радиоволновое просвечивание (геоинтроскопия) межскважинного пространства (РВГИ) на частоте 312 кГц аппаратурой фирмы «Радионда» и гамма-каротаж аппаратурой Кура-2м.

Из анализа обобщенного разреза по линии скважин РВП12 – РВП14 – РВП13 (рис. 10), полученного в результате проведенных односкважинных исследований, следует, что на протяжении порядка 200 м, вмещающие породы залегают горизонтально, либо субгоризонтально. Можно проследить даже маломощные, порядка 1 м, пласты на достаточно значительное расстояние. Горизонтальное залегание пластов нарушается в нижней части разреза. Это нарушение может быть обусловлено либо унаследованием рельефа



**Рис. 9.** Геоэлектрический разрез участка разгрузки грунтовых вод по данным георадиолокации и геоэлектротомографии. Радарограмма георадиолокационной съемки (а); изолинии диэлектрической проницаемости (б); данные геоэлектротомографии (в). На фотографиях видны следы обводнения грунта.



**Рис. 10.** Обобщенный разрез по результатам односкважинных наблюдений: 1 – песок; 2 – песчаник; 3 – алевролит; 4 – алевропесчаник; 5 – аргиллит; 6 – глина; 7 – известняк; 8 – предполагаемая зона структурного нарушения; 9 – изоомы.

от карбонатного цоколя, либо структурным нарушением в данной области. На основании этого, было выделено возможное место нарушения согласного залегания осадочных пород с амплитудой 3 м. Подобная мощная субвертикальная область является ослабленной зоной и может быть потенциальным источником опасности для устойчивости восточного борта карьера.

Проведенные геофизические исследования показали свою высокую информативность при изучении инженерно-геологических и геокриологических условий и применимость использованного комплекса для последующего мониторинга инженерно-геокриологической обстановки вмещающих мерзлых пород участка карьера «Нюрбинский».

### ВЫВОДЫ

В результате инженерно-геофизических и инженерно-геокриологических исследова-

ний в примыкании восточного борта карьера «Нюрбинский» выявлены потенциально опасные зоны, состояние которых, необходимо контролировать.

Полученные данные подтверждают, что верхняя часть рыхлых отложений (10-15 м) достаточно раздроблена и разуплотнена, есть незначительные воронки, возможно термокарст. Фиксируются предполагаемые трещины отрыва, зоны разуплотнения, зоны проседания грунтов и вероятные зоны обводнения пород.

Основной причиной смещения бортов исследуемого карьера, разрабатываемого в вечномерзлых породах, является технологическая деятельность (примыкающие к карьере отвалы, разгрузка грунтовых вод в котлованы и их возможная подпитка водами из хвостохранилищ).

Смещения земной поверхности восточного борта карьера «Нюрбинского», направленные в сторону карьера, вызваны особенностями геологического строения вмещающих пород, а

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

спусковым механизмом служат поверхностные геокриологические процессы, спровоцированные антропогенной деятельностью. Зеркалом скольжения пород, примыкающих к бортам карьера, скорее всего, являются пласты глин, залегающие на глубинах до 40 м.

Комплексные геофизические исследования, включающие электрическую томографию, сейсморазведку, радиоволновое просвечивание, гамма каротаж и термометрию позволили обнаружить и проследить смещение пород, примыкающих к восточному борту «Нюрбинского» карьера и получить надежные сведения о состоянии горных пород. Применение георадиолокации позволило выявлять поверхностные геокриологические процессы и контролировать динамику их развития.

Проведенные геофизические исследования восточного борта карьера «Нюрбинский» показали, что выявлять негативные процессы в мерзлых породах, вмещающих карьеры, и следить за их развитием в ходе строительства и последующей эксплуатации карьеров для добычи полезных ископаемых можно путем проведения опорных (до строительства) и режимных (в процессе строительства) комплексных геофизических работ. Это позволит провести своевременную разработку мероприятий по обеспечению устойчивости горных выработок на основе долговременных программ натуральных наблюдений за состоянием этих объектов.

### Список литературы

- Бобачев А.А., Яковлев А.Г.* Аппаратно-методические комплексы для геофизических исследований по методике электротомографии. // Нефть. Газ. Новации. 2012. № 2. С. 74-80.
- Великин С.А.* Особенности геофизического мониторинга ГТС в криолитозоне // Наука и образование 2012. № 4. С. 29-34
- Великин С.А.* Возможности использования геофизических методов при изучении состояния гидротехнического сооружения в криолитозоне на примере накопителя минерализованных вод Тымтайдах. // Инженерные изыскания 2013. № 9. С. 52-59.
- Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
- Гладков А.С., Кошкарёв Д.А., Черемных А.В., Потехина И.А.* Структурно-вещественные исследования трубки Нюрбинская (Средне-Мархинский район Якутской алмазоносной провинции) // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. Институт физики Земли РАН. М.: ИФЗ РАН, 2012. Т. 2. С. 295-298.
- Горяинов Н.Н., Боголюбов А.Н., Варламов Н.М. и др.* Изучение оползней геофизическими методами. М.: Недра, 1987. 157 с.
- Дроздов А.В., Попов В.Ф.* Решение геоэкологических проблем при вскрытии водоносных горизонтов на коренных месторождениях алмазов в Накынском и Алаkitском районах Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы Всероссийской научно – практической конференции. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2014. С. 150-155.
- Зыков Ю.Д.* Геофизические методы исследования криолитозоны. М.: Изд-во МГУ, 2007. 264 с.
- Конищев В.Н.* Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2009. Т. 5. № 4. С. 10-20.
- Никитин Р.Я.* Оценка трещиноватости массива горных пород на рабочих уступах карьера «Нюрбинский» с помощью сейсмометрических методов для выбора оптимальных параметров БВР // Наука и образование. 2008. № 1. С. 7-10.
- Ржевский В.В., Новик Г.Я.* Основа физики горных пород. М.: Недра, 1978. 390 с.
- Склярёв Е.В., Алексеев С.В., Егоров К.Н. и др.* Особенности отработки коренных месторождений алмазов в сложных горно-геологических условиях восточного сектора Арктики. Фундаментальные исследования Президиума РАН. (<http://www.ras.ru/FStorage/FileInfo.aspx?catalogId=bc1f245b-9bf7-419c-b15c-292b9c4bf031&id=42ea960d-52f1-4259-886a-eda0e6bcac6e>).
- Ступин В.П., Антипина К.И.* геодезический мониторинг карьера Нюрбинского ГОКа // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 12 (71). С. 122-126.
- Черкашин С.Г., Дроздов А.В., Мельников А.И.* Оценка состояния бортов карьера «Нюрбинский» по результатам гидрогеомеханического мониторинга // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5. С. 276-281.

ВЕЛИКИН и др.

**GEOPHYSICAL RESEARCH DURING THE STUDY OF ENGINEERING  
AND GEOCRYOLOGICAL STATE OF HOST ROCKS IN THE EASTERN  
MINE «NYURBA» (WESTERN YAKUTIA)**

**S.A. Velikin, U.L. Marchenko, K.I. Bazhin**

*Vilyui Permafrost Research Station MPI SB RAS  
VNIMS, Chernyshevsky village, Russia, 678185*

The most perspective and least expensive way of mining operations for a number of minerals is an open-cast mining. The primary danger during construction and operation of open-cast mines in permafrost zone is posed by 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 combined with modern tools and techniques.

*Keywords: geophysical surveys, geocryology, frozen rocks, diamond quarry «Nyrba».*