

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПЛОЩАДОК КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

СЯСЬКО А. А.¹, ГРИБ Н. Н.², ИМАЕВ В. С.³, ГРИБ Г. В.²

¹ ООО «Нерюнгригеофизика»

(Россия, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Геологов, 41/2)

² Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета
(Россия, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16)

³ Институт земной коры СО РАН

(Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128)

Цель. Для контроля целостности гидроизоляции площадки кучного выщелачивания были выполнены исследовательские работы по выбору геофизических методов для обнаружения протечек гидроизоляционного основания подушки площадки кучного выщелачивания.

Методы исследования. Определен метод, пригодный к использованию при поиске и локализации возможных протечек гидроизоляции. В качестве такого метода выбрана георадиолокация с антенным блоком АБ-400. Определена также методика разбраковки аномалий. Возможные протечки выделяются локальными углублениями аномалий высоких амплитуд. Разбраковка аномалий надмембранных и подмембранных скоплений жидкости производится по разрезам диэлектрической проницаемости, на которых протечки под мембрану выделяются как интервалы относительного понижения диэлектрической проницаемости пород.

Результаты исследований. Показано, что для обеспечения высокой вероятности обнаружения протечек необходима густая сеть георадиолокационных профилей – минимум с шагом 5 м между профилями.

Выводы. Установлено, что разрешающей способности метода электротомографии недостаточно для выделения тонких особенностей верхней части разреза. Георадиолокационные исследования, выполненные с антенным блоком АБДЛ «Тритон», показали неэффективность этого вида антенных блоков при решении поставленных задач.

Ключевые слова: кучное выщелачивание; гидроизоляция; геомембрана; геофизические методы; георадиолокация.

Введение. Минерально-сырьевая база России за последнее десятилетие существенно сократилась. Новые экономические требования к качеству минерального сырья и экологическому обеспечению безопасности освоения месторождений резко сузили перечень рентабельных для отработки объектов. В этих условиях принципиальное значение имеет создание и освоение таких технологий эффективной добычи полезных ископаемых, которые обеспечивают при более низких расходах, по сравнению с традиционными методами, увеличение объемов получаемой продукции [1].

Несомненно, что к таким технологиям относится кучное выщелачивание (КВ) золота, серебра, меди, урана и других металлов не только из первичных руд, но и из техногенных отходов горных производств (старых отвалов и хвостохрани-

лиц), содержащих эти металлы [1]. Интерес к КВ объясняется тем, что эта технология обладает рядом достоинств, является предпочтительной по отношению к традиционным технологиям. Малооперационность технологических процессов технологии КВ обуславливает существенное снижение как капитальных, так и эксплуатационных затрат. Наряду с достоинствами технологии существует и ряд недостатков, одним из основных является использование в растворителе цианида (как правило, в виде цианистого натрия, калия или кальция), который наряду с высокой эффективностью и избирательностью является высокотоксичным веществом, при применении которого требуются строгое соблюдение техники безопасности и охраны внешней среды, создание непроницаемых оснований площадок КВ, учет выпадения осадков и возможности разрушения штабеля и т. д.

