

© В.П. Коболев<sup>1</sup>, П.А. Буртный<sup>1</sup>, С.Н. Довбыш<sup>2</sup>,  
С.Ф. Михайлюк<sup>1</sup>, О.М. Русаков<sup>1</sup>, С.С. Чулков<sup>1</sup>, 2011

<sup>1</sup>Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

<sup>2</sup>Институт геологических наук НАН Украины, Киев

## ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 66-м РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

*Приведены основные результаты опытно-методических геолого-геофизических исследований, полученные в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в западной части Черного моря. Работы проводились в рамках выполнения целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины на 2010–2012 гг. «Комплексная оценка состояния и прогнозирования динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна».*

**Введение.** После более чем трехлетнего перерыва, связанного с капитальным ремонтом и переоборудованием, научно-исследовательское судно (НИС) «Профессор Водяницкий» 31 августа 2010 г. вышло в свой третий, а по общему счету – 66-й рейс. Первые после ремонта 64-й и 65-й рейсы были посвящены соответственно гидробиологическим (Институт биологии южных морей им. О.О. Ковалевского НАН Украины) и геолого-геохимическим (Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины) исследованиям Черного моря [1].

Опытно-методические комплексные геолого-геофизические исследования в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» проводились в рамках выполнения целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины на 2010–2012 гг. «Комплексная оценка состояния и прогнозирования динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна». Главной целью экспедиции согласно основной задаче «Комплексное геолого-геофизическое изучение эволюции, глубинного строения и состава земной коры; определение энергетического и минерального ресурсного потенциала Азово-Черноморского региона, разработка новых методов и технологий их исследований» была отработка оптимальных методических приемов проведения комплексных геолого-геофизических наблюдений над нефтегазоперспективными структурами западной части Черного моря. В Черном море встречается наиболее широкий спектр нефтегазоносных объектов, которые имеют сложное геологическое строение и залегают в разных термобарических условиях. Такая оценка специфики этого региона дает основание рассматривать его как полигон для разработки, испытания и внедрения различных технико-методических и технологических приемов выделения, оценки параметров и освоения нефтегазоносных объектов в широком диапазоне стратиграфического разреза. Комплекс геолого-геофизических работ включал следующие методы и технологии:

1. Сейсмическое профилирование, как главный метод выявления амплитудных и скоростных аномалий, обусловленных структурными особенностями геологического разреза и нефтегазовмещающими породами.

2. Электромагнитное профилирование методом анализа спонтанной электромагнитного излучения (АСЭМИ) с целью изучения зон структурно-тектонически-напряженного состояния.

3. Геотермические исследования температурного режима верхней части донных осадков с целью расчета тепловых потоков и построения термобарических моделей формирования зон газогидратообразования.

4. Гравиметрические и магнитометрические наблюдения с целью картирования разломно-блокового строения земной коры.

5. Приповерхностные структурно-термо-атмогеохимические исследования (СТАГИ) с целью прогнозирования зон повышенной проницаемости и поисков углеводородов.

**Организация экспедиции.** Подготовка к проведению опытно-методических геолого-геофизических работ в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» проходила довольно сложно. Это было обусловлено рядом объективных и субъективных причин. К объективным причинам следует отнести значительное количество современных морских геолого-геофизических комплексов, которые впервые были установлены на НИС «Профессор Водяницкий» в качестве штатного оборудования. Это потребовало времени и больших усилий как со стороны научных сотрудников Института геофизики им. С.И. Субботина и Института геологических наук НАН Украины, так и экипажа судна. На протяжении двух недель перед выходом в море был выполнен значительный объем работ по их установке и стыковке с палубными механизмами.

В это время продолжались работы по техническому оснащению судна. Прежде всего, это касается установки и запуска системы кондиционирования судна, без которой, по опыту предыдущего рейса [1], работа претензионной геофизической аппаратуры была бы невозможной. Технологические испытания установленного во время ремонта компрессора, предназначенного для обеспечения работы сейсмического комплекса, обнаружили ряд технических неисправностей, которые потребовали ремонта и замены некоторых его деталей. Были также приобретены и смонтированы на палубной палубе кран-балка и откидной мостик для проведения забортных геотермических наблюдений и дополнительные спасательные средства в связи с увеличением численности научного состава экспедиции. Все эти и другие второстепенные вопросы оперативно решались благодаря самоотверженной работе команды НДС «Профессор Водяницкий» во главе с капитаном Тининикой Владимиром Григорьевичем, который профессионально обеспечил выход судна в море, с пониманием относился к нашим просьбам и предложениям относительно изменений и корректирования маршрута движения судна.

В рейсе принимали участие 17 сотрудников Института геофизики НАН Украины и 7 – Института геологических наук НАН Украины. В исследованиях были также задействованы ведущие специалисты Морской геолого-геофизической экспедиции Причерноморского государственного региональ-

ного геологического предприятия (Одесса), концерна «Надра» и ООО «СИ Технолоджи Инструментс» (Геленджик). Всего научный состав экспедиции насчитывал 28 специалистов, среди которых – 3 доктора и 4 кандидата наук.

**Аппаратурно-техническое обеспечение морских геолого-геофизических исследований 66-го рейса НИС «Профессор Водяницкий».** Геофизическими исследованиями морей и океанов Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины занимается на протяжении нескольких десятков лет. В последние годы морские геофизические наблюдения выполнялись на аппаратурных комплексах и оборудовании, возраст которых превышал четверть века. Естественно, что такой длительный срок эксплуатации привел не только к их физическому, но и к моральному старению. Поэтому насущной проблемой стала необходимость расширения методов исследований и обновления аппаратурного парка для проведения полноценных комплексных морских экспедиционных исследований. Вторым существенным моментом является необходимость получения результатов экспериментальных геофизических наблюдений в соответствующих форматах для их последующей обработки и интерпретации на современном программно-алгоритмическом уровне.

Приобретение новых современных образцов морской геофизической аппаратуры и оборудования требует значительных финансовых затрат. Такая возможность появилась в начале 2007 г., когда была утверждена первая целевая программа научных исследований НАН Украины «Программа комплексных биоресурсных, гидрофизических и геолого-геофизических исследований морской среды, перспективных нефтегазоносных структур и картирования распределения газогидратов в акватории Черного и Азовского морей на 2007–2009 гг.». В рамках выполнения этой Программы Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины был разработан аппаратурно-методический комплекс для обеспечения морских геофизических исследований на НИС «Профессор Водяницкий» и приобретены современные образцы морской сейсмической, магнитометрической и геотермической аппаратуры. А именно: телеметрическая сейсмическая система для морских работ XZone® Bottom Fish производства ООО «СИ Технолоджи Инструментс» (Геленджик, Россия), комплект пневмопушек фирмы VOLT (США), морской протонный магнитометр-градиентометр MPMG-3 (ООО „Импеданс”, Троицк, Россия), морской геотермический комплекс «ГЕОСТМ» (НПЦ «ПАЛС», Самара, Россия) и электромагнитный комплекс “ASTROGON-M” (производство ООО «Юг-нефтегазгеология», Украина). Также была выполнена модернизация имеющегося в Институте морского гравиметрического комплекса ГМН-К и разработано программно-алгоритмическое обеспечение обработки и интерпретации материалов гравиметрических и геотермических наблюдений.

