

УДК 551.46:681.88

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ГИДРОАКУСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАГЛУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН

**<sup>1</sup>Дмитревский Н.Н., <sup>1</sup>Ананьев Р.А., <sup>1</sup>Мелузов А.А., <sup>2</sup>Шабалин Н.В., <sup>2</sup>Ремизова Д.М.**

*<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nnd2008@rambler.ru;*

*<sup>2</sup>ООО «Центр морских исследований» МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

В последние десятилетия в нашей стране широко проводятся морские изыскания, направленные на поиск нефтяных и газовых месторождений в шельфовых зонах прилегающих морей и океанов. Методика изысканий предусматривает в том числе бурение большого числа разведочных скважин. При этом только некоторые из пробуренных разведочных скважин подтверждают наличие в указанных точках перспективных с точки зрения последующего использования залежей углеводородов. Перед изыскателями встал вопрос о дальнейшей судьбе таких скважин с точки зрения минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Одновременно возникает вопрос о каталогизации всех пробуренных разведочных скважин. В основном это связано с тем, что многие скважины были пробурены несколько десятилетий тому назад, при этом общий уровень геодезического обеспечения в то время не позволял определять координаты этих объектов с необходимой точностью. В статье рассматриваются результаты акустического зондирования морского дна в районах расположения заглушенных подводных скважин в шельфовой зоне морей и океанов с целью их обнаружения. Обсуждаются возможности использования различных типов высокоразрешающей гидроакустической аппаратуры для наиболее эффективного обнаружения, идентификации и картирования указанных объектов. Описываются приборный состав и основные технические параметры судового приборного комплекса, предназначенного для решения указанных выше задач и состоящего из низкочастотного эхолота-профилографа, многолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора. Анализируется методика проведения измерений в натурных условиях. Приведены практические результаты, полученные авторами в шельфовой зоне северных морей и Каспийского моря. Отмечено, что точная верификация интересующих нас объектов возможна, в ряде случаев, только при условии дополнительного использования подводных управляемых аппаратов или водолазного обследования.

**Ключевые слова:** гидроакустика, скважина, поиск, идентификация, гидролокатор, многолучевой эхолот

### APPLICATION OF THE HIGH RESOLUTION UNDERWATER ACOUSTICS FOR DEFINITION OF POSITION OF THE MUFFLED UNDERWATER WELLS

**<sup>1</sup>Dmitrevskiy N.N., <sup>1</sup>Ananev R.A., <sup>1</sup>Meluzov A.A., <sup>2</sup>Shabalin N.V., <sup>2</sup>Remizova D.M.**

*<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, e-mail: nnd2008@rambler.ru;*

*<sup>2</sup>Limited Liability Company «Lomonosov Moscow State University Marine Research Center», Moscow*

In recent decades marine researches are widely conducted in our country aimed at finding oil and gas deposits in offshore areas. Survey methodology envisages, in particular, the drilling of a large number of exploration wells. However, only some of the drilled exploratory wells confirm the presence of hydrocarbon deposits promising from the point of view of subsequent use at these points. Before the prospectors, the question arose about the further fate of such wells in terms of minimizing their harmful impact on the environment. At the same time, the question arises of cataloging all the drilled exploratory wells. Basically, this is due to the fact that many wells were drilled several decades ago, while the overall level of geodetic support at that time did not allow to determine the coordinates of these objects with the necessary accuracy. The article deals with the results of acoustic sounding of the seabed in the areas of location of submerged wells in the offshore zone of the seas and oceans in order to detect them. The possibilities of using different types of high-resolution hydroacoustic equipment for the most efficient detection, identification and mapping of these objects are discussed. Describe the instrument structure and main technical parameters of the ship and instrument package, designed to solve the above problems, and consists of low-frequency profiler, multi-beam echo sounder and side-scan sonar are described. The techniques of measurements in natural conditions are analyzed. It is noted that accurate verification of the objects of interest is possible, in some cases, only under the condition of additional use of underwater remote operated vehicles or diving inspection.

**Keywords:** hydroacoustics, well, search, identification, sonar, multy-beam echosounder

В последние десятилетия в нашей стране в широком объеме проводятся морские изыскания, направленные на поиск перспективных нефтяных и газовых месторождений в шельфовых зонах прилегающих морей и океанов. Верификация возможных месторождений проводилась путем пробного бурения до глубин предполагаемого залегания нефти или газа.