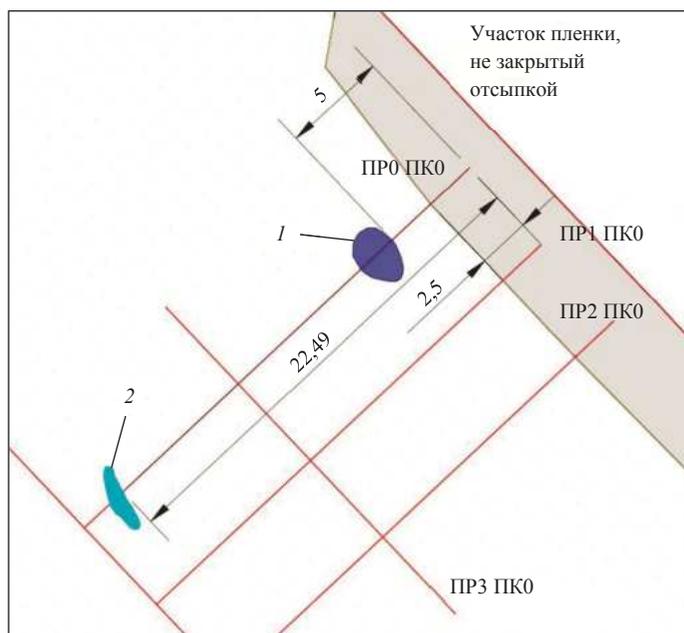


Рис. 1. Ситуационный план исследовательских работ на площадке кучного выщелачивания, профили ПР1–ПР2:

1 – локальный участок, заполненный водой под геомембраной; 2 – локальный участок, заполненный водой на поверхности геомембраны

Fig. 1. Research site-plan at the heap leaching pad, profiles PR1–PR2:
1 – local site, filled with water under the geomembrane; 2 – local site, filled with water at the geomembrane's surface

Основное требование к площадке – она должна оставаться непроницаемой в течение всего периода эксплуатации полигона и дополнительного времени, необходимого для «жизни» штабеля на стадии его обезвреживания химическими способами или же за счет естественного разложения оставшегося цианида. Гидроизоляция площадки КВ преследует две цели: предотвратить возможные потери продуктивных растворов при эксплуатации и исключить загрязнение окружающей среды в случае утечки растворителей, в особенности опасных цианидных растворов [2].

Целью данных исследований являлась разработка методики мониторинга состояния гидроизоляции площадки кучного выщелачивания и обеспечения геологической безопасности.

Методика проведения исследований. Для контроля целостности гидроизоляции площадки КВ были выполнены научно-исследовательские работы

