

## Условия функционирования и оценка донного фона глубоководных аппаратов

Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
Воздухофлотский просп. 31, Киев, Украина, 03037  
msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Получено 05.07.2021, принято после просмотра 09.09.2021  
<https://doi.org/10.32347/uwt2021.11.1301>

**Аннотация.** Создание конкурентоспособных глубоководных грунторазрабатывающих машин и комплексов позволяет перейти к освоению месторождений полиметаллических конкреций и металлоносных илов, добыче песка и сапропелей с дна моря, обеспечивая таким образом паритетный доступ к минерально-сырьевым и энергетическим ресурсам Мирового океана. Цель работы – создание методов и технических средств для определения прочностных характеристик донных грунтов в поверхностном слое, направленных на сокращение сроков создания и эффективное применение машин путем обеспечения соответствия их параметров реальным условиям эксплуатации.

Обычно свойства глубоководного грунта в естественном залегании (*in situ*) определяют по данным фото- и геоакустического зондирования или по поднятым с морского дна на поверхность кернам, а рабочие нагрузки машин, сопротивление грунта разрушению и другие механические характеристики оценивают на основе полученных геологическими способами данных. Новые методы и устройства точечного и непрерывного опробования дна, адекватно применяемые как на поверхности, так и под водой обеспечивают достаточную для практического использования достоверность получаемой информации. Задачами исследования являются обоснование теории гравитационного зондирования подводных грунтов и их резания, определение деформационно-прочностных свойств поверхностного слоя морского дна, сопротивления механическому разрушению и характеристик взаимодействия механизмов машин с илистым грунтом.



**Михаил Сукач**  
профессор кафедры  
строительных машин  
д.т.н., проф.

Новизной выполненной работы является установление особенностей взаимодействия рабочих органов и ходовой части землеройных машин с подводными вязкопластичными грунтами в зависимости от параметров рабочего процесса, прочностных свойств грунта, характеристик динамического нагружения и геофотопрофилирования подводных трасс. Практическое значение заключается в обосновании эксплуатационных нагрузок глубоководных землеройных машин; оценке характеристик донных грунтов в естественном залегании, а также комплексном исследовании донных массивов, позволяющих сократить число станций пробоотбора, общую трудоемкость рейсовых работ, установить эксплуатационный донный фон и оптимальные трассы добычных систем.

**Ключевые слова:** гравитационное зондирование грунта, сопротивление резанию, геостатическое давление, грунторазрабатывающая машина, рабочие нагрузки, донный фон.

### ВВЕДЕНИЕ

Создание новой подводной землеройной техники для очистных и добычных работ под водой обусловило детальное изучение

разрабатываемых массивов и рабочих процессов машин. Донные грунты и осадки в силу специфики залегания и воздействия водной среды не имеют аналогов на суше, существенно отличается характер взаимодействия с ними рабочего оборудования машин [1, 2].

Тем не менее, рабочие процессы землеройных машин на подводных, и особенно глубоководных грунтах, изучены крайне мало. Несовершенны методология и техническая база для исследуемых донных осадков и характеристик взаимодействия с ними механизмов машин.

Создание комплекса методов и технических средств определения свойств донных грунтов и сопротивления их разработке имеет важное значение для обеспечения паритетного доступа государств к минерально-сырьевым и энергетическим ресурсам Мирового океана; позволяет заблаговременно (на предпроектных этапах) определять эксплуатационные характеристики дна акваторий, специфику разрушения подводных грунтов и ожидаемые нагрузки машин в конкретных горно-геологических условиях [3 – 5].

### УСЛОВИЯ РАБОТЫ ГЛУБОКОВОДНОЙ ТЕХНИКИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ГРУНТОВ

В этой связи в первую очередь интересует верхняя (приповерхностная) часть грунтового массива (Рис. 1), в которой реализуются рабочие и тяговые характеристики глубоководных грунторазрабатывающих машин (ГГРМ). Имеются принципиальные особенности взаимодействия рабочих органов и движителей машин с подводными вязкопластичными грунтами [6, 7]. Как правило, сопротивление резанию таких сред исследуют моделированием рабочих процессов в барокамерах, т.е. при нагружении образцов гидростатическим давлением, в то время как при подъеме с глубины они претерпевают обратные изменения [8]. Выводы делают для давлений, обычно не превышающих 3 МПа (300 м глубины).

Исследования, проведенные в Украине и за рубежом показывают, что из всего комплекса характеристик только относительно небольшое их число непосредственно участвуют в формировании рабочих нагрузок (Рис. 2). На слабых водонасыщенных грунтах это – сцепление, угол внутреннего трения, плотность, динамическая вязкость. Кроме того, для составления проекта подводных работ необходимо знание несущей способности и батиметрических данных, показывающих изменение рельефа дна, основные его особенности (топкие места, выходы коренных пород и т.п.), высоту столба воды над грунтом [9].

Известные технические трудности не позволяют проводить полномасштабные эксперименты на большой глубине, хотя и есть отдельные попытки измерения силовых параметров на опытных образцах исследовательской и добычной техники, работающей на глубине до 6000 м.

Поэтому представляется практически единственной возможностью в максимальной степени приблизиться к реальным эксплуатационным условиям на морском дне посредством создания контактных методов исследования свойств глубоководных грунтов на месте залегания, которые были бы адекватными как в подводных, так и обычных (атмосферных) условиях [10].

Обзор методов и устройств исследования грунтов в экстремальных условиях (Рис. 3) позволил установить, что наиболее оперативным и технически приемлемым на глубине является гравитационное зондирование дна, которое заключается в оценке прочности грунта по количеству ударов, глубине погружения или совпадению ударных импульсов индентора в натуре и на грунтах-аналогах. Аналитического описания этого метода нет. Кроме того, известные контактные методы позволяют получать только дискретные характеристики дна, а сопротивление разрушению грунтов определяют по образцам, поднятым с глубины [11]. Отсутствие достоверных данных о прочностных свойствах глубоководных