Сотрудники Института геофизики НАН Украины принимали активное участие в техническом переоборудовании судна. Прежде всего, это касается приобретения и установки мощного стационарного компрессора ЭК-7.5, ресивера и монтажа необходимой сети трубопроводов для обеспечения сжатым воздухом системы возбуждения упругих колебаний для сейсмических исследований.

Институтом геологических наук НАН Украины была разработана и внедрена в практику комплексная методика СТАГИ для прогнозирования разломных зон повышенной проницаемости и поисков углеводородов [2]. С учетом специфики морских исследований технология СТАГИ была адаптирована к условиям поисково-разведочных работ в Азовском и Черном морях. В результате был определен комплекс методов приповерхностных исследований в морских акваториях, который включает геолого-структурный анализ объектов исследований, термометрическую съемку донных отложений, радонометрическую и газовую съемки придонного слоя воды (по Rn, He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и свободным углеводородам). Параллельно с научно-методическими разработками были выполнены работы по созданию и усовершенствованию специального аппаратного комплекса, а также проведены его испытания в морских условиях. Тем не менее, несмотря на большой объем выполненных работ, многие вопросы научно-методического характера нуждались в дополнительном изучении. Прежде всего, это касается усовершенствования комплексной методики структурных, термометрических и атмогеохимических исследований в морских экспедиционных условиях для локального прогнозирования залежей углеводородов.

Специфика комплексных геолого-геофизических работ состоит в проведении наблюдений с помощью сенсорных приемников стационарно установленных (гравиметрические и электромагнитометрические) и удаленных за борт судна. Последние в свою очередь делятся на буксируемые во время движения судна (магнитометрические и сейсмометрические) и зондирующие водную толщу и донные осадки при дрейфе судна на станциях (геотермические и термо- атмогеохимические). Такой широкий спектр непрерывных и дискретных геолого-геофизических наблюдений потребовал отработки совместимости и согласования различных видов работ в оптимальном режиме использования судового времени.

Таким образом, в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» был апробирован аппаратно-методический комплекс экспериментальных геолого-геофизических методов исследований с целью изучения нефтегазоносности морского дна. Прежде всего, внимание было сконцентрировано на отработке оптимальных методических приемов комплексных геолого-геофизических работ. При этом отдельной задачей была оценка совместимости оборудованных геолого-геофизических комплексов с силовыми и спускоподъемными механизмами НИС «Профессор Водяницкий».

Для выполнения геолого-геофизических наблюдений в 66-м рейсе было задействовано как штатное оборудование НИС «Профессор Водяницкий» – траловая и спускоподъемные лебедки (ЛН<sup>№</sup> 3, 4, 6) для проведения заборных работ, компрессор высокого давления (К), ресивер (R), так и следующее научно-техническое геолого-геофизическое оборудование (рис. 1).

*Сейсморазведочный комплекс* состоит из двух взаимосвязанных систем – регистрации и возбуждения упругих колебаний. В качестве системы регистрации использовалась цифровая телеметрическая система XZone<sup>®</sup> Bottom Fish, предназначенная для проведения 2D- и 3D-сейсмического профилирования на акваториях при глубинах моря свыше 20 м. Конструктивно система состоит из двух основных частей: центральной станции регист-

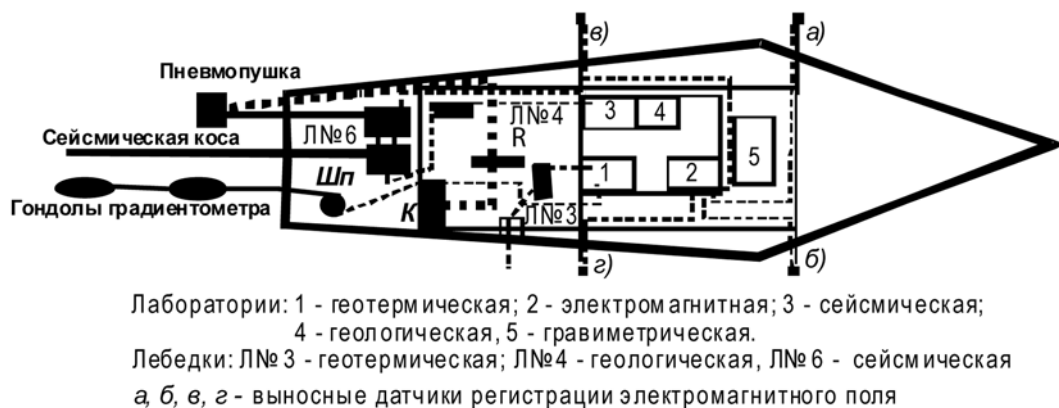


Рис. 1. Размещение лабораторий и палубного научно-технического оборудования на НИС «Профессор Водяницкий»

рации (ЦСР), палубного и забортного оборудования. ЦСР способна обрабатывать до 7200 каналов с поддержкой нескольких кос, что существенно увеличивает производительность сейсморазведочных работ. Для возбуждения упругих колебаний использовались высокочастотные пневмоисточники (пушки) объемом 10, 20 и 40 куб. дюймов. Работа сейсморазведочного комплекса осуществлялась по «классической» технологии морских работ с фланговой системой наблюдений.

*Модернизированный гравиметрический комплекс ГМН-К (ИГФ)* состоит из трех идентичных гравиметров ГМН-К, в основу работы которых положен компенсационный метод измерения. Модернизация гравиметрического комплекса заключалась в преобразовании аналоговых параметров работы гравиметров с помощью прецизионных потенциометров в цифровой сигнал. Вся информация о параметрах работы соответствующих датчиков поступает на АЦП и далее на компьютер где сохраняется на жестком диске в виде таблицы в ТХТ-формате.

*Измерительно-вычислительный комплекс для дифференциальных гидромагнитных исследований* – морской буксируемый протонный магнитометр-градиентометр МРМГ-03 “IMPEDANCE” предназначен для автоматического измерения модуля вектора магнитной индукции Земли в двух разнесенных в пространстве точках и градиента между ними в условиях морской магнитной съемки. Комплекс включает в себя забортный и наборный блоки, соединенные между собой кабелем-буксиром. При проведении

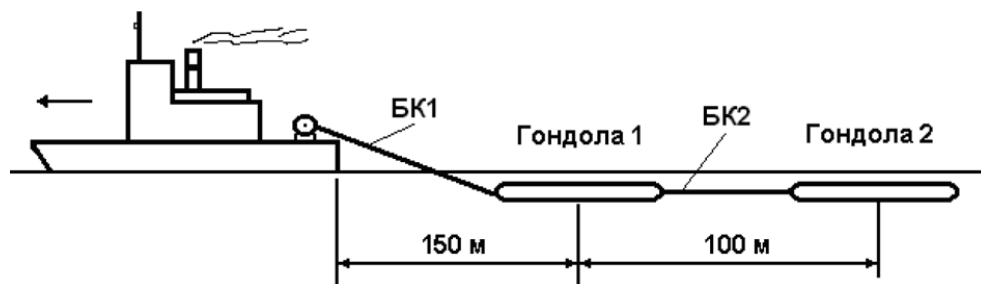


Рис. 2. Забортная часть магнитометра-градиентометра МРМГ-03 “IMPEDANCE”

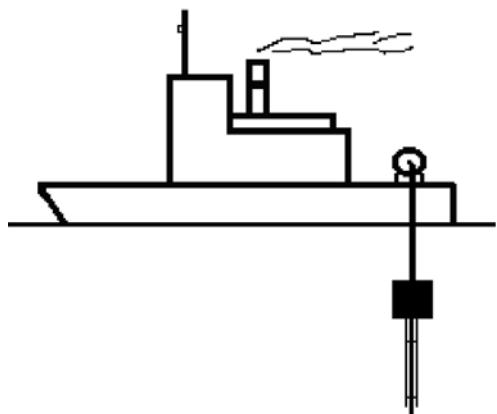
наблюдений за бортом буксируются на расстоянии не менее трех длин корпуса судна от его кормы две погружные гондолы (рис. 2).

