

классические задачи геомеханики: труды Всероссийской объединенной научной сессии Научных советов РАН по механике деформируемого твердого тела и по проблемам горных наук; Учреждение Рос. акад. наук, Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 58–63.

3. Омеляненко, А.В. Особенности георадиолокации обводненных сред / А.В. Омеляненко, И.И. Христофоров // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2012. – №9. – С.127–132.

Поступила в редакцию 07.02.2013

УДК 621.396.96:622.691.4

Результаты георадиолокации дна и донных отложений речных переходов линейных инженерных сооружений

И.И. Христофоров, А.В. Омеляненко

Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможности дистанционного исследования дна и донных отложений при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных инженерных сооружений с применением методики погружной георадиолокации. Рассмотрены решения актуальных инженерно-геологических задач, возникающих в гидрогеологических исследованиях криолитозоны, в целях строительства и эксплуатации инженерных линейных сооружений. Показана возможность эффективного применения метода георадиолокации с поверхности воды для изучения речного дна, мощности и структуры донных отложений, выявления и определения параметров карстовых образований в коренных породах дна и обводненных породах береговой зоны.

Ключевые слова: георадиолокация, донные отложения, речные переходы линейных сооружений, зоны нарушенности.

The paper presents the experimental results which confirm the potential of remote investigation using immersion GPR method for investigation a river bottom and bottom sediments during design, construction and operation of linear engineering structures. Decisions of actual engineering-geological problems arising in hydro-geological researches of permafrost with a view of building and operation of engineering linear constructions are considered. Possibility of effective application of GPR method from a water surface for investigation of a river bottom, capacity and structure of river bottom deposits, revealing and definition of parameters of karstic formations in solid rocks of a bottom and aquatic rocks of a bank zone is shown.

Keywords: GPR, river bottom deposits, river transitions of linear constructions, areas of disturbance.

В настоящее время в Якутии проектируются, строятся и эксплуатируются несколько крупных объектов, связанных с речными переходами через р. Лена – это реализация таких мегапроектов, как строительство железной дороги Амуро-Якутской магистрали и строительство нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО)». Строительство трубопроводов влияет на состояние пересекаемых ими водных преград, оказывает максимальное воздействие на русла и поймы рек, речной сток. Трубопроводы относятся к объектам повышенной экологической опасности, особо уязвимы подводные речные переходы, где на трубопровод воздействует

водный поток. С другой стороны, русловые и гравитационные процессы на участках подводных переходов создают максимальную опасность для трубопроводов. Возможные последствия с выбросом нефти на речных переходах по степени тяжести несопоставимы с авариями на суше, поскольку зона аварийного поражения охватывает все аспекты среды обитания человека. Поэтому изучение геологических структур дна и донных отложений речных переходов – актуальная задача и особенно на стадии эксплуатации линейных сооружений. Для предотвращения риска повреждения трубопроводов и исключения возникновения аварийных ситуаций необходимо знать динамику активизации этих процессов в пространственно-временной изменчивости, поэтому для безопасной эксплуатации и предотвращения возникновения аварийных ситуаций важна организация систе-

ХРИСТОФОРОВ Иван Иванович – вед. инженер ИГДС СО РАН, zodik@mail.ru; ОМЕЛЬЯНЕНКО Александр Васильевич – д.т.н., зав. лаб. ИГДС СО РАН, omepavel@yandex.ru.

мы наблюдений (мониторинга) за состоянием подводных переходов трубопроводов (ВСН 163–83) [1].

Разработка дистанционных и оперативных методов, позволяющих решать задачу детального изучения структур дна рек и донных отложений водоемов – актуальная задача проектирования, строительства и эксплуатации гидросооружений, и в частности линейных сооружений – мостов, газо- и нефтепроводов, возводимых в водоемах или пересекающих их. К таким методам относится метод георадиолокации, реализующий методику отраженных электромагнитных волн от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Следует отметить, что вода, перекрывающие речные наносы, относится к низкоскоростным средам с известными для моделирования физическими свойствами и является физически модельной средой.