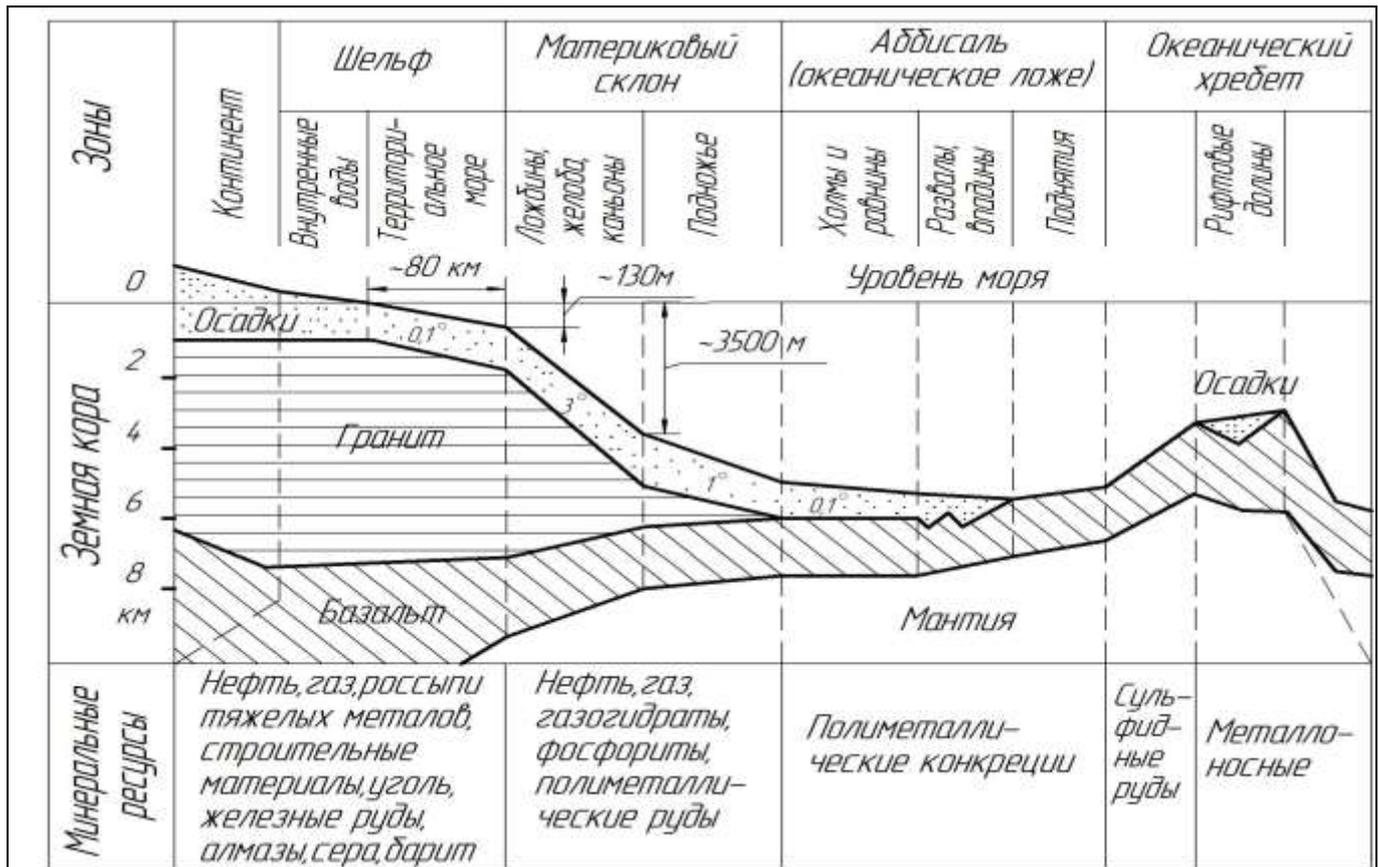


Рис.1. Строение дна океана  
Fig. 1. Ocean floor structure

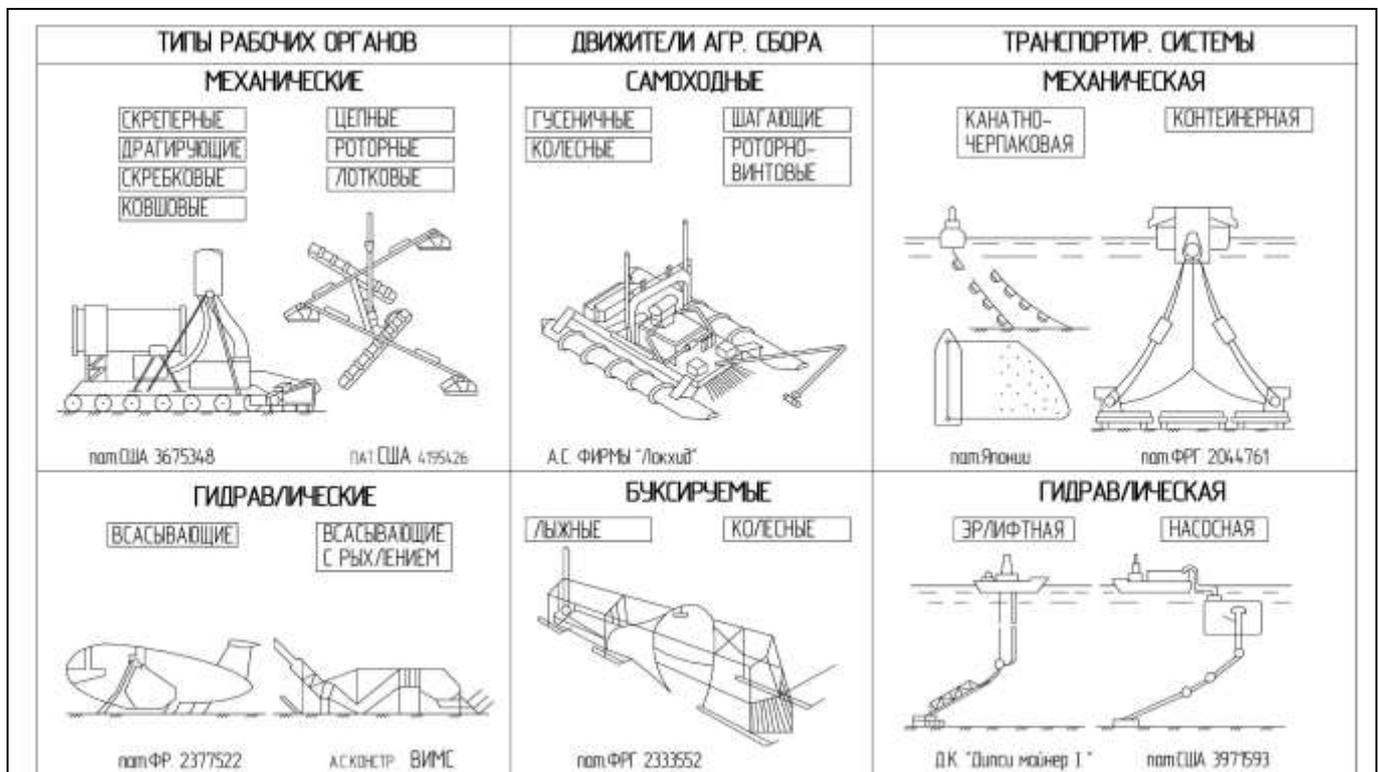
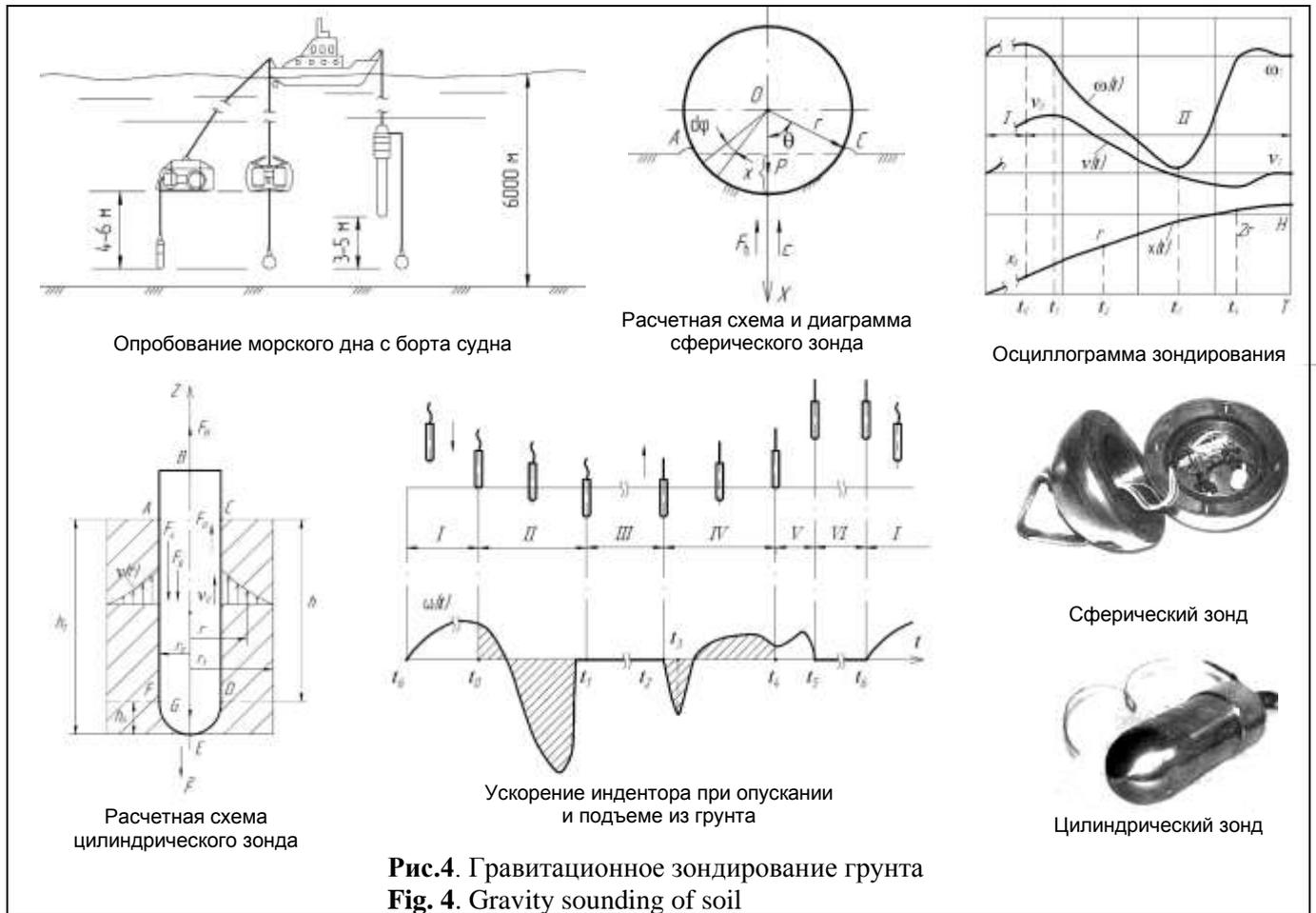


Рис.2. Глубоководные добычные комплексы  
Fig. 2. Deepwater mining complexes



грунтов приводит к несоответствию параметров грунторазрабатывающих машин реальным условиям эксплуатации.

Цель исследования – разработка методов и технических средств для определения прочностных характеристик донных массивов, направленных на сокращение сроков создания ГГРМ и их эффективное применение путем обеспечения соответствия параметров машин реальным условиям эксплуатации.

Идея работы заключается в том, что характеристики донных массивов определяют в естественном залегании, а рабочие нагрузки машин – на основе полученных свойств, критериальных зависимостей сопротивления грунта, данных фото- и геоакустического зондирования дна. Принципиально идея реализуется путем создания устройств точечного и непрерывного исследования грунта, адекватно применяемых как в атмосферных условиях, так и под водой, и обеспечивающих достижение для практического использования достоверность получаемой информации.

#### ГРАВИТАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МОРСКОГО ДНА

Предлагаются новые методы и модели гравитационного зондирования, позволяющие установить аналитические зависимости между деформационно-прочностными свойствами грунта и динамикой торможения в нем цилиндрического и сферического инденторов [12]. При этом отпадает необходимость в предварительном исследовании грунтов-аналогов, моделировании среды, гидростатического давления, использования расчетных коэффициентов (Рис. 4).

1) Поверхностный слой грунта, вмещающего добываемые железомарганцевые конкреции, представляет собой вязкопластичную несжимаемую однородную среду (реологическая модель Бингама-Шведова). Движение индентора в грунте считается относительно медленным (по сравнению со скоростью распространения упругих волн) и квазистационарным [13].

Цилиндрический зонд снабжают датчиками ускорения и натяжения подвески и проводят *несколько* опробований. Уравнение движения зонда построено на основе общих уравнений динамики сплошной среды. С учетом краевых условий и реологического уравнения вязко-пластичного тела, получают соотношение зоны деформации к радиусу зонда. По диаграмме ускорения и уравнению предельного состояния грунта при подъеме зонда, находят его сцепление  $\tau_0$  и вязкость  $\mu$ .

2) При пенетрации грунта сферическим индентором характеристики среды получают по результатам *одного удара*. Отличие этой модели от известного решения Стокса о погружении стального шара с постоянной скоростью в идеальную вязкую жидкость заключается в том, что рассматривается грунтовая среда, обладающая не только вязкостью, но и сцеплением, а скорость индентора переменная.

Сила сопротивления движению зонда в грунте включает составляющую  $F_v$  (пропорциональную вязкости грунта, скорости индентора) и составляющую  $F_c$  (пропорциональную напряжению сдвига, не зависящую от скорости). Интегральные значения  $\mu$  и  $\tau_0$  определяют в слое грунта, не превышающем диаметр шара. Скорость движения зонда находят путем интегрирования исходного графика ускорения в обр. направлении, начиная с момента остановки зонда  $T$ , где известны граничные условия, до момента его вхождения в грунт  $t_0$ . Используя уравнение движения сферического зонда, по минимуму квадратичного функционала находят вязкость и сцепление грунта.

В более общем случае (на большей глубине) характеристики грунта получают из условия  $\min(x, 2r)$ , где принимается минимальное значение из двух величин (глубины проникания  $x$  или диаметра сферы  $2r$ ).

#### СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗАНИЮ ДОННЫХ ГРУНТОВ

Теория рабочего процесса базируется на известных законах динамики сплошной

среды, методах подобия и математической статистики. Специфика разработки донных осадков заключается в наличии водной среды, гидростатическом давлении, повышенном сопротивлении грунта вязкому трению на рабочем инструменте и механизм машины, малых значениях сцепления и несущей способности грунта [14, 15]. В качестве исходных данных используются деформационно-прочностные свойства подводного грунта, полученные в условиях естественного залегания и параметров рабочего процесса машин (Рис. 5).

1) Рассматривается поступательное движение широкого плоского ножа прямоугольной формы; процесс резания стационарный, скорость перемещения ножа постоянна; продольный размер зоны деформации грунта вдоль ножа не изменяется; решается плоская задача.

Модель сопротивления подводного грунта основана на использовании уравнения динамики несжимаемой жидкости, условия неразрывности и реологического уравнения вязко-пластичной среды. С учетом краевых условий и теоремы о сохранении потока масс грунта, движущейся вдоль ножа, получены критерии подобия процесса резания, связывающие свойства грунта (вязкость  $\mu$ , сцепление  $\tau_0$ ), фазовое состояние грунта перед лобовой гранью ножа, его геометрические параметры, скорость и глубину резания [16].

2) Установлено, что сила сопротивления грунта  $F$  является суммой трех слагаемых, где первое определяется трением грунта по ножу; второе – давлением, третье – силой тяжести грунта и воды. Сопротивление подводного грунта не зависит от гидростатического давления, а определяется только параметрами процесса резания и свойствами грунта, который находится непосредственно на месте эксплуатации землеройной машины.

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ НАГРУЗОК МАШИН

Сложности испытания грунтов на максимальных глубинах, большие материаль-

ные и временные затраты обусловили создание новых методов и технических средств, комплексное их использование и адаптацию к существующим технологиям глубоководных исследований [17, 18]. Для определения деформационно-прочностных характеристик и сопротивления подводных грунтов автором создан ряд устройств, установок и приборов для применения на глубине до 6500 м, а также в судовых и береговых лабораториях (Рис. 6). Это:

- *глубоководные пробоотборники трубчатого и грейферного типов* для взятия образцов донного грунта (Рис. 7);

- *различные модификации гравитационных зондов* (цилиндрической и сферической формы, тензометрические и снабженные пьезоакселерометрами, с аналоговой и цифровой регистрацией сигналов) для измерения сцепления, вязкости, несущей способности, диссипации грунта на месте залегания (см. Рис. 4, 7);

- *приборы регистрации и обработки импульсов зондов;*

- *судовые геотехнические модули* для определения сопротивления резанию, вращательного среза, липкости, изучения литологии и других характеристик донных грунтов (см. Рис. 5);

- *компенсационная подвеска моделей рабочих органов*, исключающая погрешности измерений при качке судна;