При этом только некоторые из пробуренных разведочных скважин подтвердили наличие в указанных точках перспективных с точки зрения последующего использования залежей углеводородов. Многие скважины не подтвердили наличия месторождений с достаточными эксплуатационными параметрами, и перед изыскателями встал вопрос о дальнейшей судьбе таких скважин.

с точки зрения минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Одним из главных компонентов вредного влияния является «высачивание» из пробуренной скважины нефти или газа, либо водного раствора, содержащего в себе некоторое количество указанных веществ. Наиболее эффективным и распространенным методом борьбы с отмеченным явлением являлась заливка внутреннего ствола скважины и околоскважинного пространства специальными цементирующими растворами, обеспечивающими достаточную степень герметизации.

В последнее время значительно ужесточились требования к проведению подобных изысканий [1], были приняты нормативные документы о проведении периодического мониторинга заглущенных скважин на предмет определения возможного «высачивания» из них углеводородов за счет естественного старения заглушающих материалов или возможных допущенных нарушений технологии работ при их использовании.

Естественно, при этом возник вопрос о каталогизации всех пробуренных разведочных скважин с указанием их точных координат. При всей очевидности и простоте вопроса в процессе его решения возникли определенные трудности. Многие скважины были пробурены несколько десятилетий тому назад, при этом общий уровень геодезического обеспечения в то время не позволял определять координаты этих объектов с необходимой точностью. Некоторые скважины, не доведенные до конца в процессе разведочного бурения, например, в связи с поломкой бурового инструмента, просто бросались и не документировались надлежащим образом, при этом их местоположение известно только приблизительно.

Таким образом, вопрос поиска и определения координат ранее заглущенных скважин приобретает самостоятельное значение, перспективным для решения подобных задач представляется использование дистанционных (главным образом – гидроакустических) методов исследований, описанию которых и посвящена настоящая статья.

### Материалы и методы исследования

Эффективное обнаружение законсервированных и, во многих случаях, погребенных под слоем осадков устьев скважин гидроакустическими методами возможно по ряду классификационных признаков.

Наиболее очевидными из них являются отчетливо выраженные на дне следы проведения бурения и консервации скважины (выход конца буровой колонны из дна, следы механического заглущивания конца буровой колонны, следы установки защитного каркаса или защитной бетонной плиты над выходом трубы и т.п.). Одним из самых эффективных методов обнаружения такого рода классификационных признаков является высокочастотная гидролокация бокового обзора [2]. Использование гидролокаторов бокового обзора (ГБО) возможно в двух основных режимах: буксировка на кабеле за судном или жесткая установка рабочего тела непосредственно на судне-носителе. Каждый из указанных методов имеет свои преимущества и недостатки, их использование обуславливается конкретными условиями проведения исследований. При достаточно большой глубине акватории (сотни метров) преимущество следует отдать первому методу, так как только он может обеспечить прохождение буксируемого тела ГБО в непосредственной близости от исследуемого объекта, что необходимо для его уверенной индикации. Но при этом требуется дополнительный метод и, соответственно, аппаратура (обычно это гидроакустическая навигационная система) для определения абсолютного положения гидролокатора в пространстве. Любые гидроакустические навигационные системы, как с короткой, так и с длинной базой, требуют предварительных калибровок, квалифицированного обслуживания и дополнительных затрат времени. Вместе с тем при глубинах менее 100 м разрешающая способность и дальность действия ГБО, установленных непосредственно на судне, всё ещё позволяют обнаруживать исследуемые объекты, и на первое место выходит простота и скорость выполнения работ. Судно с жестко установленным на нём рабочим телом ГБО обладает существенно большей маневренностью, а главное, при этом отсутствует необходимость использования независимой гидроакустической навигационной системы, так как координаты рабочего тела ГБО с точностью до фиксированных оффсетов совпадают с координатами судна-носителя. При современном уровне навигационного обеспечения эти координаты определяются с точностью до первых десятков сантиметров.