Ниже представлены результаты георадиолокационного исследования дна и донных отложений водоемов Якутии, полученные с учетом особенностей разработанной методики георадиолокации обводненных сред [2].

1. Результаты исследований коренных пород дна и донных отложений водоемов

По заказу Проектного института реконструкции и строительства объектов нефти и газа (ЗАО «ПИРС») ИГДС СО РАН проведены георадиолокационные исследования трассы речно-го перехода р.Лена нефтепровода ВСТО.

Георадиолокационные исследования проведены с целью выявления и уточнения границ простираения, связанных с изменением литологии разреза, выделения участков подземных льдов, нахождения и локализации по глубине и простираению зон карста по берегам и в русле р.Лена.

Проведенные георадиолокационные исследования позволили оценить геологический разрез на участке перехода трассы нефтепровода через водный переход р.Лена до глубины 25–30 м. В результате качественной и количественной интерпретации материалов зондирования выявлены и уточнены границы простираения, связанные с изменением литологии разреза.

По левому берегу выделены границы залегания сезонно-талых грунтов и коренных пород, выявлен участок подземного льда. Профилем, проложенным в 30 м справа по ходу нефти, наличие льда не подтверждено, хотя мелкослойность ледяных образований наблюдается. Ледяное образование с одной стороны ограничено и смещается к урезу реки вниз по течению – георадиолокационными зондированиями прослежено увеличение его мощности до 5–10 м и уход верхней кромки льда на глубину от 4 до 7 м от оси створа проектируемой трассы.

По русловой части реки отмечается субгоризонтальное залегание коренных пород с незначительным погружением в сторону правого берега. Породы дна реки детально прослеживаются до глубин 10 м и более.

По правому берегу получен типовой трехслойный разрез мерзлых рыхлых отложений – верхняя граница определена в пределах глубин 8–10 м. По данным бурения, это слой чередования суглинка и супеси, нижерасположенная граница в пределах глубин 15–18 м определяет слой мерзлых песков и в пределах глубин 23–30 м уверенно прослеживается кровля коренных пород.

Данными георадиолокации выявлены участки карстовых образований:

- в 40 м от оси трассы по левому берегу реки;
- в русле реки в 80 м от оси трассы по течению в 130 м от левого берега;
- по руслу реки в 132 м от уреза воды правого берега.

На рис.1 изображен георадиолокационный профиль с выявленным подводным карстом. По спектральным характеристикам георадиолокационных сигналов определены критерии, позволяющие определять участки нарушенных и ненарушенных коренных пород. Одним из критериев обнаружения нарушения коренных пород может служить изменение центральной частоты спектра сигналов, отраженных от донных отложений.

