

7 Сафронова Т. И., Степанов В. И. Математическое моделирование в задачах агрофизики. – Краснодар, 2012. – 110 с.

8 Сухарев Ю.И. Вопросы обоснования мелиоративных режимов агроландшафтов // Мелиорация и рекультивация, экология. – 2010. – №2. – С. 22–28.

9 Шакибаев И.И. Гидрогеолого-мелиоративные аспекты проблем орошаемых земель юга Казахстана. – Алматы: Контур, 2014. – 304 с.

10 Beretta G.P., Terrenghi J. Groundwater flow in the Venice lagoon and remediation of the Porto Marghera industrial area (Italy) // Hydrogeology Journal. – 2017. – Vol. 25, iss. 3. – P.847–861.

11 Bhadra B.K., Kumar S., Paliwal R., Jeyaseelan A.T. Modeling of groundwater draft based on satellite-derived crop acreage estimation over an arid region of northwest India // Hydrogeology Journal. – 2016. – Vol. 24, iss. 7. – P. 1681–1698, DOI 10.1007/s10040-016-1432-9

12 Bushira K.M., Hernandez J.R. Surface and groundwater flow modeling for calibrating steady state using MODFLOW in Colorado River Delta, Baja California, Mexico // Modeling Earth Systems and Environment. – 2017. – Vol. 3, iss. 2. – P. 815–824, DOI 10.1007/s40808-017-0337-5

13 Ebrahimi H., Ghazavi R., Karimi H. Estimation of Groundwater Recharge from the Rainfall and Irrigation in an Arid Environment Using Inverse Modeling Approach and RS // Water Resources Management. – 2016. – iss. 30. – P.1939–1951, DOI 10.1007/s11269-016-1261-6

14 Llopis-Albert C., Palacios-Marqués D. Decision making under uncertainty in environmental projects using mathematical simulation modeling // Environmental Earth Sciences. – 2016. – Iss.75. – P.1320, DOI 10.1007/

s12665-016-6135-y

15 Lyu S., Chen W., Wen X., Chang A.C. Integration of HYDRUS-1D and MODFLOW for evaluating the dynamics of salts and nitrogen in groundwater under long-term reclaimed water irrigation // Irrigation Science. – 2018. – P.1–13, <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0600-1>

16 Switzman H., Coulibaly P., Adeel Z. Modeling the impacts of dryland agricultural reclamation on groundwater resources in Northern Egypt using sparse data // Journal of Hydrology. – 2015. – Vol.520. – P.420–438, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.064>

17 Theodosiou N. Assessing the Impacts of Climate Change on the Sustainability of Groundwater Aquifers. Application in Moudania Aquifer in N. Greece // Environmental Processes. – 2016. – Vol.3, iss.4. – P.1045–1061, DOI 10.1007/s40710-016-0191-x

18 Wei X., Bailey R.T., Records R.M., Wible T.C., Arabi M. Comprehensive simulation of nitrate transport in coupled surface-subsurface hydrologic systems using the linked SWAT-MODFLOW-RT3D model // Environmental Modelling & Software. – 2018. – <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.012>

19 Yue W., Liu X., Wang T., Chen X. Impacts of water saving on groundwater balance in a large scale arid irrigation district, Northwest China // Irrigation Science. – 2016. – Vol.34, iss.4. – P.297–312, DOI 10.1007/s00271-016-0504-x

20 Zell W.O., Culver T.B., Sanford W.E. Prediction uncertainty and data worth assessment for groundwater transport times in an agricultural catchment // Journal of Hydrology. – 2018. – Vol.561. – P.1019–1036, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.006>

УДК 553.7

С. М. Кан, О. А. Калугин, Ш. Г. Курмангалиева
S. M. Kan, O. A. Kalugin, Sh. G. Kurmangaliyeva

*ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина»
«У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС
LLP “Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin”*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ЗАЛЕЖИ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ**

**ЕМДІК БАЛШЫҚ ШОҒЫРЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ЛИТОЛОГИЯЛЫҚ
ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ
ЗОНДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ**

**APPLICATION OF A METHOD OF GEORADAR SOUNDING FOR IDENTIFICATION
OF STRUCTURAL AND LITHOLOGIC FEATURES OF A DEPOSIT
OF THE MEDICAL MUD**

Приведены результаты георадиолокационного зондирования (ГРЛ-зондирования) участка проявления лечебной грязи сора Арасан-Кундузды, расположенного в Панфиловском районе Алматинской области на правом берегу бывшего рус-

ла (старичы) реки Или, в 45 км юго-западнее г. Жаркента, с целью определения мощности грязевой залежи и изучения ее литологического строения. ГРЛ-зондирование проводилось с использованием георадара ОКО-2 с антенным блоком АБ-400.