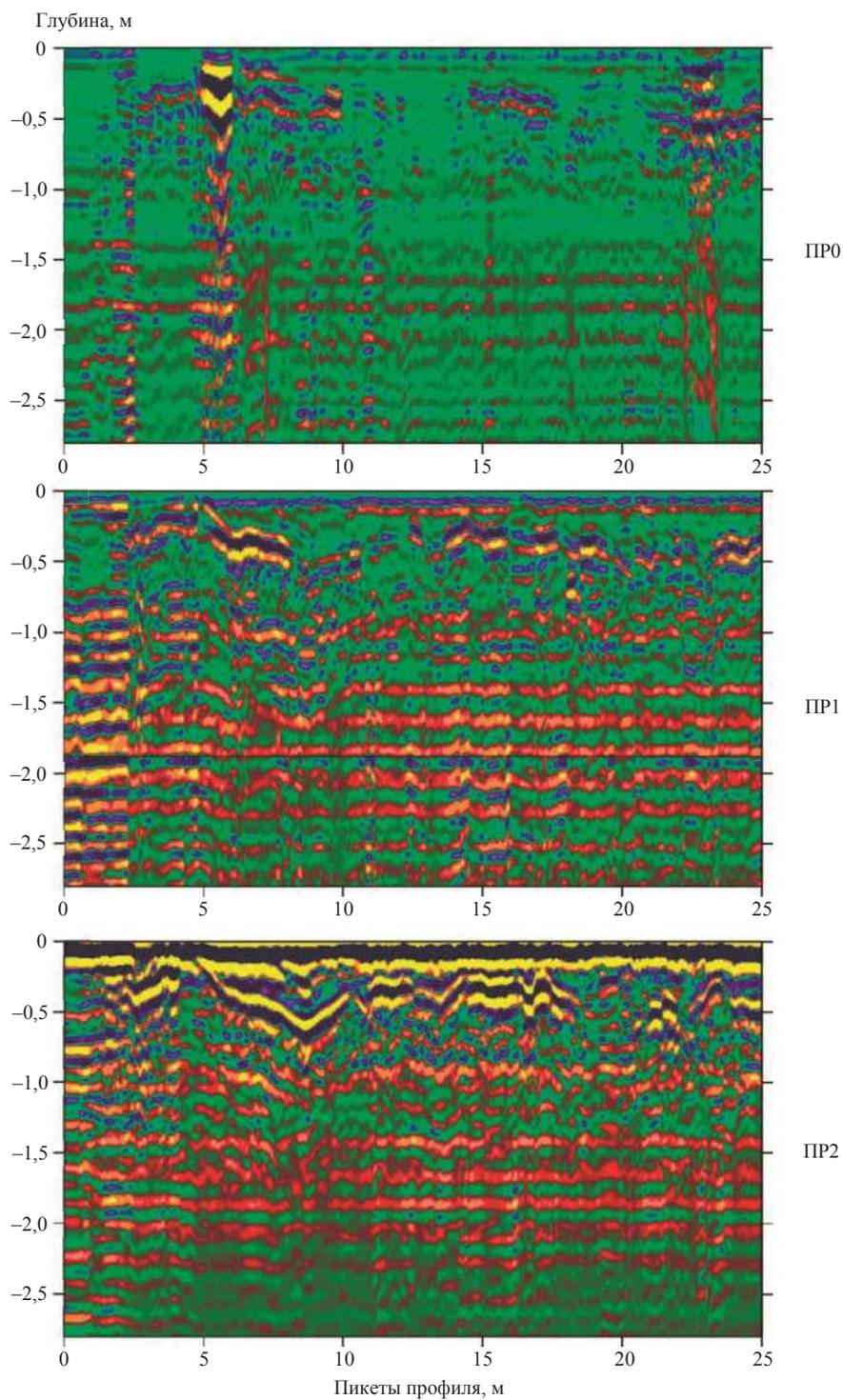


Рис. 2. Исходные радарограммы по профилям ПР0–ПР2
Fig. 2. Initial radargrams on profiles PR0–PR2

по выбору геофизических методов для обнаружения протечек гидроизоляционного основания подушки площадки кучного выщелачивания. Работы проведены в весенний период года на частично готовой к эксплуатации панели площадки КВ.

Основная задача проектируемого комплекса геофизических методов – надежное выявление вероятных протечек гидроизоляционного основания на этапе подготовки площадки к эксплуатации.

Программа работ предусматривала два вида геофизических исследований – электротомографию и георадиолокационное зондирование.

При выполнении научно-исследовательских работ планируемый к производству комплекс был расширен: с целью сравнения результатов были выполнены георадиолокационные исследования с антенным блоком АБДЛ «Тритон».

Георадиолокационное зондирование. Принцип действия аппаратуры подповерхностного радиолокационного зондирования (в общепринятой терминологии – георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами – уровень грунтовых вод, контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и тальми грунтами, между коренными и осадочными породами и т. д. [3, 4].

Как пример возможности выделения насыщенных влагой интервалов приведем данные по зависимости относительной диэлектрической проницаемости среды от влажности для разнозернистых песков: при влажности 0 % диэлектрическая проницаемость песков имеет значение 3,2, при 4 % – 5, при 8 % – 7 и при 16 % – 15 [5, 6]. Таким образом, незначительное изменение влажности вызывает достаточно контрастное изменение диэлектрических свойств песков. Аналогичная ситуация наблюдается со всеми тальми рыхлыми породами.

Георадиолокационное профилирование проведено комплектом аппаратуры «ОКО-2» с антенным блоком АБ-400. Центральная частота блока 400 мГц, глубинность до 5 м, разрешающая способность – до 0,15 м.

Дополнительно к основному виду работ проведены георадиолокационные исследования с антенным блоком АБДЛ «Тритон». Центральная частота блока 50 мГц, глубинность до 18 м, разрешающая способность – 0,5–2,0 м.

Электротомография. Электротомография — это сплошное электрическое зондирование, основанное на применении многоэлектродных электроразведочных кос, подключаемых к аппаратуре, способной коммутировать токовые и измерительные электроды на произвольные выводы косы [7, 8].

Электрическое зондирование проведено электроразведочной станцией «Скала-48». Максимальный разнос установки – 235 м. Этот разнос позволил провести изучение геологического строения участков работ до глубины примерно 43 м.