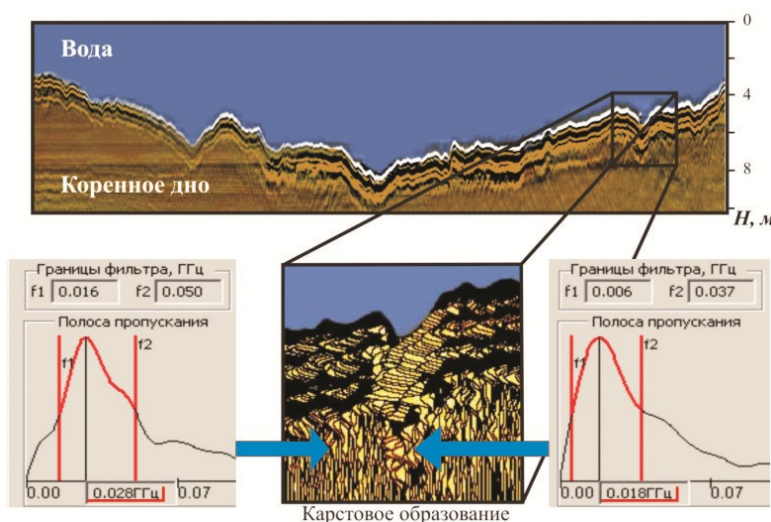


Рис. 1. Карстовое нарушение коренных пород

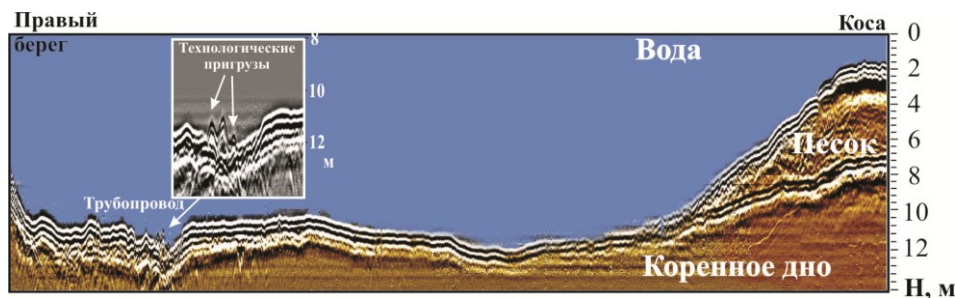


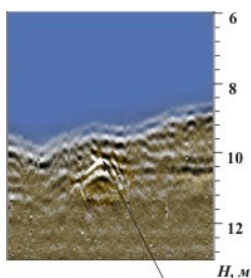
Рис. 2. Георадиолокационный профиль разреза донных отложений (р.Лена) с детализацией участка пересечения газопровода с технологическим пригрузом

В результате проведенных исследований реализован этап совершенствования метода двух-спектральной георадиолокации, расширяющий возможности изучения поглощающих сред в части детализации геологических разрезов на максимальных глубинах. Проведено физическое моделирование на натурном объекте при работе в двух раздельных спектрах. Разделение максимумов спектров частот позволило сохранить максимальную глубинность исследований посредством сдвига спектра в область низких частот на приемном устройстве. Расширение спектра в области высоких частот, за счет сдвига средней частоты генерации, обеспечило высокую разрешающую способность. Снижение эффективности измерений с учетом провала суммарного спектра в области средних частот компенсируется коррекцией спектральных характеристик раздельных трактов генерации в области низких частот и приема. Активный спектр (спектр генерации) высокочастотный, со средней частотой $2F$, пассивный спектр (приемный) низкочастотный, с максимумом F . Средняя частота суммарного спектра $(F+2F)/2=1,5F$.

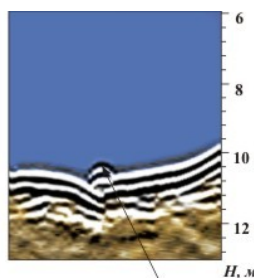
Зоны нарушения коренных пород обнаружены и азимутально локализованы практическими наблюдениями в нескольких местах по руслу реки вдоль трассы ВСТО, нарушения массива прослеживаются через аллювиальные отложения мощностью до 10 м и с поверхности дна.

2. Результаты исследований речного перехода магистрального газопровода

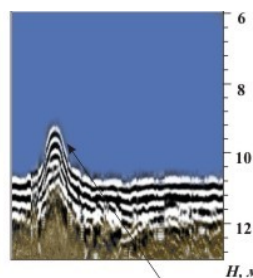
На рис.2 приведен пример дистанционного обнаружения трубы газопровода диаметром



Труба заглублена в дно реки



Труба расположена на дне траншеи



Труба провисает над дном в пределах 1-2м

Рис. 3. Параметры прокладки трубопровода по дну реки

0,55м (с.Хатассы), в виде глубинного разреза, на глубине 11 м. Профиль пройден с правого берега галсом до пересечения трассы и обнаружения трубопровода, далее по оси проложения трубы до выхода на косу. Труба изображена на рисунке в виде гиперболы (рис.3), также по обоим бокам трубы выявлены технологические пригрузки – результат восстановительных работ ООО «СПРУТ» (Иркутск).