Следует иметь в виду, что в условиях малых глубин на шельфе гидродинамические процессы могут активно воздействовать

на дно акваторий, способствуя развитию аккумулятивных и эрозионных процессов и миграции русловых наносов [3]. При этом в ряде случаев всего за несколько месяцев может существенно изменяться рельеф поверхности дна, а большинство механических признаков наличия устья скважины просто оказываются погребенными под слоем осадков. Практика показывает, что при этом часто имеет место локальное изменение глубины в районе выхода скважины в виде углубления (кратера) или небольшого холма, образовавшихся при заносе устья скважины осадками. Подобного рода признаки достаточно легко определяются с помощью современных высокочастотных многолучевых эхолотов, обеспечивающих широкую полосу перекрытия по дну и высокую точность измерения глубины.

Кроме того, свидетельством наличия ранее пробуренной скважины может являться локальное нарушение структуры поддонного слоя садков, образовавшееся в процессе проведения бурения. По нашей оценке, наиболее перспективным для выявления подобных признаков является использование узколучевых параметрических эхолотов-профилографов. При этом, вместе с рядом очевидных преимуществ (высокое разрешение, хорошее проникновение в грунт, компактность конструкции), при проведении поисковых работ имеет место один существенный недостаток: узкий луч профилографа засвечивает на дне пятно малого радиуса (первые единицы метров). Это существенно затрудняет и удлиняет процесс поиска скважины. На практике сейсмопрофилограф применяется обычно в качестве последнего завершающего прибора для окончательной идентификации предполагаемого места расположения скважины, ранее обнаруженного другими методами.

Различные по природе и происхождению классификационные признаки почти всегда требуют комплексирования различных методов исследований и соответственно раздельного или совместного использования разной гидроакустической аппаратуры с целью достижения наиболее эффективных результатов.

Авторами накоплен большой опыт проведения подобного рода работ, на результатах которого мы ниже остановимся. При работах использовалась следующая аппаратура.

*Гидролокатор бокового обзора ДГБО «Гидра 250/500» производства НИИ им. Тихомирова, Россия, позволял получать визуализированную акустическую картину*

морского дна с достаточно высоким разрешением, что делало возможным обнаружение скважин и других следов проведения бурения и консервации на исследовательском полигоне при их характерных размерах в единицы метров. Прибор состоит из бортового блока управления, блока приема, и забортной опускаемой антенны.

*Многолучевой эхолот WASSP WMB-3250* производства WASSP Limited, Новая Зеландия, являлся законченной системой получения данных о батиметрии и водной толще для глубин до 300 м и позволял проводить измерения с точностью, соответствующей международному гидрографическому стандарту IHO Order 1a. Эхолот совместим с профессиональным гидрографическим программным обеспечением Hupack, Qinsy и т.д. Эхолот состоит из блока приема-передачи ВTxR, процессора и приемо-передающей антенны.

*Эхолот-профилограф SES-2000 Standard* производства немецкой фирмы «Innomar Technologie GmbH» позволял производить зондирование слоя осадков на дне до глубин порядка единиц, а иногда и десятков метров (в зависимости от геологических условий). Прибор состоял из блока управления и приемо-передающей антенны. В приборе в результате ряда технических решений реализуются: достаточно низкая частота излучения (4–15 кГц), обеспечивающая хорошее проникновение зондирующего сигнала в грунт; высокая частота следования импульсов, что повышает достоверность распознавания объектов малых размеров; узкая диаграмма направленности излучаемого низкочастотного сигнала, что значительно повышает пространственное разрешение метода; а также возможность одновременного использования высокочастотного канала эхолота для получения точной батиметрической информации, а низкочастотного – для проникновения в верхнюю осадочную толщу.

Подробные технические параметры всех использовавшихся приборов приведены в работе [4].

Применительно к особенностям выполняемых работ была разработана система крепления приемо-излучающих антенн аппаратуре на судне. Антенны ГБО и многолучевого эхолота обычно устанавливались на одну поворачивающуюся в вертикальной плоскости штангу, которая позволяла легко переходить из походного положения в рабочее. Штанга крепилась с правого борта на главной палубе в районе миделя судна.

В рабочем положении штанга опускалась вертикально вниз, обеспечивая заглубление антенн приборов на глубину осадки судна. Таким образом, обеспечивалась работа ГБО и многолучевого эхолота в оба борта. Одновременная работа двух антенн, расположенных практически в одном и том же месте, позволила взаимно дополнить информативность каждого из используемых методов, а также расширить возможности интерпретации получаемых данных. Приемо-излучающая антенна эхолота-профилографа крепилась на штанге с левого борта, ее конструкция также позволяла быстро переходить из походного положения в рабочее.