Конструкция станции «Скала-48» предусматривает контроль качества заземления, исключая таким образом возможность получения ложной информации при некачественном заземлении (*Электроразведочная многоэлектродная аппаратура «Скала-48»*. URL: http://nemfis.ru/pdf/siber_48_instruction_manual.pdf).

Целью геофизических исследований стал выбор метода обнаружения протечек гидроизоляционного основания подушки площадки кучного выщелачивания.

Исходя из этого, было принято решение моделировать ситуацию протечки геомембраны. Предполагалось выполнить профилирование при исходных условиях, затем выполнить налив воды под геомембрану и повторно выполнить профилирование. В процессе поиска мест, технологически пригодных для выполнения наливных работ (интервалов, где можно было бы подать воду под мембрану без наруше-

ния целостности самой мембраны), была обнаружена уже готовая модель протечки: под геомембраной найден локальный участок 1, заполненный водой, предположительно мерзлотного происхождения, диаметром примерно 2 м (рис. 1). Вода была автохтонного происхождения – результат таяния мерзлых пород отсыпки, геомембрана на площади изучения была неповрежденной.

Через обнаруженный на основании подушки заполненный водой участок с четко локализованными краями был задан геофизический профиль 0. Для повышения достоверности полученных результатов параллельно профилю 0 с интервалом 5 м были пройдены профиль 1 и профиль 2, в крест этим профилям – профиль 3 (рис. 1). Следует отметить, что на пикете 22,5 м профиль 0 пересекает локальный участок 2, заполненный водой на поверхности геомембраны. Такое стечение обстоятельств оказалось очень удачным – на одном профиле имеется возможность наблюдать эффект от скопления жидкости над геомембраной и под геомембраной, что позволило выработать рекомендации при разбраковке аномалий.

Результаты, анализ и обсуждение. На рис. 2 приведены радарограммы по профилям 0–2. На георадиолокационном разрезе по профилю 0 скопление воды под геомембраной выделяется однозначно областью высоких амплитуд отраженного сигнала на пикете 5 м. Локальный участок воды на поверхности также выделен, но с гораздо более низкой интенсивностью на пикете 22,5 м (рис. 2).

Дальнейшая обработка георадиолокационных данных проведена в программе «Георадар-Эксперт» (*Программа автоматизированной обработки георадиолокационных данных «ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ»*). URL: <http://www.georadar-expert.ru/>), [9], в основу которой положены методы цифровой обработки изображений, изложенные в работе [10], результаты обработки – разрезы диэлектрической проницаемости – представлены на рис. 3. При анализе полученных разрезов сделан вывод о возможности контрастного выделения аномалий протечек жидкости под геомембрану. При этом методика выделения достаточно проста – при невозможности однозначно выделить аномалии протечки по первичным радарограммам, производится анализ разрезов амплитуд отраженных сигналов. На этих разрезах возможные протечки выделяются локальными углублениями аномалий высоких амплитуд. Разбраковка аномалий надмембранных и подмембранных скоплений жидкости производится по разрезам диэлектрической проницаемости, на которых протечки под мембрану выделяются как интервалы относительного понижения диэлектрической проницаемости пород (рис. 3).

Интересны результаты, полученные на профилях 1–3. Несмотря на то что локальный участок скопления воды под мембраной был в непосредственной близости от профилей 1 и 3 (рис. 1–3), каких-либо значимых аномалий на этих профилях не выявлено. На рис. 4 представлены сводные данные по профилю 0, позволяющие сделать вывод о возможности применения георадиолокации при обнаружении протечек геомембраны.

Из анализа ранее приведенных результатов следует: первое, что нужно выделить на георадиолокационном разрезе – геомембраны, которые однозначно выделяются в виде интенсивно отражающей границы на всем протяжении профиля, переувлажненные участки пород основания площадки КВ (протечки воды под мембрану) выделяются как интервалы относительного понижения диэлектрической проницаемости пород. Разрешающая способность антенного блока позволяет выделить слой песчаной отсыпки под щебнем, что также представляется очень важным: существенное уменьшение мощности слоя потребует особого внимания при анализе аномалий в этом интервале.