Ключевые слова: лечебная грязь, георадиолокационное зондирование, радарограмма, опорная скважина, мощность грязи.

Мақалада Алматы облысының Панфилов ауданында, бұрынғы Іле өзенінің оң жағалауында, Жаркент қаласынан оңтүстік-батысқа қарай 45 км қашықтықта орналасқан, Арасан-Құндызды сор емдік балшықтарының анықталу учаскелері мен ГРЛ зондылаудың (ГРЛ-зондылау) балшық шөгінділері және оның литологиялық құрылымын зерттеу нәтижелері келтірілген. ГРЛ-зондылау АБ-400 антеннасы бар ОКО-2 георадар көмегімен жүргізілді.

Түйінді сөздер: емдік балшық, ГРЛ зондылау, радарограмма, тіреуіш ұңғыма, балшықтың қалыңдығы.

The results of GPR sensing display portion therapeutic mud litter Arasan-Kunduzdy located in Panfilov area Almaty region on the right bank of the former channel (oxbow) Ili River, 45 km southwest Zharkent, with purpose determine the power mud deposits and the study of its lithological structure. GPR sensing was carried out by ОКО-2 georadar with the АВ-400 antenna unit.

Keywords: therapeutic mud, GPR sensing, radarogram, reference well, mud power.

Метод георадиолокации основан на изучении отражения искусственно создаваемых электромагнитных импульсов от границ сред, обладающих разными электрическими свойствами – диэлектрической проницаемостью и электропроводимостью. Частота электромагнитного поля, используемого в георадарах, обычно составляет 10^7 – 10^9 Гц. Эти частоты значительно выше частот, применяемых в классических геофизических электромагнитных методах, что позволяет намного увеличить детальность исследований, но ограничивает глубинность метода. Затухание электромагнитного поля зависит, в первую очередь, от частоты и электропроводности среды, в которой это поле распространяется [1–4].

Институтом гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина в процессе научно-прикладных исследований по изучению и выявлению причин подтопления коммунальных и промышленных объектов города Жанаозена и разработке рекомендаций по локализации негативного воздействия подземных вод в 2015–2016 гг. проведены геофизические работы методом ГРЛ-зондирования для определения фактического литологического строения грунтов и их инженерно-геологических характеристик, выявления направления, характера обводнения и наличия путей сосредоточенной фильтрации.

В 2012 г. были начаты и в 2017–2018 гг. продолжены с привлечением метода ГРЛ-зондирования геофизические исследования состояния низконапорных плотин накопителя сточных вод г. Алма-

ты “Сорбулак”, прудов и водохранилищ правого сбросного канала “Сорбулак”. Для изысканий использовался многоцелевой радар ОКО-2 с полевым компьютером типа notebook [5–6].

Результаты геофизических исследований показали, что применение метода георадиолокации в составе комплекса научно-прикладных исследований позволяет достаточно однозначно решать задачи по определению литологического разреза участка как с водной поверхности, так и с поверхности земли; зон влагонасыщения; зон разуплотнения грунтов; участков грунтов с нарушенной структурой; глубины и рельефа дна водоемов; глубины залегания подземных коммуникаций и др.

В 2018 г. в рамках выполнения исследований по проекту грантового финансирования “Разработка инновационной методики качественной и количественной оценки лечебных грязей Юго-Восточного Казахстана в качестве гидроминерального сырья” (ИРН АР 05130934) начаты работы с целью определения мощности лечебных грязей и условий питания грязепроявления, а также для отработки методики по проведению аналогичных работ.

ГРЛ-зондирование проводилось с использованием георадара ОКО-2 с антенным блоком АБ-400. Было сделано 4 профиля по северному берегу сора (профиль 1 – 150 м, профиль 2 – 150 м, профиль 3 – 150 м, профиль 4 – 120 м) и 5 профилей по южному берегу (профиль 1 – 150 м, профиль 2 – 150 м, профиль 3 – 150 м, профиль 4 – 124 м, профиль 5 – 110 м).

Кроме того, сделано 4 поперечных профиля по побережью сора (профиль 1 – 23 м, профиль 2 – 39 м, профиль 3 – 47 м, профиль 4 – 46 м) и 4 продольных профиля по акватории сора (профиль 1 – 60 м, профиль 2 – 200 м, профиль 3 – 200 м, профиль 4 – 200 м). Профилирование по акватории сора осуществлялось с помощью резиновой надувной лодки, внутри которой находился антенный блок. С целью корректировки данных по глубине залегания и мощности пласта лечебной грязи, полученных при ГРЛ-зондировании, по периметру проявления лечебной грязи пробурены 23 опорные скважины с помощью ручного бурового комплекса геолога, позволяющего бурить скважины глубиной до 10 м.