По результатам зондирования отслежена конфигурация дна водоема до глубины 12 м. В центральной части реки мощность аллювиальных отложений не превышает 1м, в левой – в пределах 1–7 м.

В результате проведенных исследований решена задача выявления участков трубопровода, заглубленного в донные отложения, проложенного по дну и провисающего над вымытым грунтом.

3. Результаты исследований берегового выхода магистрального газопровода (р. Лена, п. Табага)

Одним из самых технологически небезопасных мест является выход трубы газопровода на берег. В качестве задачи выбрано изучение берегового контакта трубы газопровода с береговой линией (правый берег по течению реки), так как в плане изгиба реки берег вымывается. Для решения задачи проведено детальное исследование входа газопровода в правый берег, т.е. 50 м от уреза правого берега к фарватеру реки. На участке всего получено 23 профиля, из них 20 профилей поперечных и 3 профиля продольных оси газопровода, что позволило картировать общую обстановку.

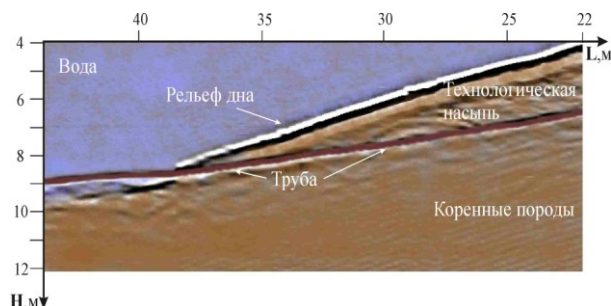


Рис. 4. Изучение особенностей выхода трубопровода в песчаные береговые отложения

На рис.4 представлен георадиолокационный разрез входа трубы газопровода в правый берег, который снят вдоль трассы над газопроводом, где четко прослеживаются сама труба и технологическая насыпь. Коренные породы прослеживаются менее отчетливо, так как большие энергетические потери связаны с отражением сигнала от трубы газопровода.

Аналогичная задача решена по правому берегу, т.е. 50 м от уреза правого берега к фарватеру реки. Проведено картирование и получен результирующий георадиолокационный разрез на участке входа трубы газопровода в правый берег. В разрезе прослеживаются труба и технологическая насыпь. Поперечными профилями эта граница технологической отсыпки отчетливо видна по всей протяженности трубопровода.

Установлено, что в месте входа трубы в породу береговых отложений находится зона размыва под трубой. В результате сделан вывод и даны рекомендации о необходимости технологической отсыпки для пригрузки трубы вблизи береговой зоны

На рис.5 представлены поперечные оси трубопровода профиля P007, P005 и P006. На радараграммах верхней границей прослеживаются рельеф дна реки и граница коренных пород,

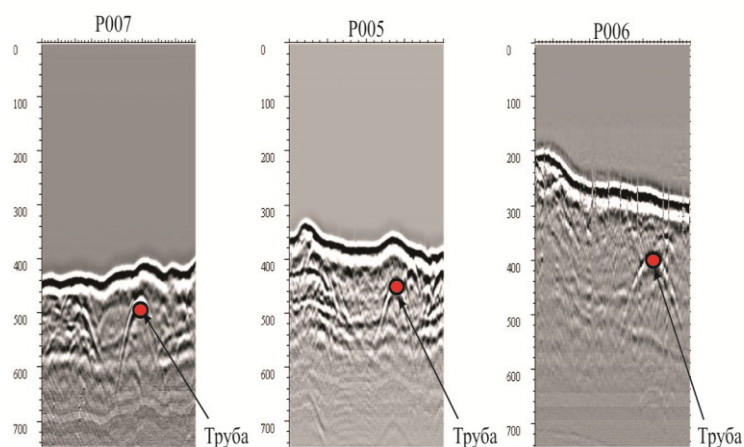


Рис. 5. Георадиолокационные исследования участков газопровода в донных отложениях

трубопровод выявляется как локальная неоднородность в виде гипербола. Определены глубины проложенного трубопровода по отношению к коренным породам дна реки. На основе георадиолокационных данных, полученных поперечными и продольными профилями, построена схема расположения газопровода по переходу через реку.

