УДК 550.382.4

ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ НА АКВАТОРИИ С ВЫСОКОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Е.А. Бессонова, С.А. Зверев, В.Н. Карнаух, И.В. Червинская

Для решения задач промышленной экологии разработана методика геомагнитных измерений и интерпретации данных, позволившая существенно повысить достоверность полученных результатов в условиях высокой техногенной нагрузки и ограниченных размеров акватории действующего порта. Использовано измерительное оборудование и программное обеспечение российского производства. На основе количественной интерпретации трансформант аномального магнитного поля определены пространственные характеристики аномалиеобразующих источников техногенного происхождения. Результаты количественной интерпретации магнитных аномалий заверены гидролокатором бокового обзора и водолазными работами. Исследования выполнены по теме гос. задания ТОИ ДВО РАН 121021700342-9.

Ключевые слова: бухта Золотой Рог, залив Петра Великого, геомагнитные исследования, затонувшие суда, морской порт, техногенные помехи.

Введение

Одной из приоритетных задач промышленной экологии является минимизация загрязнения акватории в зонах высокой антропогенной нагрузки. Устойчивое функционирование эколого-экономических систем может быть достигнуто при совмещении техногенного и биогеохимического кругооборотов веществ. Решение таких вопросов чрезвычайно актуально на акватории бухты Золотой Рог, которая является наиболее загрязненным участком залива Петра Великого (Японское море). Вода и донные отложения бухты, верхний слой которых представляет собой илистый техногенный субстрат, катастрофически перенасыщены широким комплексом токсикантов: нефтяные углеводороды, фенолы, тяжелые металлы и др. [1–4]

Одним из факторов высокого техногенного загрязнения бухты является наличие в придонном слое затонувших в разное время морских судов. С одной стороны, очевидна потенциальная опасность затонувших на акватории бухты в разное время судов, особенно тех, сведения о местонахождении которых утеряны по различным причинам. Такие объекты могут доставлять существенные неудобства при проведении дноуглубительных работ, а также являются источниками токсичных веществ. Наиболее агрессивны остатки топлива в танках и металлы корпуса и технологического оборудования [5]. С другой стороны, затонувшие корабли представляют собой своеобразные искусственные рифы [6]. Различные виды растений и животных, поселившиеся здесь, представляют собой естественный биологический фильтр, утилизирующий растворенную органику и взвесь [7, 8]. Затонувшие суда на акватории бухты Золотой Рог являются своеобразным и чрезвычайно актуальным полигоном для научных исследований. В этой связи вопрос о необходимости утилизации судов, лежащих на дне бухты Золотой Рог, остается дискуссионным. К сожалению, сведения о локализации большинства таких объектов утеряны по различным причинам.

Затонувшие суда с железным корпусом являются локальными ферромагнитными объектами и могут быть обнаружены при геомагнитном картировании. Методически выполнение таких работ осложнено техногенными условиями. Акватория и побережье бухты Золотой Рог являются внутренним рейдом крупнейшего тихоокеанского порта России. Берега бухты Золотой Рог почти на всем протяжении укреплены железобетонными стенками, оборудованы причалами и пирсами (рис. 1). В составе порта достаточно сложный транспортный комплекс: акватория, на которой находятся суда грузового, пассажирского и служебно-вспомогательного флота; портовые терминалы, судостроительные и судоремонтные предприятия, средства навигационно-гидрографического обеспечения и другие объекты. Порт имеет развитую железнодорожную сеть. Ко всем причалам подведены железнодорожные пути. В составе портового оборудования различные типы портовых и плавучих кранов большой грузоподъемности. Агрессивная техногенная среда действующего порта определяет не только сложную оперативную обстановку на акватории бухты Золотой Рог, но и чрезвычайно высокий уровень электромагнитных помех, возрастающий по мере приближения к причальным стенкам.