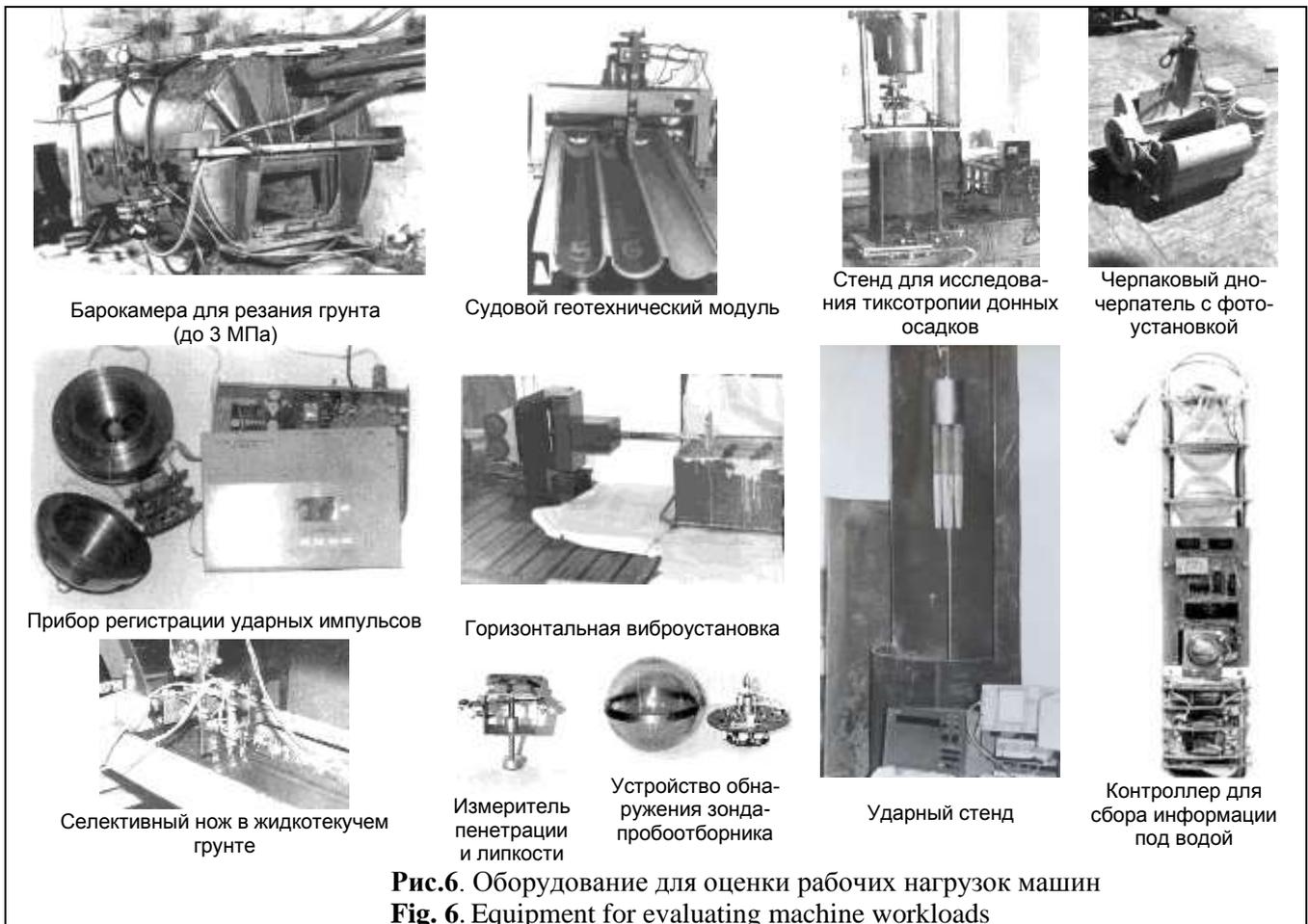
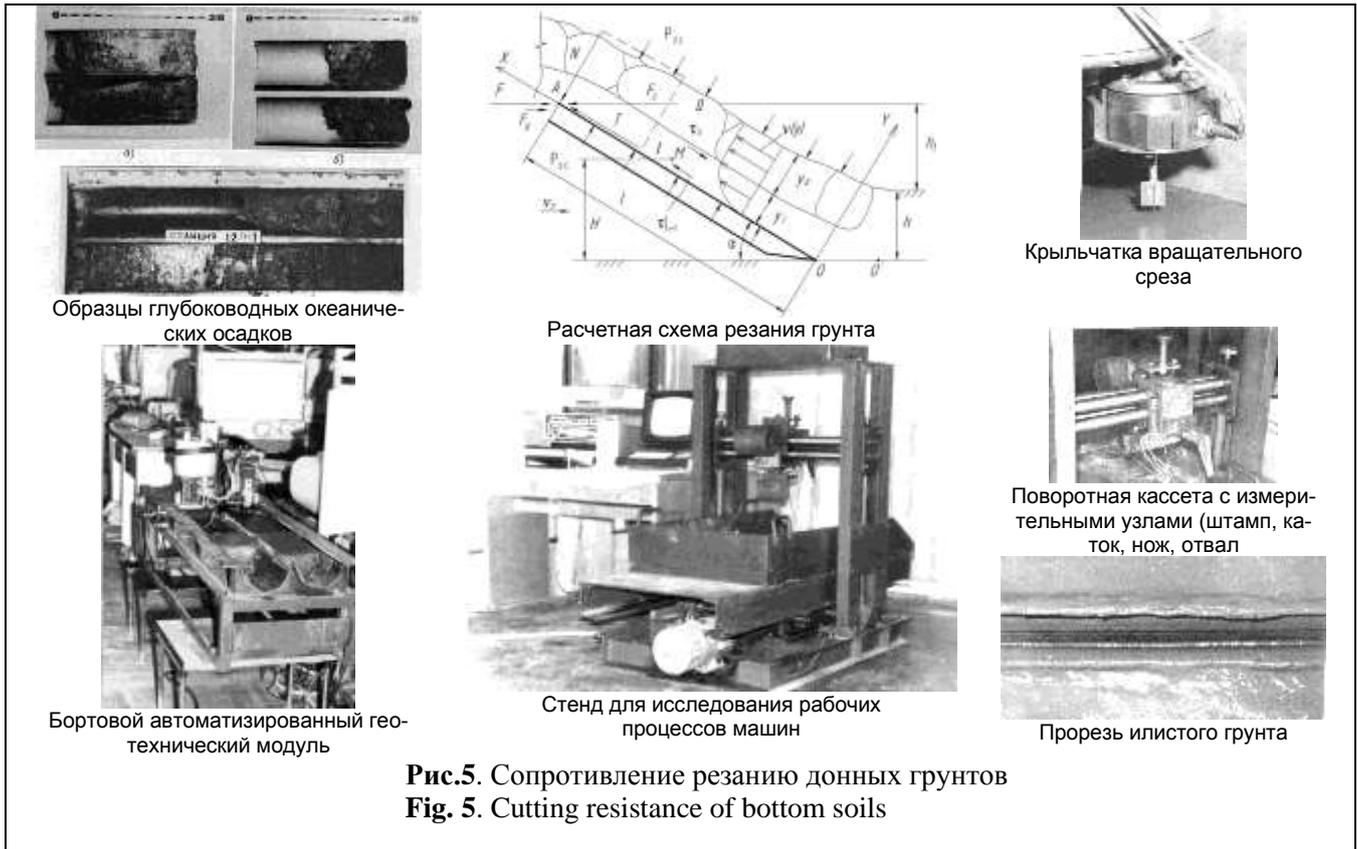
- *автоматизированный комплекс* для исследования рабочих процессов землеройных, строительных и дорожных машин (см. Рис. 5);

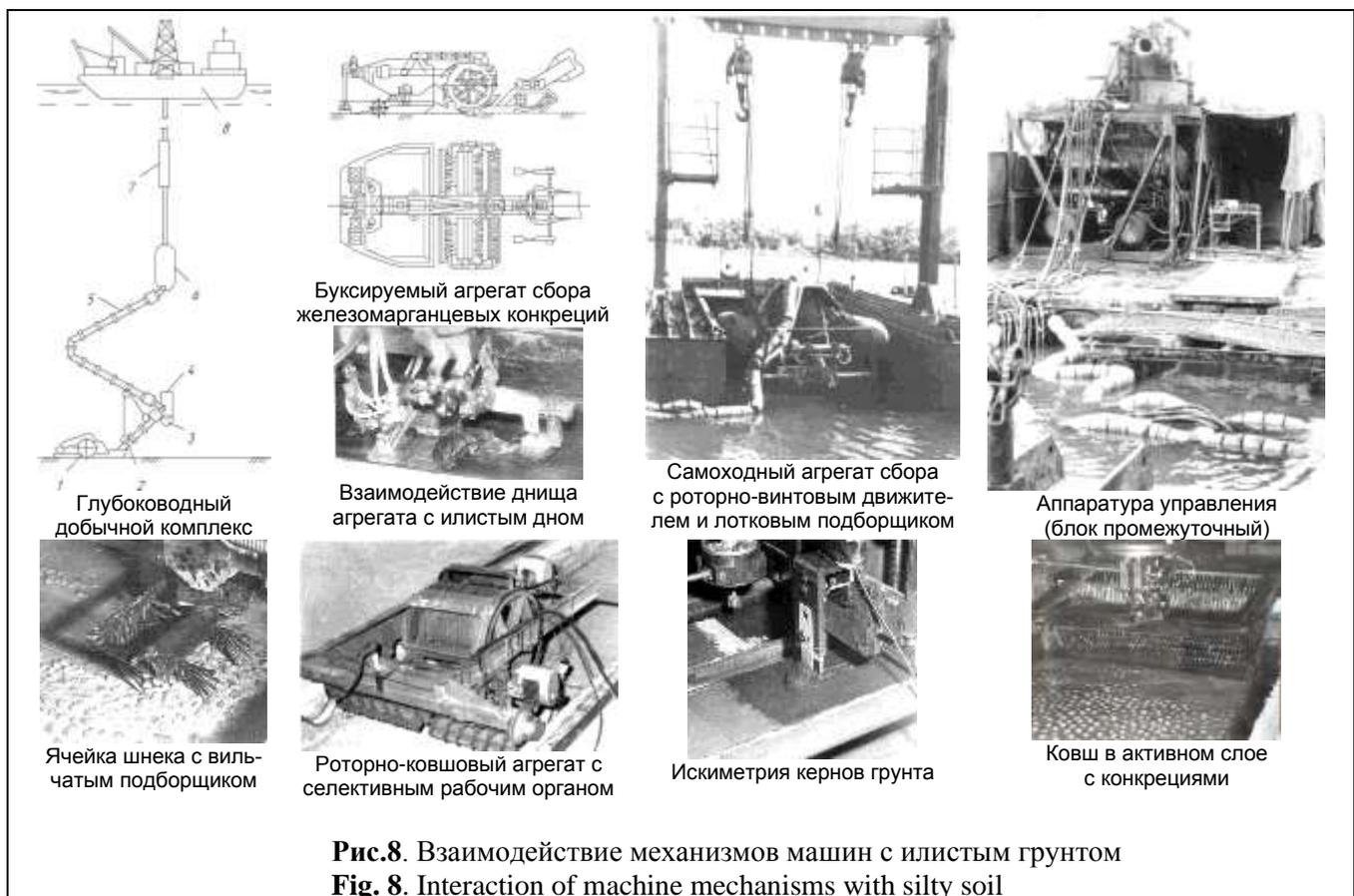
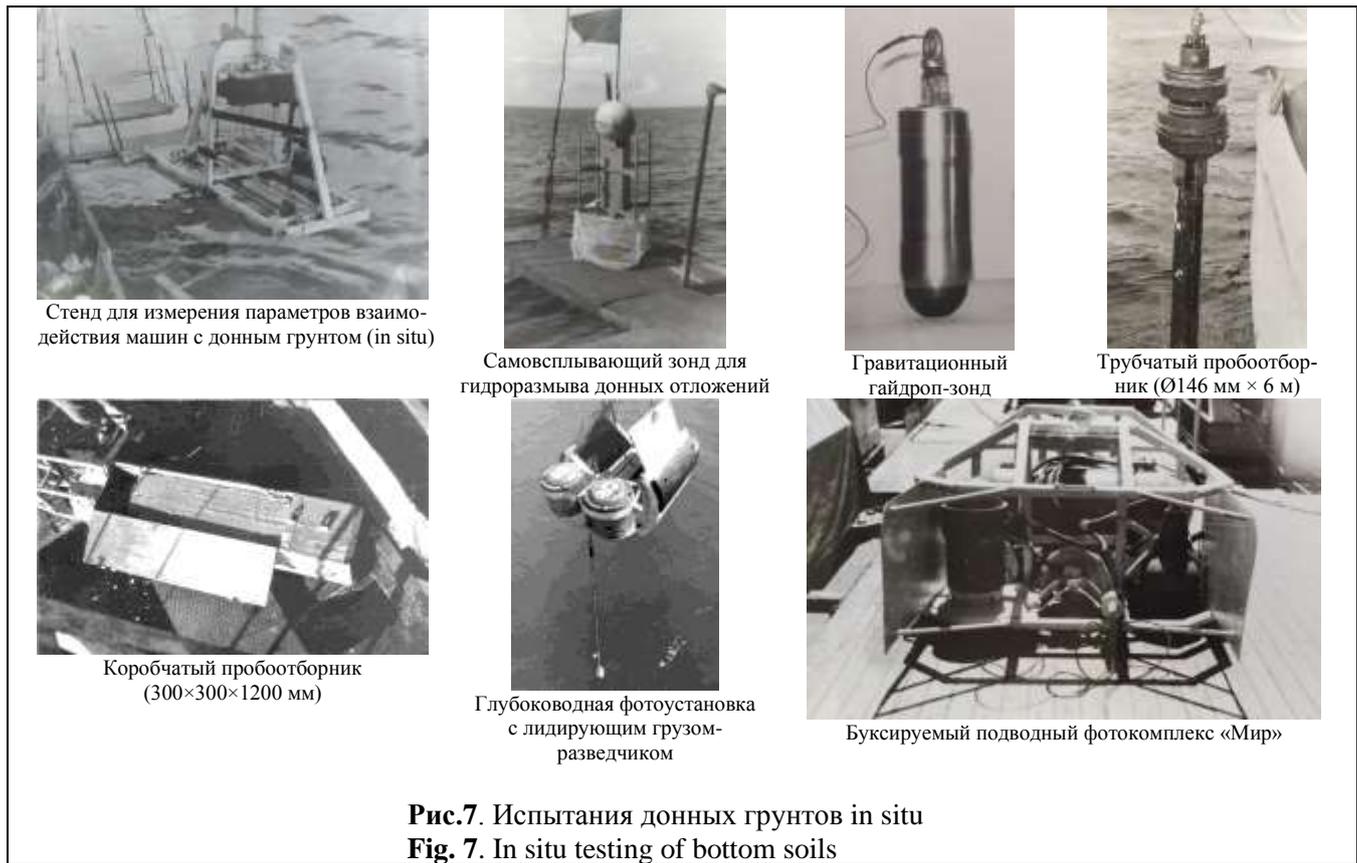
- *автономные и стационарные устройства и приборы* для сбора, хранения, передачи и обработки технологических параметров подводных машин;