По результатам исследований методом электротомографии аномальных изменений электрического сопротивления на исследуемых профилях (0–3) не установлено, т. е. разрешающей способности метода не хватило для выделения тонких особенностей верхней части разреза.

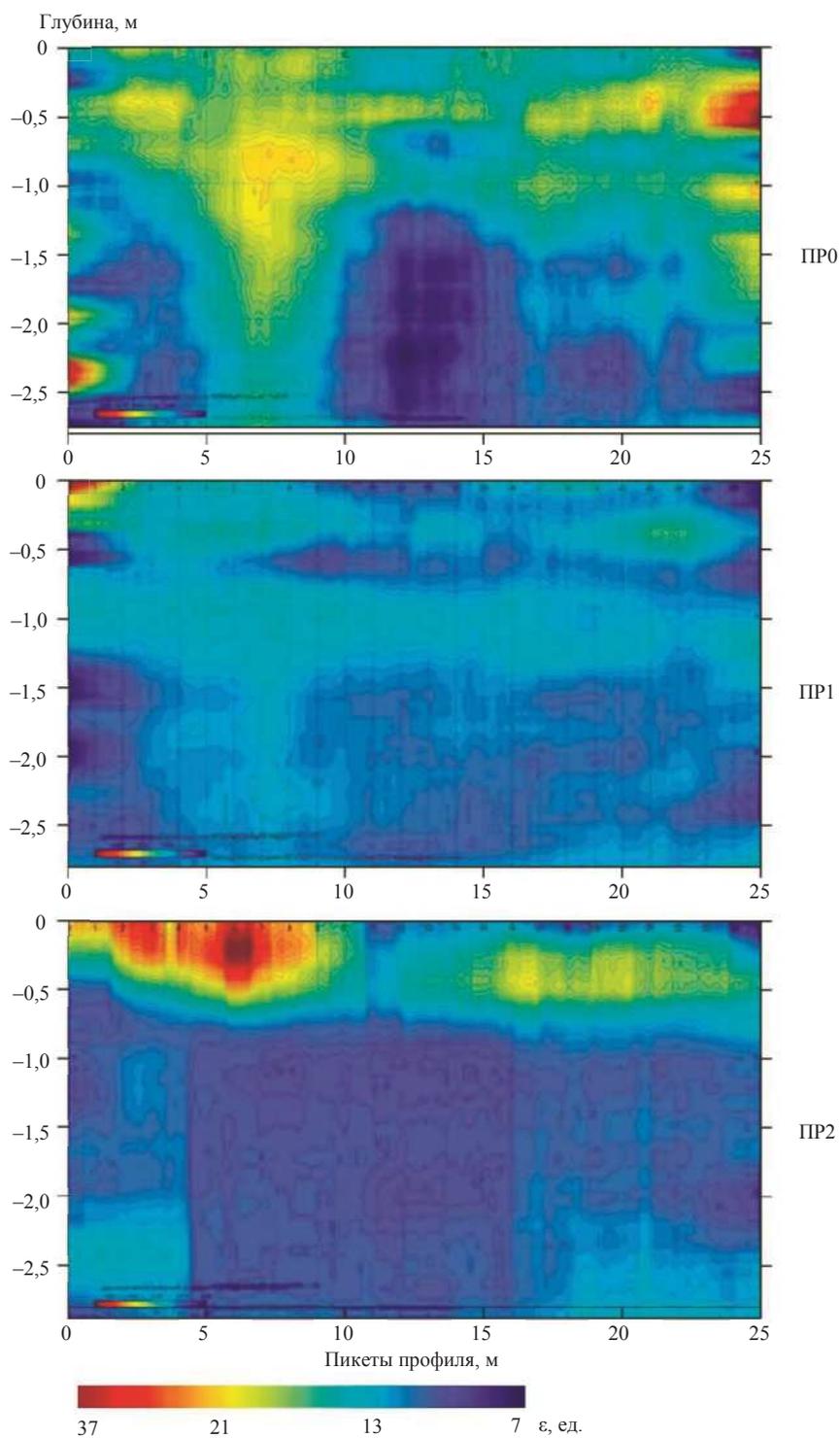


Рис. 3. Разрезы диэлектрической проницаемости по профилям ПР0–ПР2
Fig. 3. Sections of dielectric permittivity on profiles PR0–PR2