На радараграммах выявляются и другие локальные неоднородности, в виде различных гипербола, при обработке данных по амплитудным и спектральным характеристикам эти помехи фильтруются.

4. Детализация разреза донных отложений по речному переходу проектируемого моста (р.Лена, п.Табага)

Проведены георадиолокационные исследования русла р.Лена по трассе перехода проектируемого железнодорожного моста р.Лена в районе п.Табага. Дистанционные исследования проводились георадиолокатором ОКО-2 со спектром частот 30–60 МГц. На участке перехода ширина реки составляет 2150 м.

На участке работ протяженностью 300 м (± 150 м от створа трассы и проектируемого мостового перехода) пройдено 11 профилей вдоль створа и 5 профилей по нормали к створу. Все профили имеют точную GPS привязку.

Для более точного представления в трехмерном виде участка русла реки по створу моста необходима достоверная информация по сходимости профилей.

Исследование сходимости результатов по поперечному профилю и двум продольным оси трассы профилям представлено на рис.6. Точка G – точка пересечения продольных профилей P003 и P004, точки A и B – точки пересечения продольных оси трассы профилей P003 и P004 с поперечным профилем P007, соответственно.

Представлены отрезки георадиолокационных профилей длиной 1050 м для P003, 960 м для P004 и 180 м для P007. Сходимость глубины реки и мощности аллювиальных отложений в точке G составила 7,7 м и 2,2 м для P003 и 7,9 м и 2,2 м для P004, соответственно, при этом абсолютная ошибка глубины реки равна 0,2 м. Сходимость глубины реки и мощности аллювиальных отложений в точке A составила 7,1 м и 2,3 м для P003, и 7,3 м и 2,6 м для P007, соответственно, при этом абсолютная ошибка составила 0,2 м для глубины реки и 0,3 м для мощности аллювиальных отложений. Сходимость глубины реки и мощности аллювиальных отложений в точке B составила 7,4 м и