Программное обеспечение прибора реализует возможность измерения и записи длительности последовательно идущих периодов сигналов прецессии от двух разнесенных в пространстве датчиков протонных магнитометров. При этом в каждой из буксируемых гондол, на основе измеренных периодов частоты, формируются цифровые значения поля – единичные измерения, которые затем суммируются контроллером в ближней из буксируемых гондол, преобразуются в последовательный код и передаются в бортовой блок управления комплексом.

*Геотермический телеметрический аппаратный комплекс «Геос-ТМ2»* предназначен для дискретных определений глубинного теплового потока через морское дно и обеспечивает измерение *in situ* температур, термоградиентов, теплопроводности донных осадков, температуры придонной воды, гидростатического давления (глубины) и угла внедрения погружаемой части зонда в донные осадки. Измерительный комплекс состоит из погружного зонда и бортового блока, соединенных между собой трехжильным кабель-тросом (рис. 3).

Процесс измерения геотермических параметров и обработка результатов полностью автоматизированы и выполняются по заданной программе. Достоинством системы «ГЕОС-ТМ» является возможность оперативного контроля и управления процессом измерения. Она позволяет четко фиксировать момент и угол вхождения зонда в осадки и его извлечения, следить за процессом становления теплового равновесия между зондом и осадками. Оперативное получение такой информации дает возможность рационально использовать судовое время заборных работ путем своевременного изменения режима работы лебедки, а также выполнять повторные внедрения зонда в осадки на отдельных станциях.

Приборной основой *метода анализа спонтанной электромагнитного излучения (МАСЕМИ)* является комплекс «ASTROGON-M» (производство ООО «Юг-нефтегазгеология», Украина). В его состав входят: 4 надводных приемника, установленных попарно с двух бортов судна на выносных штангах, пульт управления, регистратор, приемник GPS, интерфейсный адаптер и компьютер. Анализатор активности электромагнитного поля представляет собой 12-ти канальный пороговый регистратор числа импульсов шумоподобной магнитной компоненты радиоволнового фона Земли с привязкой к координатам местоположения по системе GPS. Регистрация производится в непрерывном режиме. Результаты регистрации записываются в запоминающее устройство.



представляет собой 12-ти канальный пороговый регистратор числа импульсов шумоподобной магнитной компоненты радиоволнового фона Земли с привязкой к координатам местоположения по системе GPS. Регистрация производится в непрерывном режиме. Результаты регистрации записываются в запоминающее устройство.

Рис. 3. Схема геотермических наблюдений телеметрическим комплексом „Геос-ТМ2”

Приповерхностные структурно-термо-атмогеохимические исследования были обеспечены комплектом технических средств и приборов, который включал: персональный навигатор GPS-системы, термозонд с комплектом оборудования, пробоотборник-дегазатор, полевую радонометрическую лабораторию. Для измерения температуры донных осадков в рейсе был использован термозонд «ИТМГ-4КР» с автоматической записью результатов, который позволяет измерять температуру на поверхности дна и глубинах 0,5 и 1,0 м. Отбор и дегазация проб придонной воды с целью определения содержания радона, углекислого газа, водорода, гелия и углеводородов выполнялись с помощью пробоотборника-дегазатора ПДБК-2М и его модификации ПДБК-3Г, разработанных в Институте геологических наук НАН Украины. Содержание радона в пробах определялось с помощью компактной лаборатории в составе газовакуумного приспособления для впуска пробы, сцинтилляционной камеры и радиометра-спектрометра. Отбор донных осадков на фаунистический анализ и геоэкологические исследования проводился прямоточной грунтовой трубкой.

**Особенности выполнения программы опытно-методических работ и результаты предварительной обработки полученных материалов наблюдений. Схема маршрута экспедиции.** Опытно-методические экспериментальные геолого-геофизические работы в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» проводились в западной части Черного моря (рис. 4). Условно весь эк-

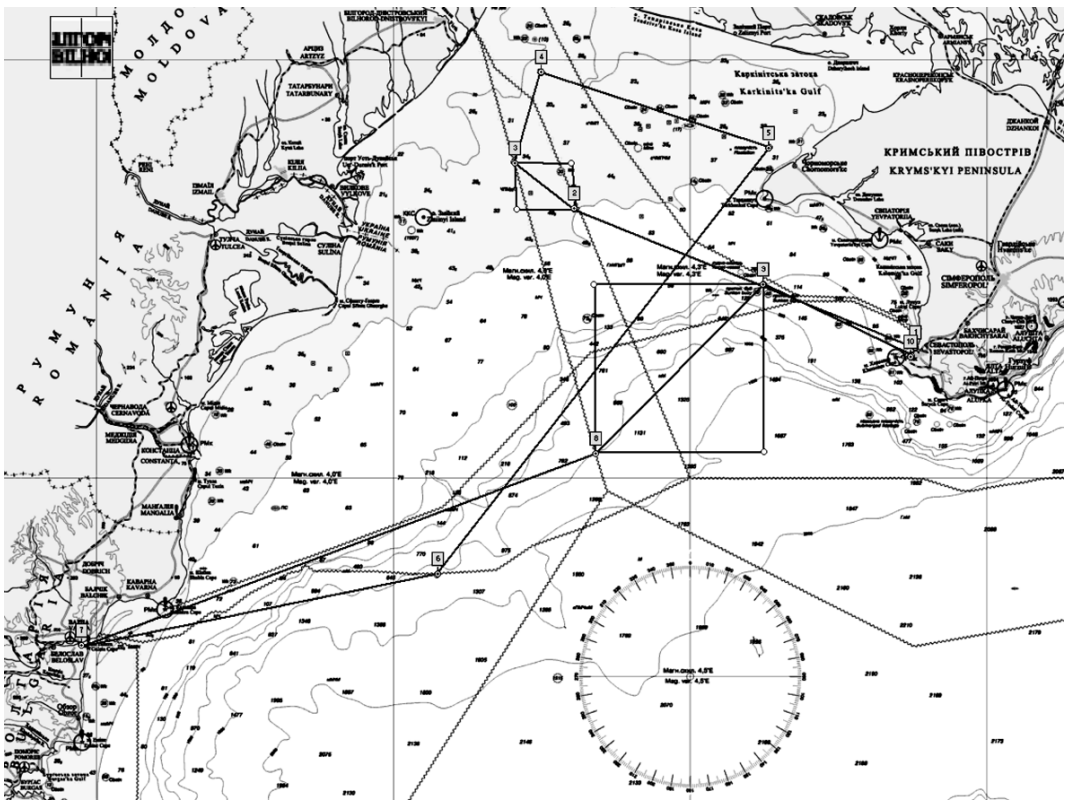


Рис. 4. Схема маршрута 66-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»

спедиционный период можно разделить на два этапа – до захода в порт Варна и после. Первый этап включал дискретные станционные исследования на полигоне 1 и непрерывные геофизические наблюдения во время переходов над отдельными нефтегазоперспективными структурами. На втором этапе была выполнена профильная съемка и отбор донных осадков на фаунистический анализ и геоэкологические исследования на полигоне 2.