Поиск и обнаружение локальных объектов с ферромагнитными свойствами на акваториях с высоким уровнем электромагнитных помех является востребованной задачей геомагнитных исследований. В общем виде это объекты, аномальный эффект от которых может быть сопоставим с уровнем интенсивности дискретных техногенных помех различного происхождения [10]. Для устранения влияния вариаций геомагнитного поля актуальны измерения, выполненные с применением морской магнитной градиентной съёмки. Результаты таких измерений с использованием морского буксируемого магнитометра-градиентометра позволяют получать данные о курсовом горизонтальном градиенте магнитного поля, свободные от влияния временных вариаций. Такие исследования с успехом применялись для обнаружения локальных объектов, представляющих собой обломки затопленных судов, на «свободной» акватории Балтийского и Средиземного морей [11, 12]. На акватории действующего порта ограниченного размера (бухта Золотой Рог вдается в северный берег пролива Босфор Восточный узкой изогнутой полосой шириной 700-400 м) с высоким трафиком движения судов и выступающими на 100 м и более причалами применение дифференциальной магнитной съемки нецелесообразно вследствие критического снижения маневренной способности судна, буксирующего сложную забортную конструкцию. Для поиска затопленных судов на акватории бухты Золотой Рог использована методика геомагнитных измерений и интерпретации данных, позволившая получить достоверные результаты в условиях ограниченных размеров акватории, высокого трафика движения судов и высокого уровня техногенных помех. Использованы измерительное оборудование и программное обеспечение российского производства. Результаты количественной интерпретации магнитных аномалий подтверждены гидролокатором бокового обзора и водолазными работами.



Рис. 1. Район исследований: а – космоснимок внутреннего рейда порта Владивосток [9]; б – схема геомагнитных измерений скользящим окном

Рельеф дна, геологическая ситуация и антропогенная нагрузка

Бухта Золотой Рог является основной частью внутреннего рейда порта Владивосток. Диапазон глубин акватории изменяется в пределах 6.4 – 30 м. Глубины в фарватере 20.5 м и более. Рельеф дна слабо расчлененный. Минимальная глубина акватории – вблизи устья р. Объяснения. Максимальные глубины отмечены на выходе из бухты.

Донные отложения внутренней акватории представляют собой сильно заиленные гравелистые осадки. На выходе из бухты на фоне высокого содержания гравелистых фракций содержится до 40% песка. Плохая сортировка гранулометрического состава грунта обусловлена неоднократными перемещениями грунта при дноуглубительных и строительных работах [8]. Подстилающие осадочные породы среднего и верхнего звена неоплейстоцена представлены аллювиально-морскими образованиями погребенных речных долин. В опорном разрезе скважины 1005, пробуренной до глубины 17 м в средней части бухты, под донными песчано-глинистыми отложениями голоцена мощностью 4 м выделена 13-метровая толща, состоящая из аллювиальных, лагунных и морских осадков, представленных супесями, алевритами, суглинками, глинами, песками, галечниками с валунами, линзами торфа, щебнями. Нижняя часть разреза мощностью 6 м состоит из пачек переслаивания аллювиальных галечников со склоновыми. Средняя часть разреза мощностью 3,9 м сложена морскими, лагунными и аллювиальными осадками [13]. В кутовой части бухты скважиной 1009 до глубины 25 м вскрыт разрез голоценовых и верхненеоплейстоценовых отложений затопленной речной долины. В составе отложений алевриты, суглинки, пески, галечники, линзы торфа, раковины моллюсков. Мощность отложений голоцена 12 м. Эти отложения характеризуются невысокими значениями намагниченности. Магнитное поле на таких участках безаномальное. Магнитная аномалия интенсивностью до 200 нТл выделена по результатам аэромагнитной съемки на северо-западном побережье бухты Золотой Рог [14]. По мнению авторов, источником магнитной аномалии являются покровы верхнепермских лав и туфов (владивостокская свита нерасчлененная (P2vl)). Таким образом, магнитные свойства геологической среды района исследований не создают существенных помех для выполнения геомагнитных исследований, направленных на поиск затонувших судов.

При выполнении геомагнитных измерений внутренний рейд морского порта, занимающий акваторию бухты Золотой Рог и её береговое обрамление, представляет собой многокомпонентную электромагнитную помеху. Акватория характеризуется высоким трафиком судоходства. Кроме прохода и швартовки больших морских судов на акватории постоянно работают суда служебно-вспомогательного флота, курсируют пассажирские суда, осуществляющие местные перевозки. Деятельность порта регулируется специальными регламентами [15]. Мощная инфраструктура действующего порта определяет не только сложную оперативную обстановку на акватории бухты, но и высокоамплитудное, высокоградиентное техногенное аномальное магнитное поле (АМП) и чрезвычайно высокий уровень неустранимых электромагнитных помех, возрастающий по мере приближения к причальным стенкам.