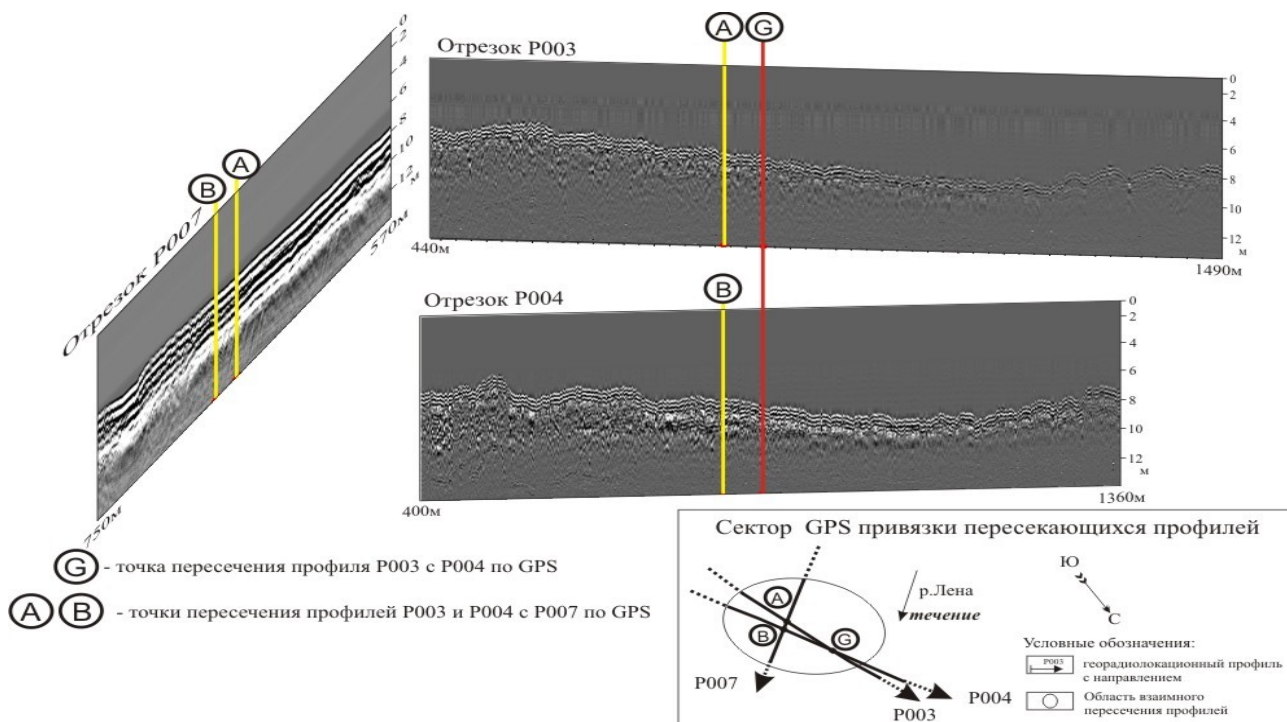


Рис.6. Сходимость измерений при триангуляции

2,8 м для P004 и 7,2 м и 3 м для P007, соответственно, при этом абсолютная ошибка – 0,2 м для глубины реки и мощности аллювиальных отложений.

На рис.7 представлено трехмерное представление участка реки в районе условного створа моста по р.Лена, построенное по георадиолокационным профилям, пройденным поперек реки по направлению к левому берегу.

Установлено субгоризонтальное залегание коренных пород с незначительным погружением в сторону правого берега. На радарограмме отчетливо прослеживаются рельеф дна и границы слоев донных отложений. По результатам зондирования отслежена конфигурация дна водоема до глубины 9 м. Фарватер реки смещен к левому берегу, при этом средние глубины левой и правой сторон реки составляют 7 и 6 м, соответственно. Мощность аллювиальных отложений увеличивается от центральной части реки до правого берега от 2 до 6 м. В центральной части реки мощность аллювиальных отложений

определена в пределах 1,4–2,2 м, в левой – в пределах 1–3 м. Отмечено увеличение мощности песчаных отложений с последующим выклиниванием и выходом косы.

5. Результаты исследований причин аварийной деформации речного моста (р. восточная Хандыга, Якутия)

Метод исследований – георадиолокация в модификации исследований с поверхности воды. Методика работ – поверхностно-погружные измерения в режиме зондирования по профилям, определенным отметками на курсовых фалах. Поперечные профили снимались с поперечным расположением датчиков по отношению к движению. С поверхности воды профили снимались в режиме непрерывных наблюдений с дискретностью измерений ~ 7 см. Задача исследования – уточнить инженерно-геологическую ситуацию свайной опоры, установленной в русле реки.

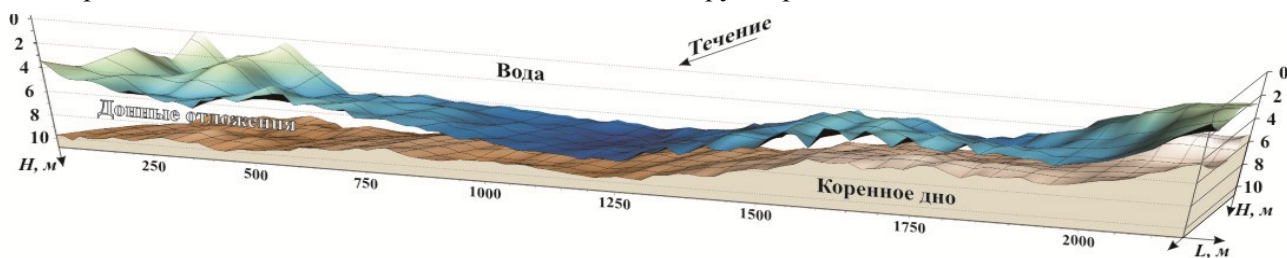


Рис. 7. Трехмерное представление участка реки: ■ – поверхность коренного дна; ■ – поверхность аллювиальных отложений