- *глубоководные тензометрические зонды* (см. Рис. 4, 7);

- *автономное устройство* с цифровой регистрацией сигналов для комплектации подводных носителей, контактирующих с дном;

- *искиметры*, предназначенные для использования в системах автономного управления ГГРМ (Рис. 6 – 8) и др.





С помощью этого оборудования могут быть проведены испытания: в стационарных береговых лабораториях с использованием монолитов условно ненарушенного донного грунта; в судовых лабораториях по образцам грунта, поднятым с глубины; на натуральных подводных грунтах во время научно-производственных рейсов.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗМОВ МАШИН С ИЛИСТЫМ ГРУНТОМ

Установлены закономерности *сопротивления перемещению днища буксируемого агрегата* по илу в зависимости от его прочности, величины давления со стороны машины и характера нагружения опорной части, которые могут возникать в процессе добычи (см. Рис. 8).

1) Оценено *влияние вибрации машины* на тиксотропные грунты с включениями конкреций (см. Рис. 6). *Параметры гидроразмыва* отложений исследованы в акватории Рижского залива (см. Рис. 7), даны сравнительные оценки эффективности их разработки гидравлическим и механическим способами. Полученные данные позволили полнее учесть специфику разработки океанического дна и повысить надежность эксплуатации добычной установки.

2) В морских полигонных исследованиях, проведенных совместно с СКБ ТМГР (Мурманск) и НИПИОкеанмаш (Днепр), отработаны функциональные возможности *самоходного агрегата сбора ЖМК* с лотковым рабочим органом и роторно-винтовым двигателем [19, 20]. При этом контролировали силовые характеристики на рабочем органе и двигателях, усилие буксирования, параметры эрлифтной системы подъема и др. (см. Рис. 8).

Полученные данные использовали в НИИ строительно-дорожной и инженерной техники (Киев) при разработке *эрлифтно-землеройного комплекса* для добычи сапропелей и плавучей установки с *буксируемым илосборщиком* скреперного типа для очистки водоемов от радиоактивных загрязнений [21, 22].

### ИСПЫТАНИЯ ДОННЫХ ГРУНТОВ IN SITU

Экспериментальные исследования проведены на донных грунтах в стационарных лабораториях, в условиях морских испытательных полигонов (Лиепая, Керчь, Геленджик, Новороссийск) и с бортов НИС «Янтарь», «Геленджик», «XVII съезд профсоюзов» во время опытно-производственных рейсов. Для контроля регистрирующей аппаратуры использовали *ударный стенд копрового типа* (см. Рис. 6). Метрологические испытания проведены с помощью *приборов фирмы Брюль и Кьер* (Дания). Свойства грунта контролировали *ротационным вискозиметром Rheotest-2*, цилиндрической крыльчаткой, штампами и другими стандартными методами (см. Рис. 5, 6). Динамическую прочность оценивали по контактному напряжению под сферическим штампом и величине диссипации грунта (количеству энергии, затраченной на его деформацию).

Морские испытания, проведенные на донных грунтах Черного, Балтийского морей и Тихого океана, показали, что их свойства, определенные с помощью гравитационных зондов, согласуются с аналогичными показателями, полученными стандартными методами, в пределах 15 % по вязкости и 12 % по сцеплению при доверительной вероятности 0,95 [12]. Прогнозные сопротивления резанию землеройной машиной водонасыщенных грунтов (включая техногенный ил, серую черноморскую глину, океанические осадки, а также модели, составленные на основе глубоководных кернов) согласуются с расчетными значениями в пределах 20 %.

### МЕТОДЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ОЦЕНКИ МОРСКОГО ДНА

Предложены методы, устройства и оборудование позволяют в непрерывном режиме проводить поиск и разведку месторождений полезных ископаемых, оценивать прочностные характеристики и сопротивление разработке поверхностного слоя

грунта в условиях естественного залегания, а также получать профили этих характеристик по заданному маршруту (Рис. 9).

*Планирующая установка*, предназначена для *маршрутного опробования донных грунтов* с заданной дискретностью по времени и расстоянию. *Буксируемый донный разведчик* позволяет получать прочностные свойства донного грунта по ходу движения судна и эксплуатационные характеристики предполагаемых трасс землеройной машины.

Предложены методы *интегральной оценки типа осадков* по эхограммам акустического зондирования (Рис. 10) и *спектрозональному фотографированию морского дна* (см. Рис. 9), соответствующее оборудование для распознавания полезных ископаемых, залегающих на дне, и интерпретации их вещественного состава.

В качестве подводных носителей аппаратуры использованы глубоководные *буксируемые фото- и телеустановки, геоакустические комплексы* для исследования морского дна, трубчатые цилиндрические и черпаковые *пробоотборники* и другие погружаемые устройства (см. Рис. 6, 7, 9).