Во время захода в порт Варна состоялись переговоры с директором Института океанологии Болгарской академии наук проф. Атанасом Палазовым о проведении совместных геолого-геофизических экспедиционных исследований в исключительно Болгарской и Украинской экономических зонах Черного моря.

*Навигационные особенности рейса.* Практически всю экспедицию 66-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» сопровождали сложные погодные условия. Сильные ветры северо-западного и северо-восточного направлений, которые достигали скорости до 20 м/с, вызывали волнение моря более 4–6 баллов. При движении судна лагом к волне бортовая качка начинает ощущаться при волнении моря после 4 баллов. Такие неблагоприятные погодные условия препятствовали плановому выполнению научной программы, судно трижды пряталось от шторма в укрытиях берега. Общая продолжительность отстоя судна во время штормовой погоды составила более 4 суток.

**Результаты отработки методических приемов выполнения морских геофизических наблюдений.** Запуск в работу новых морских комплексов и отработка методических приемов проведения разных видов геолого-геофизических работ проходили непосредственно во время выполнения запланированных наблюдений на двух полигонах и галсах (профилях) при переходах (табл. 1). Учитывая ограниченный объем журнальной статьи, остановимся на основных трудностях отработки методических приемов выполнения морских геолого-геофизических наблюдений и предыдущих результатах обработки и интерпретации полученного экспериментального материала.

На первом этапе во время перехода из порта Севастополь на полигон 1 была продолжена подготовка аппаратуры и оборудования к работе. В частности, было выполнено наполнение секций сейсмической косы специальной жидкостью для придания ей нейтральной плавучести.

В процессе технологических испытаний сейсмического комплекса был выявленный ряд помех, источником которых были силовые линии электропитания судовых лабораторий. С учетом технических сложностей, которые возникли во время проведения опытно-методических работ, была разработана методика и схема размещения забортного оборудования сейсмического телеметрического комплекса с целью оптимизации условий возбуждения и качественной регистрации сейсмических волн (рис. 5).

Непосредственные сейсмические наблюдения выполнялись 24-канальной косой, с первым приемником, размещенным на расстоянии 66,5 м от источника. Расстояние между соседними датчиками составляло 3 м, скорость движения судна – 4 узла, частота срабатывания пневмопушек – 12,5 м с периодом квантования 0,5 мсек.

Сейсмометрия – один из самых сложных и трудоемких новых методов. Технические сложности, а именно выход из строя компрессора, не по-



Таблица 1

№	Дата	Время	Маршрут, работы	Координаты		Расстояние, миль	Общая длительность		
				Широта	Долгота		час.	сут.	
1	31.08	23.00	Переход: Севастополь– полигон №1	45°18,0	30°04,0	110	12	0.5	
2	1.09 2.09	12.00 9.00	Наблюдения на станциях на полигоне №1				21	0.9	
3	2.09	9.00	Переход на штормовую стоянку	45°21.5 45°27.0	31°04.4 30°00.0	45	5	0.2	
4	3.09	4.00	Переход на полигон №1	45°27.0 45°21.5	30°00.0 31°02.4	43	5	0.2	
5	3.09 4.09	9.50 6.00	Наблюдения на станциях на полигоне №1				20	0.8	
6	4.09	6.20 16.10	Переход на профиль №1	45°30.4 45°58.5	30°50.1 30°56.0	30	10	0.4	
7	4.09 5.09	18.15 12.20	Наблюдения на профиле №1	45°58.5 45°33.0	30°56.0 32°27.5	70	18	0.7	
8	5.09 6.09	16.50 1.30	Наблюдения на профиле №2	45°33.0 44°26.2	32°27.5 31°13.6	85	9	0.4	
9	6.09	1.30 11.30	Наблюдения на станциях	44°26.2 44°27.2	31°13.6 31°28.3		10	0.4	
10	6.09 6.09	11.30 14.15	Технологические испытания сейсмического комплекса	44°18.9	31°27.5	13	3	0.1	
11	6.09 7.09	14.15 7.00	Переход в порт Варну				170	17	0.7
12	7.09 8.09	7.00 14.00	Стоянка в порте Варна				31	1.3	
13	8.09 9.09	14.00 9.00	Переход на полигон №2	44°41.0	31°44.0	180	19	0.8	
14	9.09 9.09	9.00 16.30	Наблюдения на профиле №3	44°41.0 44°47.0	31°44.0 32°13.0	22	7	0.3	
15	9.09	16.30 22.30	Переход на штормовую стоянку	45°18.3	32°33.6	40	6	0.3	
16	9.09 12.09	22.30 12.00	Штормовая стоянка	45°18.3	32°33.6		61	2.5	
17	12.09 12.09	12.00 17.00	Переход на полигон №2	44°46.5	31°39.5	30	5	0.2	
18	12.09	17.00 22.00	Наблюдения на профиле №5	44°46.5 44°53.5	31°39.5 32°10.0	23	7	0.3	
19	12.09 13.09	22.00 7.00	Переход на штормовую стоянку	45°18.3	32°33.6	30	9	0.4	
20	13.09	7.00 11.30	Переход на полигон №2	45°18.3 44°21.5	32°33.6 31°25.5	40	4.5	0.2	
21	13.09	11.30 17.30	Наблюдения на станциях	44°21.5 44°42.2	31°25.5 32°01.00		4	0.2	
22	13.09 14.09	17.30 3.30	Переход: полигон №2 – Севастополь	44°42.2	32°01.00	100	10	0.4	

зволили выполнить запланированный объем работ. Вместе с тем метод был запущен, сейсмические работы были выполнены на двух профилях. На рис.

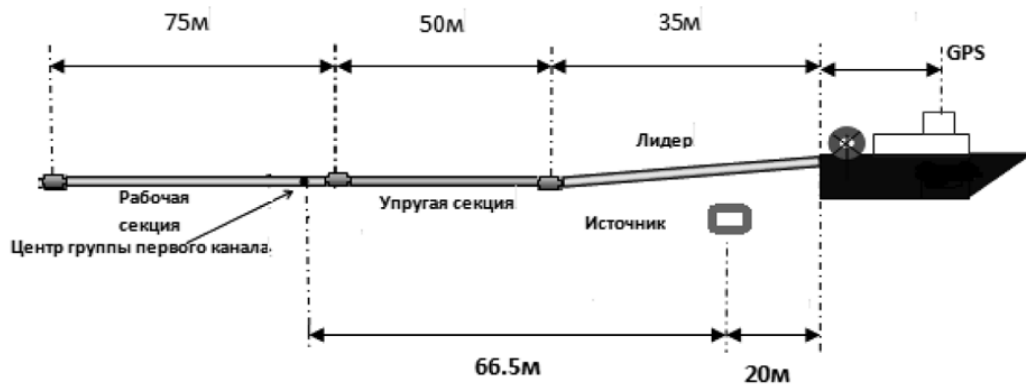


Рис. 5. Методическая схема размещения заборного оборудования сейсмического комплекса

6 приведен пример качества одноканальной записи, полученного согласно вышеупомянутой методической схеме.