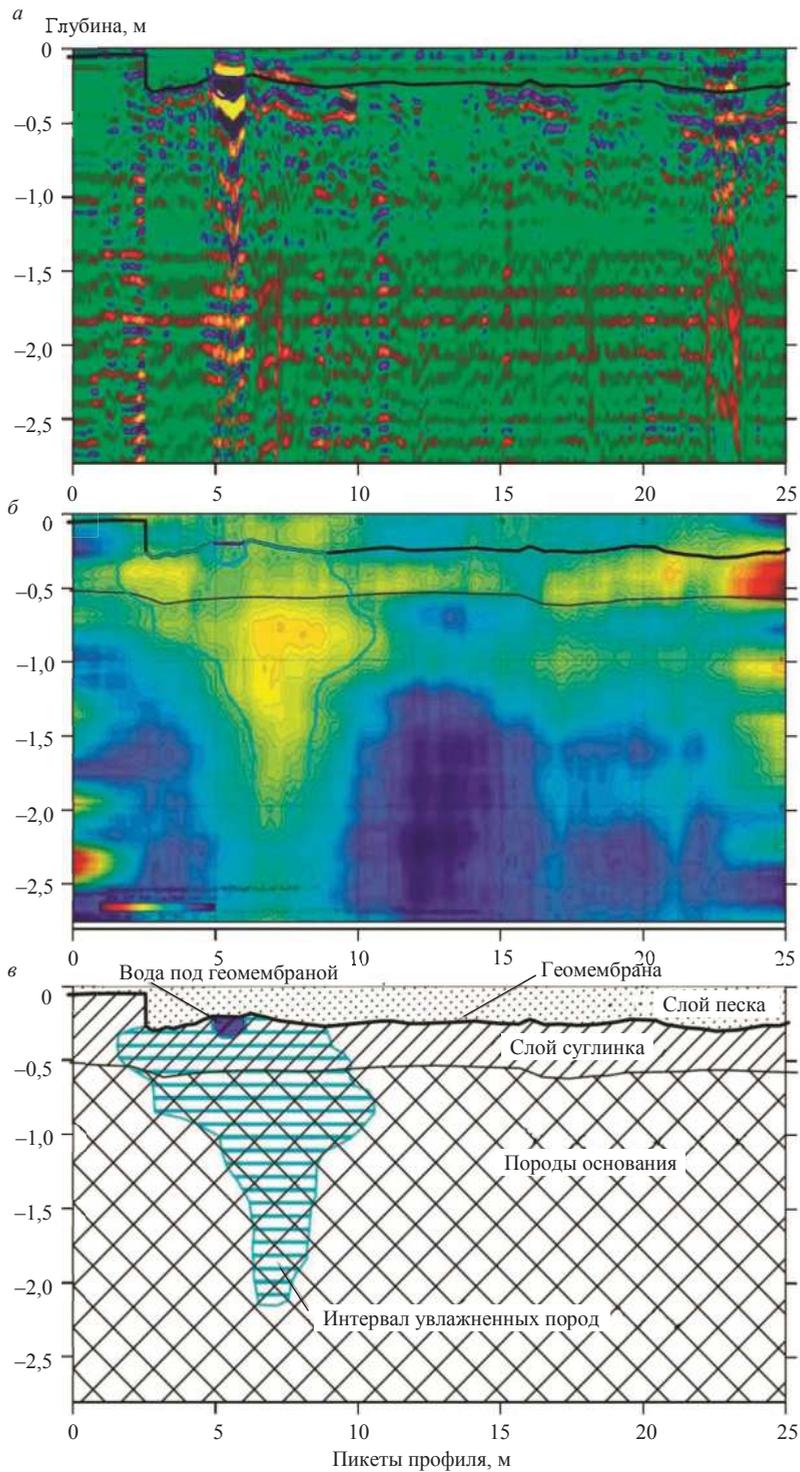


Рис. 4. Результаты интерпретации георадиолокационных данных по профилю 0: *a* – исходная радарограмма; *b* – разрез диэлектрической проницаемости; *c* – интерпретационный разрез