Эти методы и технические средства рассчитаны на работу с борта научно-исследовательского судна, движущегося со скоростью 0,5...1,5 м/с [23]. Они позволяют повысить производительность и снизить трудоемкость исследования морского дна на максимальных глубинах, обеспечивают более эффективную эксплуатацию машин под водой при дистанционном управлении. Новизна разработанных методов и технических средств подтверждена 15 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

### БЕСКОНТАКТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ МАССИВОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют придать разработанным методам конкретный вид и сформулировать основные требова-

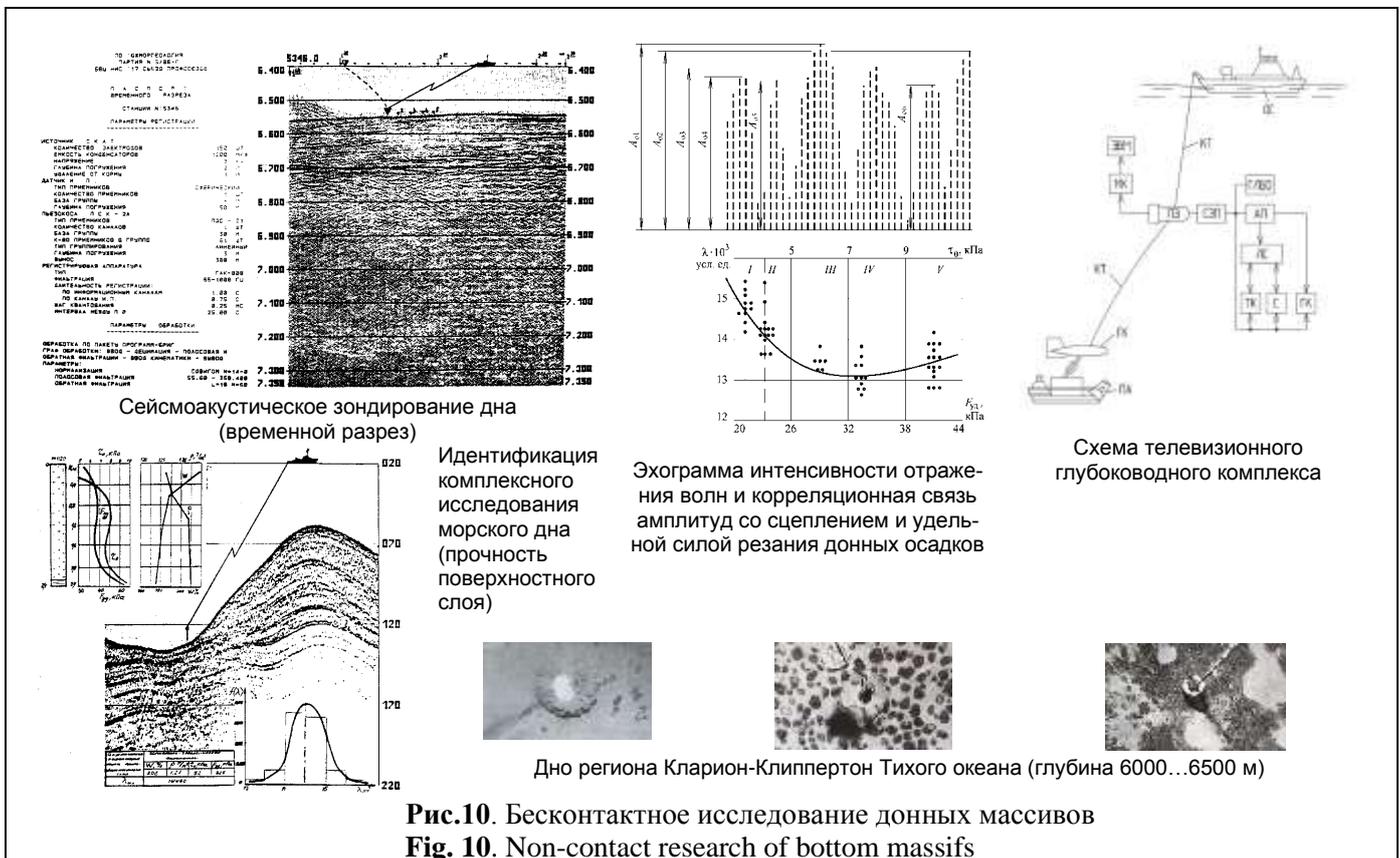
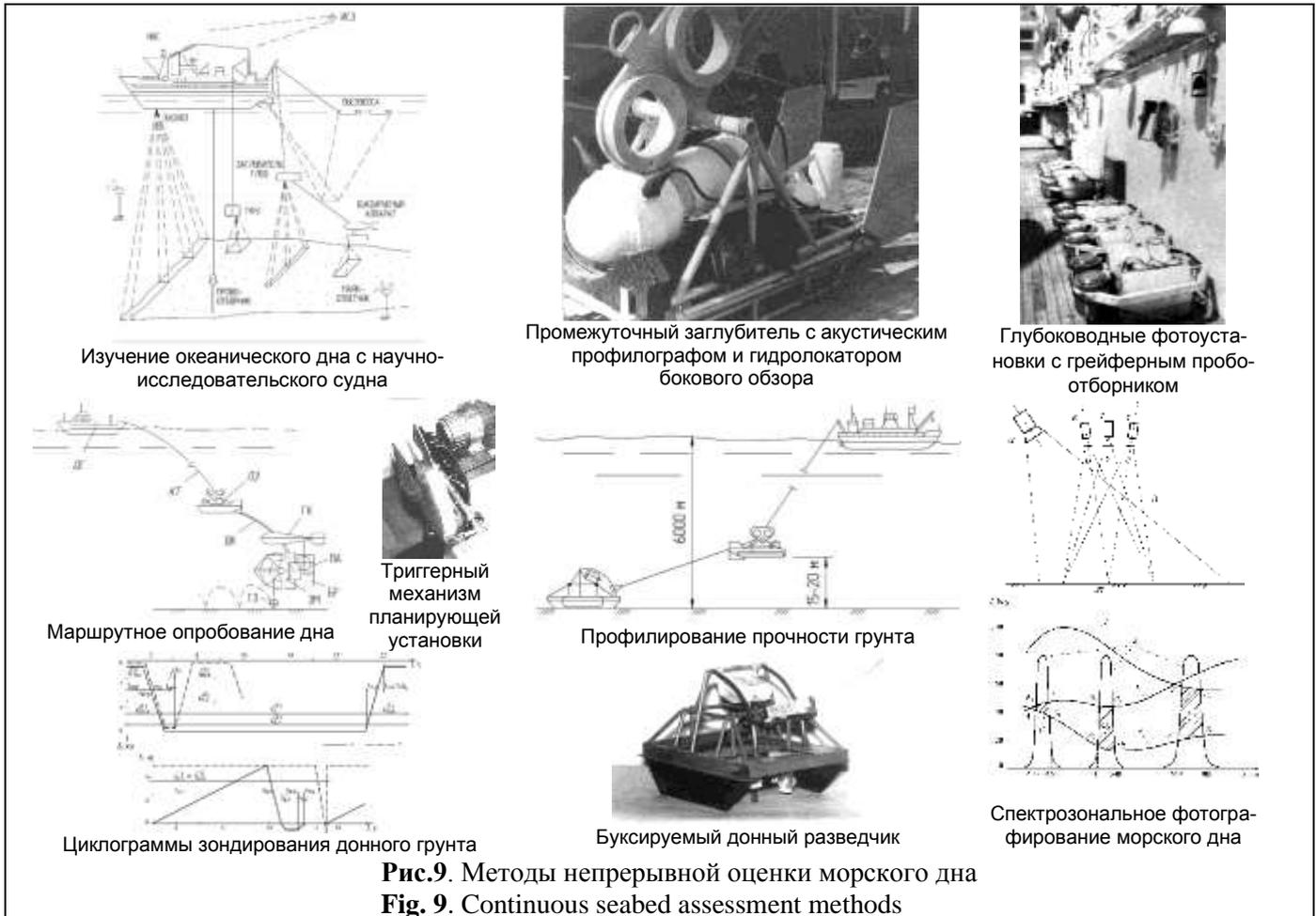
ния к оценке параметров взаимодействия ГГРМ со средой [24, 25].

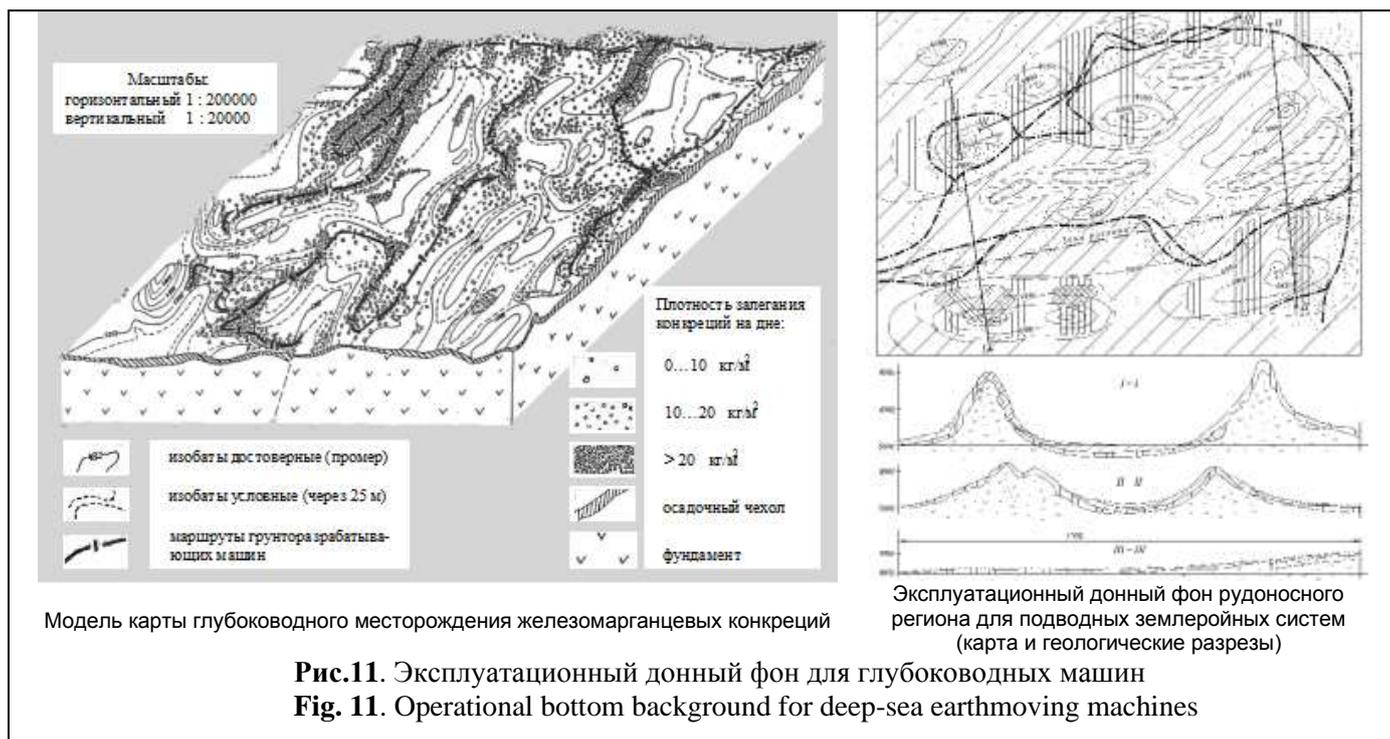
Эксплуатационный донный фон включает: определение *физико-механических свойств подводного грунта, сопротивлений разрушению* рабочими органами, *несущей способности, характера рельефа морского дна*. Однако, задача сводится не только к нахождению этих параметров на станциях пробоотбора (12×12; 6×6; 3×3 км), но и к установлению границ распространения определенных типов осадков, выявлению непроходимых участков дна – т.е. *определению области возможного функционирования подводных землеройных систем*.