Во время первого спуска за борт гондол магнитометра-градиентометра МПМГ-03 с целью отладки рабочих параметров было выявлено несоответствие регистрируемого уровня магнитного поля нормальным значениям. Набортное тестирование комплекса показало нормальную работу прибора. После продолжительных технических испытаний были обнаружены в судовой сети заземления помехи, которые достигали 30 В. Таким образом, была установлена невозможность работы МПМГ-03 в полноценном режиме до устранения выявленного разбалансирования системы электропитания и заземления. Отделение лабораторного блока питания от общесудового в морских условиях выполнить было невозможно.

Перед началом рейса были выполнены работы по созданию опорных гравиметрических пунктов (ОГП) возле места постоянного базирования судна – пирс 59 (Инкерман) и причала 122. Создание ОГП состояло из трех пар измерений между ОГП «Таможня» и новыми ОГП для каждого пункта. Характеристики созданных ОГП приведены в табл. 2.

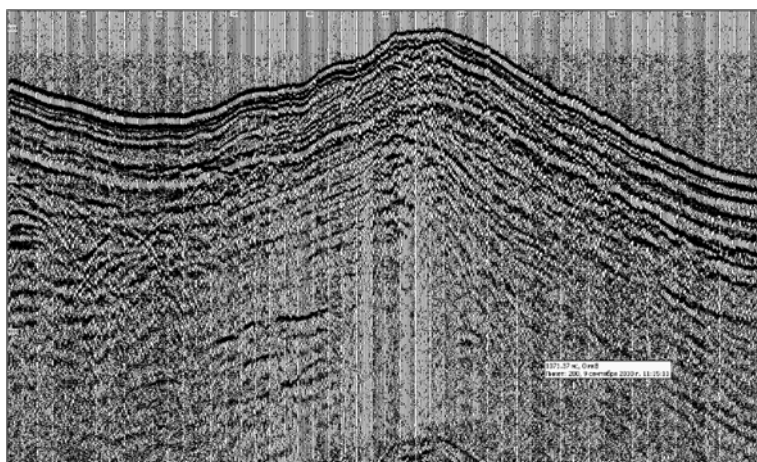


Рис. 6. Пример одноканальной сейсмической записи

Таблица 2

ОГП	Дата создания	Координаты		Абсолютное значение силы тяжести, мГал	Средне-квадратичная ошибка, мГал
		φ, N	λ, E		
Таможня	1995	44° 36' 54,5"	033° 31' 35,5"	980642,2	
Пирс 59	21.08.2010	44° 36' 42,8"	033° 34' 30,5"	980642,0	0,045
Причал 122	31.08.2010	44° 36' 12,5"	034° 31' 47,4"	980644,1	0,12

Запуск в эксплуатацию модернизированного гравиметрического комплекса включал в себя набортные опорные измерения тремя циклами у пирса № 59 и одним циклом – у причала № 122. После выхода из порта Севастополь гравиметрические наблюдения проводились непрерывно.

После выполнения подготовительных сборочных работ комплекса «ГЕОС-ТМ» было испытано качество соединения зонда с блоком управления через трос-кабель и выполнена калибровка датчиков. Результативные геотермические исследования произведены на 3 станциях на континентальном склоне западной части Черного моря. Анализ результатов наблюдений позволяет сделать вывод, что канал измерения температуры зонда работает удовлетворительно. Расхождение в определенные температуры разными датчиками не превышает тысячных частиц градуса. На изменения температуры все датчики реагируют синхронно. Теплопроводность осадков составляет 0,88–0,82 Вт/м·К. Эти данные согласуются с результатами предыдущих определений в этом регионе *in situ* и в лабораторных условиях.

Электромагнитные наблюдения методом АСЭМИ выполнялись практически по всему маршруту судна, за исключением штормовых галсов. На одном из них, при движении судна лагом при 4-х балльном волнении моря, бортовая качка привела к погружению одного из датчиков-приемников правого борта в воду и его выходу из строя. Ремонт и герметизация электронного модуля приемника были оперативно выполнены во время штормового отстоя судна.

Структурно-термо-атмогеохимические исследования (СТАГИ) с целью отработки комплекса методов картирования температурных и газово-геохимических аномалий в морских условиях и апробации аппаратного оборудования были выполнены на 57 станциях полигона 1. Работы проводились вдоль профилей, расстояние между станциями на профилях составляло одну милю. Средняя продолжительность выполнения заборных работ на одной станции и переход между ними составляли приблизительно 20–25 минут. Дополнительно на промежуточной штормовой стоянке судна были отобраны пробы донных отложений и проводились измерения температуры их верхнего слоя.

**Предварительные результаты обработки и интерпретации полученного экспериментального материала.** Геолого-геофизические исследования в 66-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» были направлены на изучения известных месторождений и перспективных структур на северо-западном шельфе Черного моря.



Рис. 7. Размещение полигона 1 и профиля 1 на схеме месторождений и перспективных структур северо-западного шельфа Черного моря

Полигон 1 расположен в границах Безымянной, Рифтовой и Осетровой газоперспективных структур (рис. 7).

На основе выполненных на этой площади термометрических и газогеохимических исследований составлены карты полей приповерхностной разгрузки флюидогазовых потоков (свободных углеводородов, гелия, водорода, радона) и температурных показателей. Выделены участки аномальных значений газогеохимических индикаторов, которые характеризуют зоны повышенной проницаемости и неотектонической активности. А также очерчены поля их фоновых значений, которые отвечают блокам с современными условиями относительной геодинамической стабильности и потенциальной герметичности горных пород, благоприятными для формирования ловушек углеводородов.

В целом для площади работ выявлен сложный характер распределения газогеохимических и температурных аномалий, типичный для площадей с мелкоблоковой структурой, что необходимо учитывать при постановке поисково-разведочных работ [3]. Анализ результатов исследований 66-го рейса НДС "Профессор Водяницкий" позволил выполнить районирование площади исследований и определить контуры участков, перспективных для дальнейших поисково-разведочных работ (рис. 8).