Методика геомагнитных измерений и обработки данных

Частная задача геомагнитных исследований на акватории – поиск локальных объектов с ферромагнитными свойствами – на современном этапе, как правило, решается применением буксируемых магнитометров-градиентометров [16, 17]. Измерения проводятся одновременно двумя или более пространственно разнесёнными датчиками при движении судна по профилю съёмки. Существенным преимуществом является возможность исключения временных вариаций магнитного поля, а также повышение эффективности геомагнитной съемки без увеличения её стоимости. Бухта Золотой Рог врезается в сушу узкой изогнутой полосой с причалами, выступающими вкрест береговой линии (рис. 1, *a*). Ограниченные размеры акватории, сложная конфигурация берегов и высокий трафик движения судов не позволяют использовать дифференциальную магнитную съемку вследствие критического снижения маневренной способности судна, буксирующего громоздкую конструкцию, состоящую из двух забортных измерительных систем.

Для решения поставленной задачи в 2017 году геомагнитные измерения выполнялись морским буксируемым протонным магнитометром MPMG-04 российского производства (ООО «Спектр-Геофизика»), предназначенным для автоматического измерения модуля полного вектора геомагнитного поля (Т) на акватории. Позиционирование точек измерений осуществлялась с использованием навигационного приемоиндикатора (GNSS) TRIMBLE SPS 855. Измерения на акватории выполнялись на научно исследовательском судне ТОИ ДВО РАН «Малахит» – катер проекта 376 (ВРД) длиной 21 м. Буксировка магниточувствительного преобразователя (МЧП) осуществлялась при длине буксировочного кабеля 60 м. Размеры объектов поиска и глубина акватории позволяют выполнять буксировку по поверхности водного слоя. Для сравнительной оценки аномального эффекта, создаваемого крупным ферромагнитным объектом, выполнены измерения геомагнитного поля с различной глубиной буксируемого датчика (рис. 2).



Рис. 2. Пример регистрации измерений модуля полного вектора геомагнитного поля на взаимно перекрывающихся профилях гидромагнитной съёмки с различным заглублением буксируемого устройства. Сплошной линией показан график АМП при буксировке МЧП по поверхности водного слоя, пунктиром - при буксировке МЧП на глубине около 5 м

Заглубление датчика магнитометра выбиралось минимальным – обеспечивающим необходимый визуальный контроль и снижение риска обрыва забортной части оборудования. Положительная плавучесть обеспечена пенополистирольной оболочкой МЧП. Масштаб съемки 1: 2000. Из-за ограничений по возможности маневрирования на акватории порта профили съёмки прокладывались через 200 или 100 м. Достижение необходимой плотности сети наблюдений выполнено смещением профилей измерений «скользящим окном» (рисунок 1, б).

Для исключения влияния дискретных электромагнитных помех выполнены повторные измерения по каждому профилю. В отдельных случаях количество проходов по профилям утроено. Такая методика позволила повысить достоверность результатов измерений. Удорожание измерений за счет увеличения количества профилей ничтожно мало в сравнении со стоимостью магнитометра-градиентометра. Повышение качества работ достигнуто за счет учета вариаций геомагнитного поля природного происхождения на основе синхронных магнитовариационных измерений на стационарном пункте наблюдений ТОИ ДВО РАН «Остров Попова».

Обработка результатов измерений по профилям съемки выполнена раздельно для каждой серии измерений на основе классического представления наблюденного магнитного поля (Т) в виде суммы нормального (Tn), аномального (Ta) полей и поля вариаций (δ T):

$$\Gamma = Tn + Ta + \delta T. \tag{1}$$

Нормальное геомагнитное поле (Tn) рассчитано по сферическим коэффициентам, рекомендованным Международным геодезическим и геофизическим союзом (IUGG) для расчета нормального геомагнитного поля (модель IGRF-2012) [18].