Методика работы с комплексом гидроакустического оборудования предусматривала движение судна вдоль исследовательских галсов с одновременной записью информации всех или части используемых приборов на твердые носители и выводом текущего изображения на экраны соответствующих мониторов. Скорость движения судна составляла величину до 5 узлов и ограничивалась в первую очередь механическими параметрами крепления штанги к борту судна. В процессе работы в реальном масштабе времени фиксировались все представляющие интерес подводные объекты, при последующей обработке осуществлялась их полная пространственная и времененная привязка.

Работы обычно проводились в следующей последовательности:

- вокруг предполагаемой точки расположения скважины строился прямоугольный полигон;

- судно с многолучевым эхолотом и ГБО отрабатывало полигон по сетке параллельных равноотстоящих галсов. Расстояние между галсами составляло не более двух глубин под килем, что обеспечило полное перекрытие обследуемой площади. Основные съемочные галсы пересекались секущими галсами. После этого в местах, представляющих возможный интерес, проводилась съемка эхолотом-профилографом. Все параметры съемки сохранялись для их дальнейшей обработки и контроля;

- при наличии в какой-либо точке одного или нескольких указанных выше признаков наличия устьев скважин или других техногенных объектов, точки выделялись и проводилась съемка окрестностей указанной точки подводными аппаратами либо водолазами.

Следует отметить, что при всей очевидной эффективности гидроакустических

методов поиска подводных объектов они практически никогда не позволяют точно установить физическую природу исследуемых объектов. Единственным надежным классификационным признаком объекта, разыскиваемого гидроакустическими методами, является его геометрическая форма. Однако в используемом диапазоне частот идентификация предмета по его форме возможна практически в двух случаях: мы точно знаем, что мы ищем, а разыскиваемый предмет имеет достаточно большие размеры (пять, шесть метров и более), и форма его характерна и узнаваема (затонувшее судно или самолет, лежащий на дне якорь и т.п.). Во всех остальных случаях отличить металлический предмет от деревянного, сферический от кубического, естественный от искусственного представляется весьма затруднительным, а зачастую и невозможным. Поэтому заключительная идентификация обнаруженных гидроакустическими методами объектов путем их обследования водолазами или подводными аппаратами является абсолютно необходимым элементом поисковых работ [5].

### Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приведены два примера, иллюстрирующие необходимость применения визуальных методов для окончательной идентификации подводных объектов, обнаруженных гидроакустическими способами. На рис. 1 приведены изображения подводного объекта, полученные с помощью МЛЭ (слева) и ГБО (в центре). Идентификация указанного объекта с помощью водолазного обследования показала, что он является торчащей из дна обсадной трубой заглушенной скважины. Последующий проход судна точно над обнаруженным объектом позволил получить изображение обсадной трубы с помощью высокочастотного узколучевого канала SES-2000 (на рис. 1, справа). На рис. 2 приведено изображение объекта, который по внешним признакам был схож с рис. 1, однако по факту после проведения водолазного обследования этот объект оказался несколькими лежащими рядом предметами техногенного происхождения.

Как было сказано ранее, идентификация обнаруженных объектов может быть существенно облегчена при наличии априорных знаний об их природе. В качестве примера приведем гидролокационное изображение верхней части скважин, заглушки которых по имевшейся информации

было осуществлено путем заливки верхней части скважины бетонной подушкой толщиной порядка 20 см и диаметром около 15 м. Соответствующие изображения приведены на рис. 3, причем левый рисунок соответствует заглушки, лежащей на песчаном участке дна и не занесенной осадками, а правый – частично занесенной заглушки на илистом дне.

Априорная информация о конструкции заглушивающих устройств на верхней части скважин позволяет иногда предсказать некие новые идентификационные признаки наличия скважин. Например, наличие указанных выше бетонных плит диаметром порядка 15 м и толщиной 20 см дает основание предположить, что при проходе над такой скважиной узколучевого эхолота-профилографа под плитой возникнет зона тени, отчетливо выделяющаяся на фоне слоистой структуры осадков. Сказанное иллюстрируется рис. 4, где приведены эхограммы параметрического эхолота-профилографа SES-2000, причем правая часть картинки относится к случаю прохождения судна над заглушенной скважиной, устье которой расположено на глубине 455 м, где использование другой аппаратуры представлялось проблематичным. Отчетливо видна зона тени под скважинами, визуально нарушающая слоистую структуру осадков.