Полученные результаты СТАГИ свидетельствуют о необходимости их учета в комплексе морских поисково-разведочных работ на залежи углеводородов (в частности, в процессе интерпретации материалов детализацион-

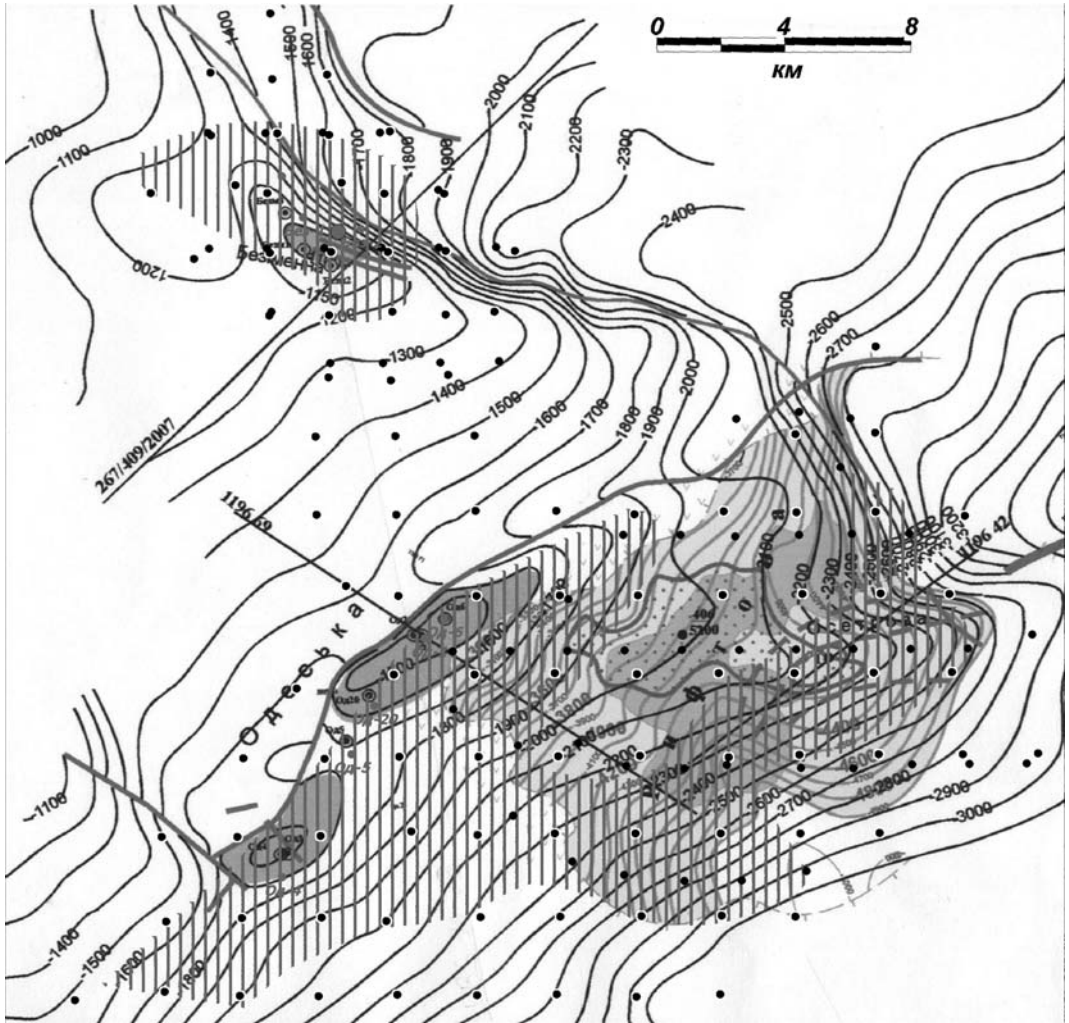


Рис. 8. Пространственное размещение перспективных на поиски углеводородов площадей по результатам комплексной интерпретации полученных на полигоне 1 данных структурно-термо-атмогеохимических наблюдений

ных сейсморазведочных 3D исследований) как важную составную критериальных признаков при прогнозировании нефтегазоперспективных объектов.

Экспериментальный профиль №1 пересекает рядом с перспективными структурами (Биостромная, Северноголицынская и Восточношмидтовская) такие известные месторождения, как Голицынское газоконденсатное, Северно-Голицынское и Шмидтовское газовые в северо-западной мелководной части шельфа Черного моря (см. рис. 7). В тектоническом отношении указанные структуры располагаются в границах северного пологого борта Каркинитско-Южнокрымского прогиба, выполненного в основном мел-палеогеновыми отложениями, наложенными непосредственно на южный край древней Восточноевропейской платформы. Практически все исследованные структуры находятся в границах широкой многоступенчатой субширотной разломной зоны глубинного заложения, которая явля-

ется границей между Скифской плитой и южным окончанием Восточно-европейской платформы [4].

Изучение возможностей метода АСЭМИ в исследовании глубинного строения литосферы и отработка методических приемов определения глубинных геологических границ и объектов стали логическим продолжением прежде проведенных в 27-м рейсе НИС «Владимир Паршин» детальных работ над хорошо изученными промышленными и перспективными газоносными структурами к западу от полуострова Тарханкут [5].

Объектом исследования метода АСЭМИ является поле спонтанной электромагнитной эмиссии, генерированное при изменении напряженно-деформированного состояния литосферы. Обусловленность спонтанного электромагнитного излучения Земли разной способностью горных пород к накоплению напряжений вследствие дифференциации по упругим параметрам предполагает возможность выделения блоков и слоев пород различного состава и плотности в литосфере и верхней мантии. А наличие значительных неоднородностей поля на границах блоков (а для слоистой среды и на границах слоев) создает условия для изучения тектонического строения земной коры, то есть прослеживания разного ранга разрывных нарушений. Перераспределение напряжений в местах формирования диапиров, соляных штоков, сосредоточений углеводородов позволяет обнаруживать эти объекты по аномалиям на дневной поверхности [6].

В основу интерпретации были положены результаты первичной обработки материалов наблюдений в виде поэтапных построений разрезов преимущественно горизонтальных и вертикальных источников возбуждений электромагнитного поля на различных глубинах (рис. 9). При построении разреза структурно-формационные слои выделялись по напряжениям в точках изгибов, которые являются источниками повышенной интенсивности излучения. Совокупность этих точек предоставляет первичную информацию для построения структурно-тектонического плана локальных напряжений.

На профиле наблюдений (рис. 9) уверенно прослежены тектонические нарушения, которые хорошо сопоставимы с выявленными здесь ранее разломными зонами по результатам других геолого-геофизических исследований [4].

Также обращают на себя внимание выделенные три майкопских продуктивных горизонта на соответствующих промышленному бурению глубинах. Менее уверенно залежи углеводородов прослеживаются в отложениях палеогена и мела на глубинах соответственно 2000 и 3750 м. Тесная связь выделенных залежей углеводородов в границах исследованных структур с тектоническими нарушениями может свидетельствовать о миграционной и экранирующей значимости последних. Особого внимания заслуживают выявленные признаки залежей углеводородов в меловых образованиях.