За весь период наблюдений магнитное поле не было осложнено бурями, а величина изменения δT не превышала 80 нТл за сутки. Однако в отдельные периоды вариационный градиент составлял 20–25 нТл/ч, поэтому его учет был необходим при выделении слабых аномалий в малозашумленной части акватории бухты Золотой Рог.

Дальнейшая обработка результатов измерений осуществлена выравниванием повторных профилей к одному уровню.

В формировании геологической среды дна акватории порта более 100 лет преобладают интенсивные внешние процессы, которые определяются технической деятельностью человека и приводят к изменению состава, строения и физических свойств донных отложений. Вследствие этих обстоятельств искажены существующие и созданы новые магнитные аномалии. Локальные магнитные аномалии, источниками которых являются объекты поиска, вычислены на основе выделения в АМП региональной и локальной компонент. На исследуемой акватории «региональной» составляющей является АМП первого уровня, определяемое природными и техногенными источниками, на порядок и более превышающими размеры искомых объектов – Tr. Затопленные суда и их фрагменты – источники локальных аномалий Tar второго уровня. Таким образом, АМП, источниками которого являются затопленные суда, можно представить в виде:

$$Tar = Ta-Tr.$$
 (2)

Выделение «региональной» составляющей (Tr) в рамках решаемой задачи выполнено осреднением по профилям магнитного поля методом скользящего окна. По времени учтено влияние магнитных масс судов, двигавшихся в непосредственной близости от МЧП в процессе измерений. Аномалии, источниками которых являются такие объекты, исключались из рассмотрения.

Дальнейшие преобразования АМП определялись задачей работ и представляли собой нейтрализацию высокоамплитудных высокочастотных аномалий-помех случайного характера (Tc):

$$\Delta Ta=Tar-Tc.$$
 (3)

На всех профилях измерений выделены аномалии-помехи случайного характера. Это знакопеременные аномалии, имеющие небольшие размеры (фиксируются одной, редко – двумя точками) и характеризующиеся широким спектром амплитуд в пределах -6÷6 нТл. Такие аномалии связаны со случайными ошибками измерений, изменением расстояния от МЧП до поверхности дна, возникшим вследствие волнения моря и пр. Исключение таких аномалий выполнено на основе низкочастотной фильтрации.

К сожалению, невозможно учесть влияние высокоамплитудных, высокочастотных электромагнитных помех, возникающих при работе портовых установок.

В результате выполненных преобразований получены два массива данных Δ Ta, полученных по одинаковым профилям, измерения на которых выполнены в разное время. Методом сетей [19] составлены две цифровые модели АМП вида (3), имеющие общую координатную основу. Расстояние между узлами сети соответствует плотности измерений. Исключение ложных локальных аномалий выполнено при визуализации результатов вычислений в виде карт-схем на основе их прямого сопоставления.

Количественная интерпретация локальных магнитных аномалий выполнена в двумерном варианте. Для восстановления параметров геомагнитных разрезов применялось программное обеспечение ZondGM2D (ООО «Геодевайс», Россия). Интерпретационные профили проложены через апикальные участки магнитных аномалий. При расчетах использованы данные об интенсивности магнитного поля Земли, наклонение и склонение геомагнитного поля, глубина положения МЧП относительно уровня моря, азимут интерпретационного профиля. При двумерной количественной интерпретации магнитных аномалий, источниками которых являются сильномагнитные объекты, возможна аппроксимация модельных тел совокупностью одинаковых непересекающихся квадратов достаточно малого размера [20]. Для повышения достоверности восстановления пространственных характеристик объектов поиска

намагниченность источников локальных магнитных аномалий считаем неоднородной с учетом морфологических особенностей аномалиеобразующих источников и различного характера их повреждений в зависимости от причин затопления и дальнейшей деструкции в морской воде. Геомагнитная среда представлена в виде регулярной сети квадратных ячеек размерами 1x1 м, которым присваиваются дискретные значения магнитной восприимчивости. Сделано обоснованное допущение о колинеарности вектора намагниченности модельных тел и направления вектора магнитной индукции в настоящее время. Количественная интерпретация таких аномалий сводится к ответу на вопрос: может ли располагаться в данной области пространства объект с определенными магнитными свойствами.