Этой цели служат комплексные исследования с привлечением *методов геоакустического зондирования, фото- и телепрофилирования* морского дна (см. Рис. 10). Гидролокатор позволяет получать изображение местности в плане (типа аэрофотоснимка), а профилограф фиксирует характер залегания слоев осадков, морфологию дна, очертание осадочных структур. Установленные корреляционные связи между сцеплением, удельным сопротивлением и амплитудами отражающих сигналов на эхограммах позволяют разработать *методы интегральной оценки типа осадков*.

*Фотопрофилирование*, проводимое глубоководными фотоустановками, позволяют детализировать донную обстановку с определенным шагом (до 15 м) и оценить количество и состав твердых полезных ископаемых, залегающих на поверхности дна (см. Рис. 6, 7, 9). Метод *спектрозонального фотографирования под водой* дает возможность определять состав и продуктивность месторождений полезных ископаемых на ходу судна (без подъема образцов).

Все эти характеристики, дополненные данными о зонах непроходимости машины и батиметрии поверхности, дают материал для составления обстоятельных *карт эксплуатационного донного фона* (Рис. 11). Наличие достаточного числа инженерно-геологических разрезов на таких картах обеспечит *эффективное функционирование на дне подводных грунтообрабатывающих систем*.





## ВЫВОДЫ

Исследования, проводимые как в натуральных, так лабораторных и полигонных условиях, позволяют усовершенствовать и создавать новые методы идентификации рабочих процессов глубоководных машин, базирующиеся на взаимосвязях между сопротивлением разрушению грунтов и их деформационно-прочными свойствами, а также параметрами динамического нагружения, геоакустического зондирования и фотопрофилирования подводных трасс [26, 27].

Практическое значение работы заключается в:

1) разработке методик определения свойств донных грунтов (in situ) и рабочих нагрузок подводных землеройных машин;

2) созданию устройств, стендов, установок, приборов для точечного и непрерывного по ходу движения судна опробования грунтов на глубине до 6500 м и в бортовых условиях;

3) предложенных новых методах и техники для инженерно-геологического исследования морского дна in situ;

4) раскрытии механизма взаимодействия рабочих органов землеройных машин с

подводными вязкопластичными грунтами на основе выявленных закономерностей взаимодействия их разрушению от свойств текучей среды, гидростатического давления и параметров рабочего процесса, учитывающие фазовое состояние, фильтрационную способность грунта, степень изолированности среды (дренирования воды из зоны деформации), уравновешенность системы «рабочий орган – жидкость – грунт» (величину консолидации грунта);

Полученные результаты исследований, опробованное в лабораторных и производственных условиях оборудование позволяют составлять техническое задание на разведку океанических месторождений твердых полезных ископаемых, карты эксплуатационного донного фона, проектировать глубоководные грунторазабатывающие системы [28, 29].

Таким образом, проведенные в КНУБА совместно с организациями-партнерами исследования имеют важное народнохозяйственное значение для паритетного доступа государства к минерально-сырьевым и энергетическим ресурсам Мирового океана, выхода на международные рынки с современной наукоемкой продукцией и технологией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Половка С.Г., 2015.** Историчний зріз геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону дослідниками України. Підводні технології, Вип.01, 11-23.
2. **Казмін Ю.Б., Волков А.Н., Глумов И.Ф. и др., 1989.** Международно-правовые и экономические проблемы поиска, разведки и освоения минеральных ресурсов глубоководных районов Мирового океана. Геленджик, ПО Южморгеология, 143.
3. **Закон України про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, 2011.** Відомості Верховної ради України (ВВР), № 44, ст. 457.
4. **Морское право, 1984.** Официальный текст Конвенции ООН по морскому праву с приложениями и предметным указателем. Заключительный акт 3-й конференции ООН, 316.
5. **Куликов П.М., Сукач М.К., 2015.** О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового океана. Подводные технологии, Вып.02, 3-10.
6. **Баладинский В.Л., Сукач М.К., 1999.** Подводные строительные работы: учеб. пособ. Київ, ИСМО, 224.
7. **Баловнев В.И., 1981.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. Учеб. пособ., Высшая школа, 335.
8. **Моисеенко В.Г., Сукач М.К., 1991.** Энергоемкость разрушения донных отложений механическим и гидравлическим способами. Строительные и дорожные машины, №7, 23-24.
9. **Іванік О.М., 2015.** Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техно-генних систем в умовах морського середовища. Підводні технології, Вип. 01, 13-22.
10. **Сукач М.К., 1999.** Ідентифікація робочих процесів глибоководних ґрунторозробних машин. А/реф. дис...д.т.н., спец. 05.05.04, Київ, КНУБА, 1-33.
11. **Сукач М.К., 1993.** Методы и устройства глубоководного исследования морского дна: монография. Киев, Деп. в ГНТБ Украины 13.07.93, № 1484-Ук 93, 111.
12. **Сукач М.К., 1997.** Гравитационное зондирование грунтов: монография. Киев, Наукова думка, 172.
13. **Вялов С.С., 1978.** Реологические основы механики грунтов. Москва, Высшая школа, 447.
14. **Моисеенко В.Г., 1987.** Прогнозирование рабочих нагрузок землеройных машин в особых условиях: монография. Киев, Вища школа, 194.
15. **Кравець С.В., 2008.** Теорія руйнування робочих середовищ. Навч. посіб. Рівне, НУВГП, 124.
16. **Сукач М.К., 2019.** Модель щелевого резання ґрунта под геостатическим тиском. Підводні технології, Вип.09, 13-25.
17. **Сукач М.К., 2004.** Рабочие процессы глубоководных машин: монография. Киев, Наукова думка, 364.
18. **Сукач М.К., Комоцька С.Ю., 2017.** Прогнозування зусиль різання ґрунтів по геологічним кернам. Матеріали ІІІ міжнар. наук.-практ. конф. Underwater Technologies 2017, 28.
19. **Сукач М.К., 1998.** Самоходная установка для сбора железомарганцевых конкреций. Известия вузов. Строительство, Вип. 9, 99-103.
20. **Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В. та ін., 2010.** Машини для земляних робіт: навч. посіб. Рівне–Дніпропетровськ–Харків, 557.
21. **Сукач М.К., 2016.** Будівельна техніка: підручник. Київ, Ліра-К, 416.
22. **Сукач М.К., 2011.** Конструювання землерійно-дорожніх машин: навч. посіб. Київ, КНУБА, 260.
23. **Сукач М.К., 2012.** Глибоководна техніка і технологія для розробки полезных ископаемых Мирового океана. Труды VI Междунар. науч.-техн. конф. Энергия-2012, Симферополь-Алупка, 9.
24. **Франчук В.П., Бондаренко А., 2015.** Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Підводні технології, Вип.01, 24-31.
25. **Блинцов В.С., 1998.** Привязные подводные системы. Киев, Наукова думка, 230.
26. **Сукач М.К., Горбатюк Є.В., Марченко О.А., 2013.** Синтез землерійної і дорожньої техніки: підручник. Київ, Ліра-К, 376.
27. **Сукач М.К., Маркетинг технічних інновацій: навч. посіб.. Київ, Ліра-К, 2013, 414.**
28. **Шнюков Е.Ф., Зиборов, А.П., 2004.** Минеральные богатства Черного моря. Киев, Карбон-ЛТД, 279.
29. **Правила** регистрации первоначальных вкладчиков и положение о конфиденциаль-

ности данных и информации, 1986. Подготовительная комиссия для Международного органа поморскому дну и Международного трибунала по морскому праву. Кингстон, Ямайка, 42.