Fig. 4. Ground penetrating radar data results on the profile 0:
a – initial radargram; *b* – section of dielectric permittivity; *c* – interpretative section

Георадиолокационные исследования, выполненные с антенным блоком АБДЛ «Тритон», показали неэффективность этого вида антенных блоков при решении поставленных задач.

Выводы. По результатам выполнения исследований определен метод, пригодный к использованию при поиске и локализации возможных протечек гидроизоляционного основания подушки площадки кучного выщелачивания. В качестве такого метода выбрана георадиолокация с антенным блоком АБ-400. Определена также методика разбраковки аномалий. Показано, что для обеспечения высокой вероятности обнаружения протечек необходима густая сеть георадиолокационных профилей, с шагом минимум 5 м между профилями с возможностью детализации в случае необходимости. Попутно отмечена возможность использования антенного блока АБ-400 при тонком расчленении верхней части разреза с учетом того, что геомембрана и лежащая под ней суглинистая подушка являются хорошими отражающими маркерами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кучное выщелачивание благородных металлов / под ред. М. И. Фазлуллина. М.: АГН, 2001. 647 с.
2. Рубцов Ю. И., Рубцова О. П. Экологические аспекты кучного выщелачивания золота цианидным способом // Драгоценные металлы и камни: проблемы добычи и извлечения золота из руд, песков и вторичного сырья. Иркутск, 1997. С. 136–140.
3. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. М.: МГУ, 2004. 155 с.
4. Mavko G., Mukerji T. & Dvorkin J. The rock physics handbook. Tools for seismic analysis in porous media. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 1998. 329 p.
5. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач. Раменское: Логические системы, 2008. 28 с.
6. Annan A. P., Davis J. L. Impuls radar sounding in permafrost // Radio Science. 1976. Vol. 11. No. 4. P. 383–394.
7. Бобачев А. А., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред // Разведочная геофизика: обзор. М.: Геоинформмарк, 1996. 50 с.
8. Loke M. H., Barker R. D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method // Geophysical Prospecting. 1996. No. 44(1). P. 131–152.
9. Davis J. L., Annan A. P. Ground-penet rating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy // Geophysical Prospecting, 1989. No. 37. P. 531–551.
10. Gonzalez R. C., Woods R. E., Eddins S. L. Digital image processing using Matlab. Pearson-Prentice-Hall, 2004. 122 p.

Поступила в редакцию 2 апреля 2018 года

Сясько А. А., Гриб Н. Н., Имаев В. С., Гриб Г. В. Выбор оптимальной методики геофизического контроля целостности гидроизоляции площадок кучного выщелачивания // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 41–49.

Сведения об авторах:

Сясько Андрей Александрович – кандидат технических наук, директор ООО «Нерюнгригеофизика». E-mail: siasko@rambler.ru

Гриб Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, профессор кафедры горного дела Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета. E-mail: grib@nfygu.ru

Имаев Валерий Сулейманович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института земной коры СО РАН. E-mail: imaev@crust.irk

Гриб Галина Владиславовна – кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета. E-mail: nss@neru.sakha.ru

SELECTING EFFECTIVE METHODOLOGY OF GEOPHYSICAL CONTROL OVER THE HEAP LEACHING PAD WATERPROOFING INTEGRITY

Sias'ko A. A.¹, Grib N. N.², Imaev V. S.³, Grib G. V.²

¹ OOO Neryungrigeofizika, Sakha (Yakutia) Republic, Neryungri, Russia.

² Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Sakha (Yakutia) Republic, Neryungri, Russia.

³ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia.