Локальные магнитные аномалии

На акватории бухты Золотой Рог выделены высокоградиентные локальные магнитные аномалии интенсивностью -3400,9 ÷ 2200,3 нТл, простирающиеся узкой знакопеременной полосой вдоль береговой черты. Их источник – инфраструктура морского порта. Выделены локальные магнитные аномалии в форме диполей, источниками которых являются затопленные суда. Интенсивность таких аномалий различна: -115÷165 нТл; -220÷515; -359÷656; -414÷998; -215÷1300; -2200÷3400 нТл. Эти локальные магнитные аномалии ориентированы с разными углами отклонениями оси по направлению север-юг (максимум на юге, минимум на севере). Их можно разделить на два типа: 1 – классические диполи: один максимум и один минимум; 2 – аномалии сложной морфологии: два интенсивных полюса и «осложнения». К осложнениям относим дополнительные максимумы и минимумы меньшей интенсивности. В составе корпусов судов, надстроек и механизмов высоко содержание ферромагнитных материалов, обладающих свойствами намагничиваться в магнитном поле Земли и создавать в окружающем их пространстве свое магнитное поле. Интенсивность намагниченности такого объекта существенным образом зависит от размеров судна и распределения ферромагнитных масс. Затопленное судно намагничивается в магнитном поле Земли и становится своеобразным «большим локальным магнитом». В идеальной ситуации вектор намагниченности таких объектов ориентирован по северному и южному магнитным полюсам Земли. Положительный полюс локальных магнитных аномалий должен располагаться на юге, а отрицательный на севере. Отклонение полюсов



Рис. 3. Количественная интерпретация локальной магнитной аномалии на профиле I-I': а – аномальное магнитное поле, См – магнитный меридиан, d – магнитное склонение; б – интерпретационный профиль АМП вида (3), красный график – трансформированное магнитное поле, синий – подобранное поле

таких диполей связано с ориентацией затопленного судна по сторонам света. Некоторое влияние оказывают близко расположенные источники интенсивных локальных аномалий, например железобетонных причалов.

На рис. 3, *а* показана локальная магнитная аномалия первого типа, выделенная в северо-восточной части бухты Золотой рог. Аномалия классической формы характеризуется интенсивностью -414÷998 нТл (профиль I-I'). Положение оси аномалии смещено на 19° к западу от магнитного меридиана. Аномалообразующий объект расположен на небольшом удалении к югу от железобетонной причальной стенки субширотного простирания.

Источник магнитной аномалии (рис. 3, *б*) характеризуется компактной формой. Объект сохранил целостность. Длина модельного тела 18 м. Размеры по вертикали 6–8 м. Неоднородно распределенная магнитная восприимчивость модельного тела меняется в пределах 250–700 ед. Си. Объект, расположенный на глубине 13 м, заилен. В водной среде находится только верхняя часть, приподнятая над уровнем дна в среднем на 1–2 м. Скорее всего, это портовый буксир, затонувший достаточно давно. Участки высоких значений магнитной восприимчивости занимают только около 30% площади модельного тела. Затопленное судно характеризуется высокой степенью коррозии железных элементов конструкции.

На рисунке 4, *а* показана локальная магнитная аномалия второго типа, характеризующаяся неоднородной структурой. Она выделена в западной части бухты недалеко от стенки причала субмеридио-



Рис. 4. Количественная интерпретация локальной магнитной аномалии на профиле II-II': а – аномальное магнитное поле, См – магнитный меридиан, d – магнитное склонение; б – интерпретационный профиль АМП вида (3), красный график – трансформированное магнитное поле, синий – подобранное поле

нального простирания. Аномалия характеризуется положительным и отрицательным полюсами и дополнительным максимумом в средней части. Интенсивность аномалии невысока -115÷165 нТл (профиль II-II'). Положение оси аномалии смещено на 34° к западу от магнитного меридиана. Источник магнитной аномалии залегает на глубине более 20 м (рис. 4, б), заилен. Над поверхностью дна объект выступает на 0.5-3.5 м. Намагниченное тело характеризуется вытянутой формой и длиной 35 м. Мощность по вертикали составляет 4 м в центральной части и до 8 м на северо-западе. Магнитные свойства модельного тела неоднородны. Наиболее интенсивно намагничена северо-западная часть. На юго-востоке намагничение существенно ниже. А в центре объекта магнитная восприимчивость совсем невысока. С учетом формы магнитной аномалии и характера распределения магнитной восприимчивости в пределах модельного объекта можно сделать вывод, что источник аномалии – затопленное судно, разделенное на две части. Первоначальная длина судна была около 30 м. На юго-западе расположен фрагмент затонувшей конструкции длиной 13 м. Северо-восточный фрагмент немного длиннее – около 18 м.