Задача по определению мощности лечебной грязи и структурно-литологических особенностей грязепроявления методом ГРЛ-зондирования в республике решается впервые. Сложность исследований этим методом заключается в том, что повышенная минерализация рапы значительно влияет на посланные и отраженные импульсы, искажает общую

картину профиля ГРЛ-зондирования. Изложенные особенности требуют комплексного подхода к интерпретации результатов работ, т. е. сравнения результатов обработки радарограмм по нескольким программам обработки первичных материалов или по нескольким методам геофизических исследований (например, ГРЛ-зондирования и зондирования акустическим методом) изучаемых объектов. В данном случае сравнивались результаты интерпретации радарограмм по специализированной программе ГЕОСКАН-32, дающей возможность интерактивного определения скоростей слоев и глубин залегания локальных объектов и послойной обработки данных площадной съемки с результатами интерпретации по программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Программа имеет в опциях метод автоматизированного анализа электромагнитного поля обратного рассеяния, представляющий собой разрезы атрибутов электрофизических характери-

стик подповерхностной среды или волнового поля, зарегистрированного георадаром [7]. Данные, полученные в результате сравнительного анализа, в свою очередь, оценивались по результатам бурения зондирующих скважин.

По окончании полевых опытно-методических исследований были проведены дешифровка и интерпретация результатов ГРЛ-зондирования с учетом материалов по бурению опорных скважин для определения глубины залегания и уточнения мощности пласта лечебной грязи.

Анализ наиболее информативных радарограмм, интерпретированных по программам ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и ГЕОСКАН-32, показал следующее.

Профиль №3 начинается в 200 м от начала проявления грязи с северо-восточной стороны и тянется с северо-востока на юго-запад. Протяженность профиля 115 м. При интерпретации радарограммы этого профиля (см. рисунок 1) выделен следующий

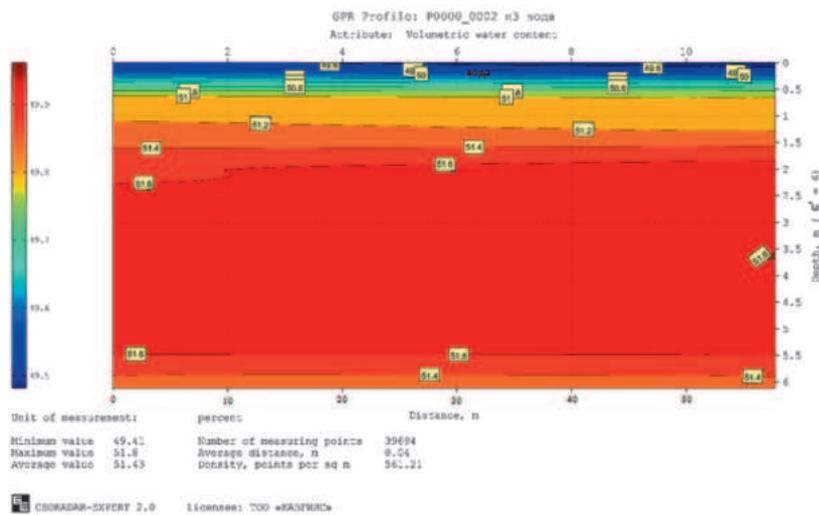


Рисунок 1 – Радарограмма профиля №3 (интерпретация по программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ)