Полигон №2 расположен в зоне перехода от шельфа к континентальному склону западной части Черного моря в районе палеодельты Днестра (см. рис. 7). Предыдущими исследованиями здесь выявлено большое количество источников газа (сипов) разной интенсивности [7]. Численность выявленных на дне Черного моря газовых сипов возрастает в геометрической прогрессии с каждой последующей экспедицией. Так, только за период детальных геолого-геофизических исследований по одному из международных

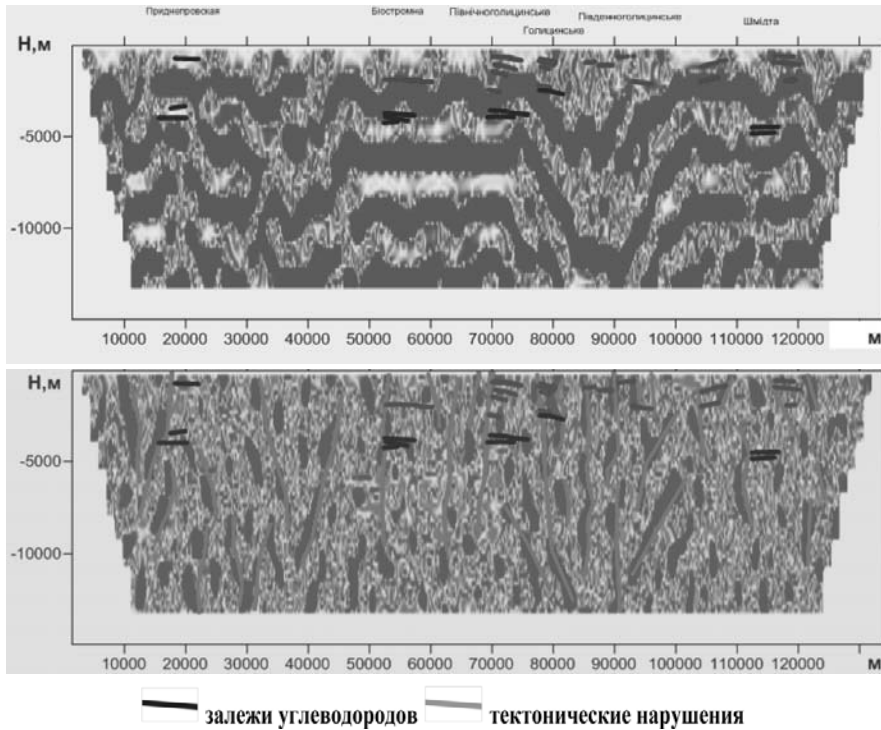


Рис. 9. Результаты первичной обработки материалов наблюдений методом АСЭМИ: а – горизонтальные, б - вертикальные возмущения

проектов (CRIMEA project) в 2004-2005 гг. на площади 1540 км<sup>2</sup> в районе палеодельты Днепра были зафиксированы 2778 метановых сипов [8].

Анализ имеющейся геолого-геофизической информации указывает, что распределение метановых сипов по площади не является случайным. Большинство выявленных газовых сипов сконцентрированы на глубинах моря, которые не превышают 725 м (рис. 10).

Такая глубина моря отвечает зоне стабильного существования метанового газогидрата при средней донной температуре (8,9°C) в этой части Черного моря. Последнее обстоятельство может свидетельствовать, что в

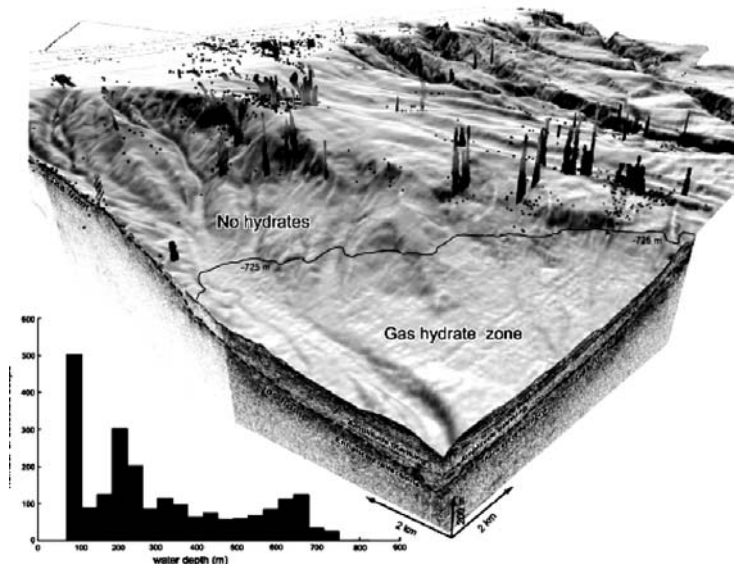


Рис. 10. Обзорная батиметрическая модель полигона 2 с расположением газовых сипов и газогидратной зоны [8]

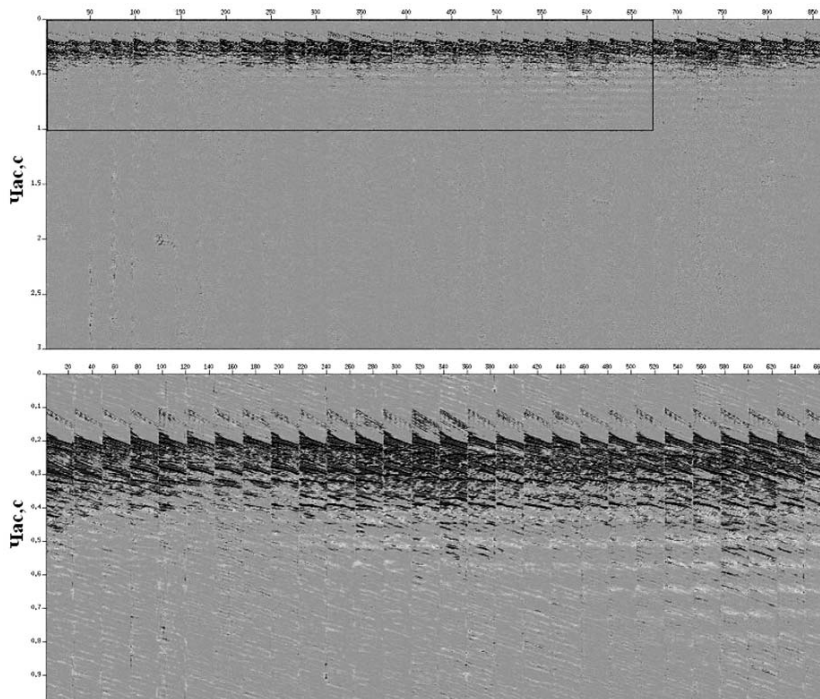


Рис. 11. Зарегистрированное волновое поле: сверху – часть волнового поля, которая вмещает первые 36 пунктов возбуждения (864 трас); внизу – увеличенный масштаб выделенного прямоугольника

стабильном состоянии газогидраты играют роль буфера для миграции свободного газа через дно в водную толщу.

Впервые сейсмические признаки наличия газогидратов в северо-западной части Черного моря, а точнее, граница BSR (bottom-simulating reflectors), которую связывают с подошвой зоны их стабильного существования [9], была задокументирована сейсмическими исследованиями MBX, которые проводили немецкие ученые на НДС «Профессор Логачев» в 2001 году западнее Днепровского каньона [7, 8]. Выявленные многочисленные газовые выделения из дна моря (сипы), а также закартированная площадь возможного существования газогидратных залежей [10] обусловили постановку на полигоне 2 детальных сейсмических исследований.