30. **Сукач М.К. Николенко И.В., 2014.** Трансфер инновационных технологий: монография. Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 482.

### REFERENCES

1. **Polovka S.G., 2015.** Istorichnij zriz geologichnogo vivchennja Azovo-Chornomors'kogo regionu doslidnikami Ukraini. Pidvodni tehnologii, Vyp. 01, 11-23 (in Russian).
2. **Kazmin Ju.B., Glumov I.F., Korsakov O.D. i dr., 1988.** Principy podscheta prognoznyh resursov i zapasov polimetallicheskih konkretij Mirovogo okeana. Gelendzhik, PO Juzhmorgeologija», 104 (in Russian).
3. **Zakon Ukrai'ny pro zatverdzhennja Zagal'noderzhavnoi' programy rozvytku mineral'no-syrovynnoi' bazy Ukrai'ny na period do 2030 roku, 2011.** Vidomosti Verhovnoi' rady Ukrainy (VVR), No.44, 457 (in Ukrainian).
4. **Morskoe pravo, 1984.** Oficial'nyj tekst Konvencii OON po morskomu pravu s prilozhenijami i predmetnym ukazatelem. Zakljuchitel'nyj akt 3-j konferencii OON po morskomu pravu. New York, OON, 316 (in Russian).
5. **Kulikov P.M., Sukach M.K., 2015.** O gotovnosti Ukrainy k osvoeniju poleznyh iskopajemyh Mirovogo okeana. Pidvodni tehnologii, Vyp.02, 3-10 (in Russian).
6. **Baladinskij V.L., Sukach M.K., 1999.** Podvodnye stroitel'nye raboty: ucheb. posob. Kyiv, ISMO, 224 (in Russian).
7. **Balovnev V.I., 1981.** Modelirovanie processov vzaimodejstvija so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin. Ucheb. posob., Vysshaja shkola, 335 (in Russian).
8. **Moiseenko V.G., Sukach M.K., 1991.** Jenergoemkost' razrushenija donnyh otlozhenij mehanicheskim i gidravlicheskim sposobami. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, No.7, 23-24 (in Russian).
9. **Ivanik O.M., 2015.** Modeljuvannja vplyvu nebezpečnyh geologichnyh procesiv na funkcionuvannja transportnyh pryrodno-tehnogeny system v umovah mors'kogo seredovyshha. Pidvodni tehnologii', Vyp. 01, 13-22 (in Ukrainian).
10. **Sukach M.K., 1999.** Identyfikacija robochyh procesiv glybokovodnyh gruntorozrobnyh mashyn. A/ref. dis...d.t.n., spec. 05.05.04, Kyi'v, KNUBA, 1-33 (in Ukrainian).
11. **Sukach M.K., 1993.** Metody i ustrojstva glybokovodnogo issledovanija morskogo dna: monografija. Kiev, Dep. v GNTB Ukrainy 13.07.93, № 1484-Uk 93, 111 (in Russian).
12. **Sukach M.K., 1998.** Razrabotka glybokovodnyh gruntov: monografija. Kiev, Naukova dumka, 348 (in Russian).
13. **Vjalov S.S., 1978.** Reologicheskie osnovy mehaniki gruntov. Moskva, Vysshaja shkola, 447 (in Russian).
14. **Moiseenko V.G., 1987.** Prognozirovanie rabochih nagruzok zemlerojnyh mashin v osobyh uslovijah: monografija. Kiev, Vishha shkola, 194 (in Russian).
15. **Kravec' S.V., 2008.** Teorija rujnuvannja robochyh seredovyshh. Navch. posib. Rivne, NUVGP, 124 (in Ukrainian).
16. **Sukach M.K., 2019.** Model' shhelevogo rezanija grunta pod geostaticeskim davleniem. Underwater Technologies, Vyp.09, 13-25 (in Russian).
17. **Michael Sukach, 2004.** Workings processes of deep-water machines: monografija. Kiev, Naukova dumka, 364 (in Russian).
18. **Сукач М.К., Комоцька С.Ю., 2017.** Прогнозування зусиль різання ґрунтів по геологічним кернам. Матеріали ІІІ міжнар. наук.-практ. конф. Underwater Technologies, 28 (in Ukrainian).
19. **Sukach M.K., 1998.** Samohodnaja ustanovka dlja sbora zhelezomargancevyh konkretij. Izvestija vuzov. Stroitel'stvo, Vyp. 9, 99-103 (in Russian).
20. **Hmara L.A., Kravec' S.V., Nichke V.V. ta in., 2010.** Mashyny dlja zemljanyh robit: navch. posib. Rivne–Dnipropetrovs'k–Harkiv, 557 (in Ukrainian).
21. **Sukach M.K., 2016.** Budivel'na tehnika: pidruchnyk. Kyiv, Lira-K, 416 (in Ukrainian).
22. **Sukach M.K., 2011.** Konstrujuvannja zemlerijno-dorozhnyh mashin: navch. posib. Kiiv, KNUBA, 260 (in Ukrainian).
23. **Sukach M.K., 2012.** Glybokovodnaja tehnika i tehnologija dlja razrabotki poleznyh iskopajemyh Mirovogo okeana. Trudy VI Mezhdunar. naukch.-tehn. konf. Energija-2012, Simferopol', Alupka, 9 (in Russian).
24. **Franchuk V.P., Bondarenko A.A., 2015.** Matematicheska model' dvizhenija nesushhego potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizonti.

- zontal'nom. Underwater Technologies, Vyp.01, 24-31 (in Russian).
25. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. Kiev, Naukova dumka, 230 (in Russian).
26. **Sukach M.K., Gorbatjuk Є.V., Marchenko O.A., 2013.** Sintez zemlerijnoї i dorozhn'oi tehniky: pidruchnik. Kyiv, Lira-K, 376 (in Ukrainian).
27. Sukach M.K., Marketyng tehnicnyh innovacij: navch. posib., Kyi'v, Lira-K, 2013, 414 (in Ukrainian).
28. **Shnjukov E.F., Ziborov, A.P., 2004.** Mineral'nye bogatstva Chernogo morja. Kiev, Karbon-LTD, 279 (in Russian).
29. **Pravila registracii pervonachal'nyh vkladchikov i polozenie o konfidencial'nosti dannyh i informacii, 1986.** Podgotovitel'naja komissija dlja Mezhdunarodnogo organa po morskomu dnu i Mezhdunarodnogo tribunala po morskomu pravu. Kingston, Jamajka, 42 (in Russian).
30. **Sukach M.K., Nikolenko I.V., 2014.** Transfer of Innovative Technologies: monografija. Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 482 (in Russian).

#### Operating conditions and assessment of the bottom background of deep-sea vehicles

*Mykhailo Sukach*

**Abstract.** The creation of competitive deep-sea soil-mining machines and complexes allows the transition to the development of deep-water deposits of polymetallic nodules and metalliferous silts, the extraction of sand and sapropel from the bottom of the sea, thus providing parity access to the mineral and energy resources of the World Ocean. The purpose of the work is to create methods and technical means for determining the strength characteristics of bottom soils in the surface layer, aimed at reducing the time of creation and effective use of machines by ensuring that their parameters correspond to real operating conditions.

Usually, the properties of deep-sea soil in its natural bedding (in situ) are determined from the data of photo- and geoacoustic sounding or from cores raised from the seabed to the surface, and the working loads of machines, the resistance of the soil to destruction and other mechanical characteristics are estimated on the basis of the data obtained by geological methods. New methods and devices for point and continuous sampling of the bottom, adequately applied both on the surface and under water, provide sufficient reliability of the information obtained for practical use. The objectives of the study are to substantiate the theory of gravity sensing of underwater soils and their cutting, to determine the deformation and strength properties of the surface layer of the seabed, resistance to mechanical destruction and the characteristics of the interaction of machine mechanisms with silty soil.

The novelty of the research is to establish the features of the interaction of the working bodies and the undercarriage of earth-moving machines with underwater viscoplastic soils, depending on the parameters of the working process, strength properties of the soil, characteristics of dynamic loading and geophotoprofiling of underwater routes. The practical value lies in the substantiation of the operational loads of deep-water earth-moving machines; an assessment of the characteristics of bottom soils in natural bedding, as well as a comprehensive study of bottom massifs, which make it possible to reduce the number of sampling stations, the total labor intensity of voyage operations, to establish an operational bottom background and optimal routes of mining systems.

**Keywords:** gravity sounding of the soil, cutting resistance, geostatic pressure, excavating machine, working loads, bottom background.