## Выводы

В настоящей статье описана методика и представлены результаты натурных экспериментов, выполненных в акваториях Каспийского моря и морей Северного Ледовитого океана по исследованию возможностей использования высокоразрешающей гидроакустической аппаратуры для обнаружения положения заглушенных разведочных скважин на дне акваторий.

Несмотря на ряд ограничений и трудностей, использование высокоразрешающей гидроакустики является в настоящее время весьма эффективным методом, позволяющим решать поставленные задачи со вполне приемлемой для практических задач точностью, даже при условии частичного или полного засыпания оголовья скважин слоем грунта.

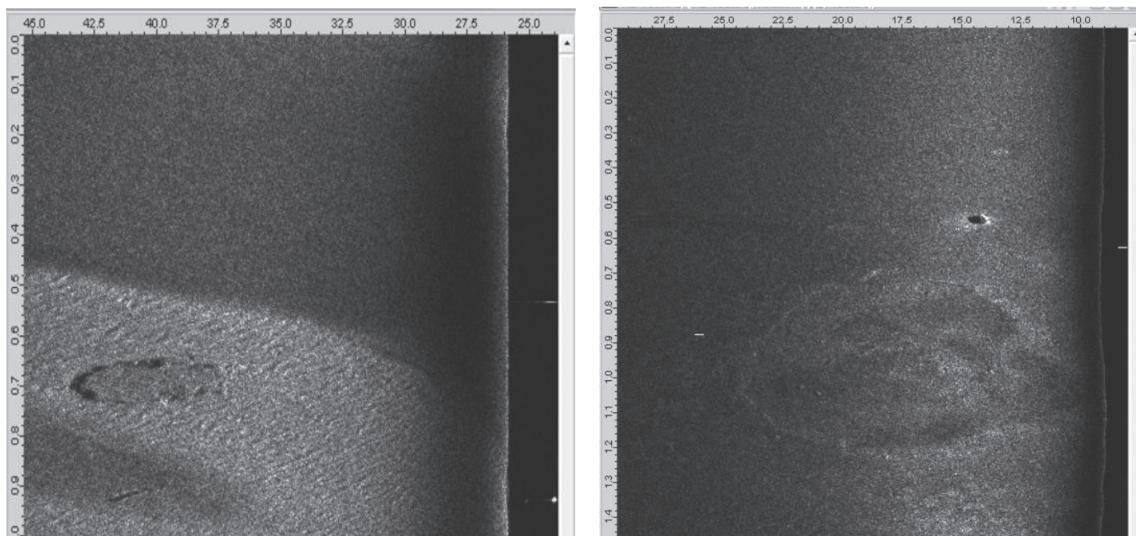
Следует отметить, что специфика гидроакустических измерений в большинстве случаев позволяет достаточно оперативно определять и позиционировать на дне объекты различной природы, однако точная их идентификация возможна, в большинстве случаев, только при условии финальной верификации обнаруженного объекта с помощью подводных управляемых аппаратов или водолазного обследования.