Изображение отдельных элементов глубинного строения на сейсмическом разрезе ограничивается пропускной способностью сейсмического источника, а физические параметры, которые описывают отклик сейсмической среды, являются частотнозависимыми. Чтобы получить более полное представление о сейсмических параметрах исследуемой среды, необходимо проводить многократные наблюдения со сменными параметрами источника. Однако, как указано выше, вследствие технической сложности в работе силовых механизмов судна, сейсмические исследования удалось провести лишь на двух профилях в северной части полигона. Учитывая на это, остановимся лишь на методических результатах предварительной обработки материалов наблюдений, выполненных канд. физ.-мат. наук, с.н.с. отдела сейсмометрии и физических свойств вещества Земли Института геофизики



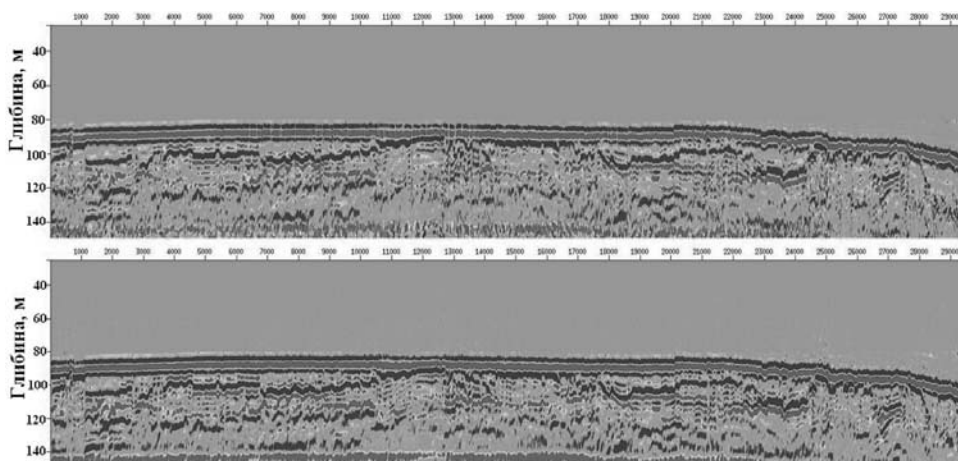


Рис. 12. Суммарный временной разрез ОГТ (вверху) и миграционный по сумме ОГТ (внизу)

им. С.И. Субботина НАН Украины Верпаховской А.О. под руководством доктора физ.-мат. наук Пилипенко В.Н.

На рис. 11 приведена часть исходной записи (36 пунктов возбуждения, 864 трасы) сейсмических наблюдений, где четко видно, что максимальное время целевой записи составляет приблизительно 0.7 с (увеличенный масштаб выделенного прямоугольником волнового поля на верхнем рисунке демонстрируется ниже).

Для получения суммарного разреза наблюдаемого волнового поля в качестве априорных были избраны скорости для толщи воды 1500 м/с и изменяющаяся по глубине до 2000 м/с в интервале времени 0–5 с. На рис. 12 приведен суммарный временной разрез ОГТ (вверху) и миграционный по сумме ОГТ (внизу), который свидетельствует о высокой информативности установленного на НИС «Профессор Водяницкий» сейсмического комплекса при изучении структуры верхней части донных отложений.

**Выводы.** 1. На НИС «Профессор Водяницкий» в качестве штатного установлен и апробирован в 66-ом рейсе современный морской геолого-геофизический аппаратно-алгоритмический комплекс, предназначенный для изучения геологического строения и поиска углеводородов на акваториях.

2. Разработаны и испытаны методические приемы проведения на НИС «Профессор Водяницкий» работ цифровой сейморазведочной телеметрической системой XZone VOTTON FISH методом отраженных волн при различных параметрах возбуждения и регистрации сейсмических волн. Предыдущая обработка полученных материалов сейсмических наблюдений свидетельствует об их высокой информативности при изучении структуры верхней части донных отложений.

3. Смонтированы и протестированы гравиметрический комплекс ГМН-К(ИГФ), магнитометр-градиентометр МРМГ-03 и геотермическая телеметрическая система «Геос-М». Определенные шаги по их дальнейшей модернизации и улучшение работы с учетом специфических особенностей судна.

4. Анализ полученных в 66-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» результатов структурно-термо-атмогеохимических наблюдений позволил

выполнить районирование и определить контуры участков, перспективных для дальнейших поисково-разведочных работ в границах Безымянной, Рифтовой и Осетровой газоперспективных структур.

5. Наблюдения методом анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли, выполненные вдоль перспективных структур и известных месторождений северо-западного шельфа, позволили проследить три майкопских продуктивных горизонта, которые отвечают результатам промышленного бурения.

4. Несмотря на опытно-методический характер 66-го рейса НИС «Профессор Водяницкий», получен значительный объем новой геолого-геофизической информации, дальнейшая интерпретация и осмысление которой позволит существенно уточнить строение ряда структур и месторождений на северо-западном шельфе Черного моря.

1. Шнюков Э.Ф., Емельянов В.А., Кузнецов А.С., Куковская Т.С., Щипцов А.А. Геолого-геохимические исследования в 65-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана, 2010, №4. – С. 94-98.
2. Багрий И.Д. Комплексная методика структурно-термо-атмогеохимических исследований прогнозирования нефтегазоперспективных объектов // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 2010. – № 1 (150). – С. 5-20.
3. Багрий И.Д., Аксьом С.Д., Довбиш С.М., Дубосарский В.Р. Структурно-термоатмогеохимические исследования северо-западной части Черного моря в границах Безымянного месторождения, Рифтовой и Осетровой структур (66 рейс НИС „Профессор Водяницкий”, 31.08-14.09.2010) // Сборник материалов международной научной конференции «Современные проблемы литологии осадочных бассейнов Украины и сопредельных территорий», 9-11 ноября 2010, Киев, Украина. – Киев, 2010. – С. 13.
4. Старостенко В.И., Макаренко И.Б., Русаков О.М., Пашкевич И.К., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Геофизические неоднородности литосферы мегавпадины Черного моря Черного моря // Геофиз. журн. . – 2010. – № 5. – С. 3-20.
5. Коболев В.П., Русаков О.М., Богданов Ю.А., Козленко Ю.В. Геофизические исследования в 27-м рейсе НИС «Владимир Паршин» в Черном море // Геофизический журнал. - 2007. – 29, № 2. С. 167-178.
6. Шуман В.Н., Богданов Ю.А. Импульсное электромагнитное излучение литосферы: спорные вопросы теории и полевой эксперимент // Геофизический журнал. – 2008. – 30. – № 2. – С. 32-41.
7. Ludman T., Wong H.K., Konerding P., Zilmer M., Petersen J., Fluh E. Heat flow and quantity of methane deduced from a gas hydrate field in the vicinity of the Dnieper Canyon, northwestern Black Sea // Geo-Mar. Lett. (2004), 24. P. 182-193.
8. Naudts L., Greinert J., Artemov Yu., Staelens P., Poort J., Van Rensbergen P., De Batist M. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea // Marine Geology 227 (2006). P. 177– 199.
9. Kvenvolden K.A. Gas hydrates as a potential energy resource - a review of their methane content. In: Howell, D.G. (Ed.), The Future of Energy Gases-U.S. Geological Survey Professional Paper 1570. United States Government Printing Office, Washington, 1993. P. 555– 561.
10. Zillmer M., Flueh E.R., Petersen J. Seismic investigation of a bottom simulating reflector and quantification of gas hydrate in the Black Sea / Geophys. J. Int. 161, 2005. P. 662–678.

Получено 25.11.2010 г.