Aim. The research works have been carried out on selecting of geophysical methods: for monitoring of heap leaching pad waterproofing integrity; and for leak detection of waterproofing base of the heap leach pad.

Research methodology. A method has been identified which is suitable to search and locate possible waterproofing leaks. A ground penetrating radar with an antenna head AB-400 has been chosen as such method. The method for anomalies rejecting has also been determined. Possible leaks are distinguished by local depressions of high amplitude anomalies. Supramembrane and submembrane liquid accumulations anomalies' rejecting is performed along dielectric permeability cross-sections where leaks under the membrane are allocated as intervals of relative decrease of rocks dielectric permeability.

Research results. It is shown that in order to ensure a high probability of leak detection, a dense network of ground penetrating radar lines is necessary at least with a step of 5 meters between the lines.

Conclusions. It has been stated that electron tomography method resolution is not enough to single out delicate peculiarities of an upper part of a section. Ground penetrating radar investigations fulfilled with an antenna head ABDL Triton revealed inefficiency of this type of antenna heads when solving the indicated problems.

Key words: heap leaching; waterproofing; geomembrane; geophysical methods; ground penetrating radar.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-41-49

REFERENCES

1. *Kuchnoe vyshchelachivanie blagorodnykh metallov / pod red. M. I. Fazlullina* [Precious metals heap leaching. Edited by M. I. Fazlullin]. Moscow, AGN Publ., 2001. 647 p.
2. Rubtsov Iu. I., Rubtsova O. P. [Ecological aspects of gold heap leaching with cyanide method]. *Dragotsennyye metally i kamni: problemy dobychi i izvlecheniya zolota iz rud, peskov i vtorichnogo syr'ya* [Precious metals and stones: problems of gold mining and extraction out of ores, sands, and secondary raw material]. Irkutsk, 1997, pp. 136–140.
3. Vladov M. L., Starovoitov A. V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu* [Introduction into ground penetrating radar]. Moscow, MSU Publ., 2004. 155 p.
4. Mavko G., Mukerji T. & Dvorkin J. The rock physics handbook. Tools for seismic analysis in porous media. Cambridge, New York, Melbourne, Cambridge University Press, 1998. 329 p.
5. *Rekomendatsii po provedeniyu georadiolokatsionnykh izmereniy dlia resheniya geologicheskikh zadach* [Guidelines on ground penetrating radar measurements to solve geological problems]. Ramenskoe, Logicheskies sistemy Publ., 2008. 28 p.
6. Annan A. P., Davis J. L. Impulse radar sounding in permafrost. *Radio Science*, 1976, vol. 11, no. 4, pp. 383–394.
7. Bobachev A. A., Modin I. N., Pervago E. V., Shevnin V. A. *Mnogoelektrodnye elektricheskie zondirovaniya v usloviyakh gorizonta/no-neodnorodnykh sred* [Multielectrode electrical sounding in the conditions of laterally variable media]. *Razvedochnaya geofizika: obzor* [Review "Exploration Geophysics"]. Moscow, Geoinformmark Publ., 1996. 50 p.
8. Loke M. H., Barker R. D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 1996, no. 44(1), pp. 131–152.
9. Davis J. L., Annan A. P. Ground-penet rating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 1989, no. 37, pp. 531–551.
10. Gonzalez R. C., Woods R. E., Eddins S. L. *Digital image processing using Matlab*. Pearson-Prentice-Hall, 2004. 122 p.

Information about authors

Sias'ko Andrei Aleksandrovich – Candidate of Engineering sciences, director of OOO Neryungrigeofizika. E-mail: siasko@rambler.ru

Grib Nikolai Nikolaevich – Doctor of Engineering sciences, Professor, deputy director for Science, professor of the Department of Mining, Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University. E-mail: grib@nfygu.ru

Imaev Valerii Suleimanovich – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, leading researcher of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS. E-mail: imaev@crust.irk

Grib Galina Vladislavovna – Candidate of Geology and Mineralogy, head of the Laboratory of the Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University. E-mail: nss@neru.sakha.ru