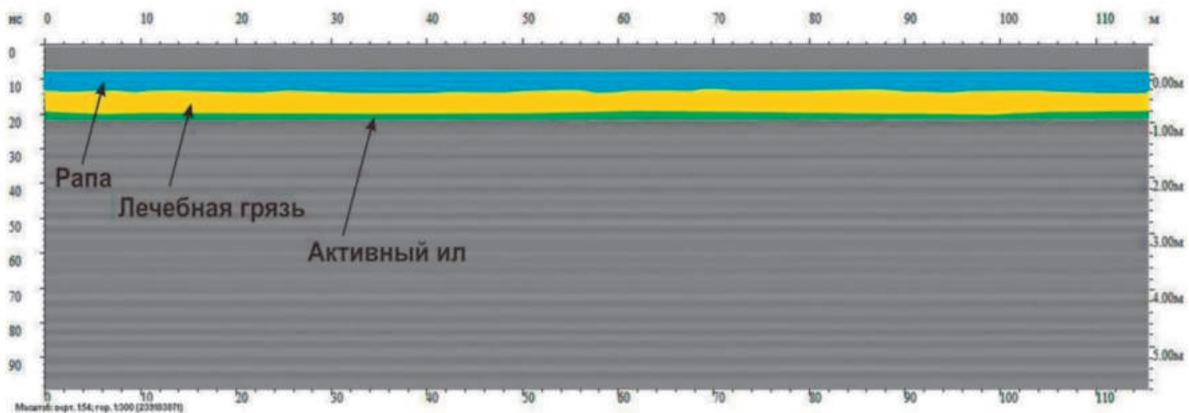


Рисунок 2 – Георадарный профиль №3 (интерпретация по программе ГЕОСКАН-32)

Таблица 1 – Средняя мощность грязи, рассчитанная по данным интерпретации по программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Место замера мощности грязи	Мощность грязи, м	Средняя мощность грязи, м
Прорфиль №3	1,3	0,67
Скв.№12	0,4	
Скв.№11	0,3	
Профиль №4	1,2	0,60
Скв.№3	0,3	
Скв.№19	0,3	
Профиль №5	1,3	0,73
Скв.№15	0,4	
Скв.№20	0,5	
Профиль №6	1,4	0,63
Скв.№16	0,2	
Скв.№21	0,3	
Средняя мощность грязепроявления		0,66

Таблица 2 – Средняя мощность грязи, рассчитанная по данным интерпретации по программе ГЕОСКАН-32

Место замера мощности грязи	Мощность грязи, м	Средняя мощность грязи, м
Прорфиль №3	0,3	0,33
Скв.№12	0,4	
Скв.№11	0,3	
Профиль №4	0,2	0,27
Скв.№3	0,3	
Скв.№19	0,3	
Профиль №5	0,3	0,40
Скв.№15	0,4	
Скв.№20	0,5	
Профиль №6	0,4	0,30
Скв.№16	0,2	
Скв.№21	0,3	
Средняя мощность грязепроявления		0,33

литологический состав:

интервал 0 – 0,3 м – рапа;

интервал 0,3 – 1,6 м – грязь;

интервал 1,2 м – 1,6 м – активный ил;

интервал 1,6 м – 6 м – переувлажненная супесь

с иловыми отложениями;

интервал 0–0,2 м – рапа;

интервал 0,2–0,5 м – грязь;

интервал 0,5–0,65 м – активный ил.

На основе сравнения данных интерпретации радарограмм и данных пробуренных опорных скважин получены средние мощности слоя лечебной грязи данного проявления (таблицы 1 и 2).

Интерпретация результатов зондирования по программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ показывает менее точную мощность (вследствие большой минерализации лечебных илов), но более точное послойное выделение литологического состава

проявления по удельной электропроводности, а значит и по степени удельной влажности слоев, имеющих различные физико-химические и бальнеологические свойства.

Результаты исследований показали, что при применении программы ГЕОСКАН-32 для интерпретации результатов ГРЛ-зондирования проявлений лечебной грязи получены более усредненные данные по расчленению литологического разреза проявления, более точные значения мощности слоев.

Следует отметить, что для получения достоверной информации по мощности продуктивного пласта лечебной грязи необходим комплексный подход, включающий в себя геофизические георадиолокационные исследования, интерпретированные различными методами, результаты бурения зондировочных скважин, а также геофизические исследования акустическим методом. Комплекс, разрабатываемый в рамках проекта, будет полностью опробован в ходе проведения опытно-методических работ на месторождениях лечебных грязей Арасан-Кундузды и Тузколь в 2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытания бетонов: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1974. – 280 с.
- 2 Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
- 3 Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение метода радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии/ Под ред. М.И. Финкельштейна. – М.: Недра, 1986. –128 с.
- 4 Владов М.Л., Старовойтов А.В. Обзор геофизических методов исследований при решении инженерно-геологических и инженерных задач. GDS Production. – М., 1998. –81 с.
- 5 Калугин О.А., Искандеров Р.Р. Применение методов дистанционного зондирования земли для определения динамически активных зон на площадях, подконтрольных накопителям сточных вод //Геология и охрана недр. –2017. –№2(63). –С.59–62.
- 6 Kalugin O., Asanov E., Iskanderov R. Method of georadiolocation in complex scientific applied researches //Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – Алматы, 2018. –№1. – С. 49–60.
- 7 [http //www georadar-expert.ru](http://www.georadar-expert.ru)