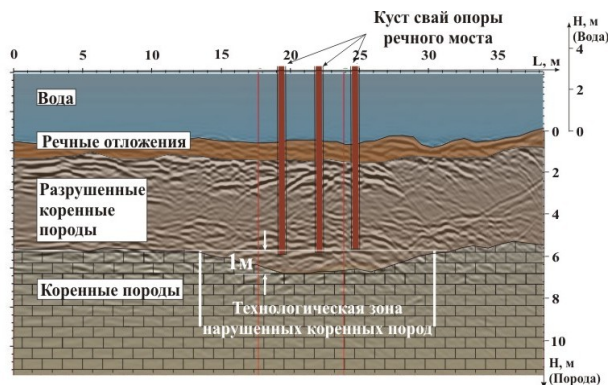


Рис.8. Георадиолокационный разрез реки, пройденный вдоль опоры моста

На рис.8 представлен георадиолокационный профиль по поверхности воды, пересекающий мост, отмечены границы, характеризующие неоднородный слой нарушенных коренных пород и факт расположения нижней границы ненарушенного массива, на $0,5 \pm 1$ м ниже уровня заложения свай. Определена глубина установки свай в грунт – 5,8 м. Ниже, на отметке 6,5 м, прослежена граница, подтверждаемая параллельными профилями в поперечном сечении, по отметкам мощности грунта 6,1; 6,2; 5,6 м, соответственно. По интерпретации это мощность разрушенных коренных пород, что подтверждается высокой обводненностью пород (по данным измерений скоростей) и неоднородностью массива.

В результате установлена основная причина

деформирования моста – опоры установлены в нарушенные коренные породы.

Результаты проведенных работ по георадиолокационному исследованию рек, водоемов и их донных отложений дают основание утверждать о возможности успешного применения метода георадиолокации для выявления границ подводных геологических структур и зон нарушений рельефа дна.

Практическая ценность исследований заключается в реализации рабочего макета георадиолокационной аппаратуры и апробации методики в процессе полевых работ. Проведенные научные исследования послужат эффективному решению задач в области дистанционного мониторинга донных отложений при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводов на речных переходах.

Литература

1. Омеляненко А.В. Двухспектральная георадиолокация обводненных полигонов россыпных месторождений / А.В. Омеляненко, И.И. Христофоров // Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы III Международной научной конференции (Хабаровск, 16–18 сентября 2009 г.). – Т. 4. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2010. – С.60–66.
2. Христофоров И.И. Особенности георадиолокации обводненных сред / А.В. Омеляненко, И.И. Христофоров // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2012. – №9. – С.127–132.

Поступила в редакцию 11.02.2013

УДК 552.11

Генезис кислых магм

В.С. Шкодзинский

В свете современных данных о горячей аккреции Земли кислая кристаллическая кора древних платформ образовалась в основном из кислых остаточных расплавов малобарического фракционирования раннего синаккреционного магматического океана. Магмы гранитных батолитов возникли в результате декомпрессионно-фрикционного переплавления кислых пород кристаллической коры. Субдукционные кислые магмы – результат малоглубинного фракционирования очагов толеитовых магм в мантии.

Ключевые слова: магматический океан, мантия, кристаллическая кора, кислые магмы.

In the light of the modern data on a hot accretion of the Earth the acid crystalline crust of ancient platforms was formed mainly from acid residual melts of low-baric fractionation of early sinaccretion magma ocean. The magmas of Granite batholiths appeared as a result of decompression-friction melting of acid rocks of the crystalline crust. Subduction acid magmas were formed as result of a low-deep fractionation of tholeiite magmas centers in the mantle.

Key words: magma ocean, mantle, crystalline crust, acid magmas.

ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович – д.г.-м.н., в.н.с. ИГАБМ СО РАН, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.