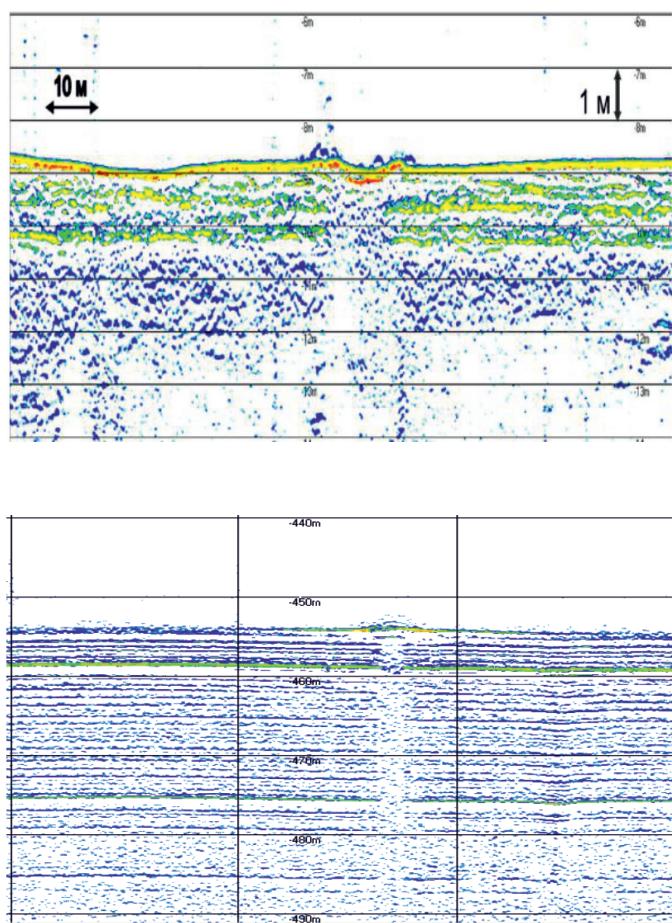
Рис. 1. Изображение, полученное МЛЭ (слева), ГБО (в центре) и узколучевым эхолотом (справа), торчащей из дна обсадной трубы заглушенной скважины



Рис. 2. Изображение нескольких техногенных объектов на дне, полученное МЛЭ (слева) и ГБО (справа)



*Рис. 3. Гидролокационные изображения бетонных плит, заглушающих скважины на песчаном (слева) и заиленном (справа) участках дна. На правом рисунке рядом с плитой видны несколько техногенных объектов*



*Рис. 4. Эхограммы эхолота-профилографа SES-2000, полученные при прохождении судна над скважинами, заглушенными с помощью бетонных плит (эффект затенения)*

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).*

### Список литературы

1. Локтев А.С. Нормативное регулирование инженерно-геологических изысканий при освоении нефтегазовых ресурсов на российском шельфе / А.С. Локтев, В.Н. Хоштария, М.Ю. Токарев // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2017. – № 4 (32). – С. 144–149.
2. Колесниченко В.В. Гидрофизический мониторинг мелководных районов в целях обеспечения экологической безопасности / В.В. Колесниченко, В.Б. Мит'ко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – Т. 95, № 6. – С. 61–65.
3. Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами / А.М. Камалов [и др.] // Криосфера Земли. – 2006. – Т. 10, № 3. – С. 3–14.
4. Использование сейсмоакустического комплекса для исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в Восточной Арктике / Н.Н. Дмитриевский [и др.] // Океанология. – 2013. – Т. 53, № 3. – С. 412–417.
5. Караев Р.Н. Подводно-технические работы на Каспийском шельфе / Р.Н. Караев // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 2. – С. 46–54.

### References

1. Loktev A.S. Normativnoe regulirovanie inzhenerno-geologicheskix izy'skanij pri osvoenii neftegazovy'x resursov na rossijskom shel'fe / A.S. Loktev, V.N. Xoshtariya, M.Yu. Tokarev // Nauchno-tekhnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki. – 2017. – № 4 (32). – pp. 144–149.
2. Kolesnichenko V.V. Gidrofizicheskij monitoring melkovodny'x rajonov v celyax obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti / V.V. Kolesnichenko, V.B. Mit'ko // Izvestiya Yu-zhnogo federal'nogo universiteta. Texnicheskie nauki. – 2009. – T. 95, № 6. – pp. 61–65.
3. Morfolitodinamika beregov i dna Bajdaraczkoj guby` na trasse perekoda magistral'ny'mi gazoprovodami / A.M. Kamalov [i dr.] // Kriosfera Zemli. – 2006. – T. 10, № 3. – pp. 3–14.
4. Ispol'zovanie sejsmoakusticheskogo kompleksa dlya issledovaniya verxnej osadochnoj tolshhi i rel'efa morskogo dna v Vostochnoj Arktike / N.N. Dmitrievskij [i dr.] // Okeanologiya. – 2013. – T. 53, № 3. – pp. 412–417.
5. Karaev R.N. Podvodno-tekhnicheskie raboty` na Kaspijskom shel'fe / R.N. Karaev // Morskie intellektual'ny'e texnologii. – 2010. – № 2. – pp. 46–54.