Источники локальных магнитных аномалий, выделенных на акватории бухты Золотой Рог, заверены гидролокатором бокового обзора и водолазными работами [10].

Заключение

В работе показана реализация морских малоглубинных геомагнитных исследований - поиск и обнаружение локальных ферромагнитных объектов, представляющих практический интерес для решения задач промышленной экологии. Для достижения поставленной цели методически удалось обойти существенные техногенные препятствия геомагнитных измерений: сложную конфигурацию береговой линии, ограниченные возможности маневрирования, высокий трафик движения судов и высокий уровень электромагнитных помех. Вылелены локальные магнитные аномалии, источниками которых являются затопленные суда. Магнитные аномалии классифицированы. По результатам интерпретации получены сведения о пространственных характеристиках обнаруженных объектов. Использование неоднородности магнитной восприимчивости вещества модельных тел позволило сделать вывод о наличии возможных повреждений и степени сохранности затонувших судов. Полученные сведения должны быть полезны при разработке стратегии экологических решений: подъем и утилизация затонувших кораблей или сохранение в местах локализации в качестве матрицы для обитания природных биологических фильтраторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование степени загрязнения донных отложений в бухте Золотой рог (Японское море) / А. С. Зубцова [и др.] // Современное общество: глобальные и региональные процессы: материалы IV междунар. науч. конф. Санкт-Петербург. 14–15 марта 2019 года. СПб.: Lulu Press, 2019. С. 52–55.

2. Ермолицкая М.3. Исследование состояния донных отложений бухты Золотой Рог // Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1. С. 86–91.

3. Калитина Е. Г. Влияние органического загрязнения на структуру и состояние микробных сообществ поверхностных вод бухты Золотой Рог: дис ... канд. биол. наук: 03.00.16. Владивосток, 2006. 181 с.

4. Ермолицкая М.З. Гидрохимическое исследование бухты Золотой Рог за 2008-2009 гг. / М.З. Ермолицкая, О.А. Кочеткова // Вестн. МГУ. Серия: Теория и практика защиты моря. 2010. Вып. 41. С. 17–21.

5. Влияние затонувших судов на экологическую безопасность прибрежных акваторий и береговых зон России / Н. А. Вальдман [и др.] // Тр. Крыловского гос. науч. центра. 2019. № 4(390). С. 231–244.

6. Krone R. Wrecks as artificial lobster habitats in the German Bight / R. Krone, A. Schröder // Helgoland Marine Research. 2011. Vol. 65. P. 11–16. DOI: 10.1007/s10152-010-0195-2.

7. Влияние искусственных рифовых конструкций на восстановление антропогенно-измененных акваторий / Л. Е. Слободскова [и др.] // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток, 2022. С. 203–208.

8. Белан Т.А. Условия существования и особенности распределения макрозообентоса морской акватории порта Владивосток (залив Петра Великого, Японское море) / Т.А. Белан, Л.С. Белан, А.В. Березов // Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений: сб. статей РЭА № 1. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 116–128.

9. Яндекс.Карты [Электронный pecypc] - URL: https://yandex.ru/maps/11409/primorsky-krai/geo/bukhta_zolotoy_rog/2523721457/?from=tabbar& l=sat&ll=131.897482%2C43.100035&source=serp_navig&z=13 (дата обращения: 15.01.2023).

10. Geomagnetic survey for solving ecology problems on aquatory seaport with high level of electromagnetic noise (Golden Horn bay, Peter the Great gulf, sea of Japan) / Bessonova E.A. [et. al.] // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666, No. 6. 062149. DOI: 10.1088/1755-1315/666/6/062149

11. Environmental magneto-gradiometric marine survey in a highly anthropic noisy area (2009) / D. Embriaco [et. al.] // Annals of Geophysics. No. 52(5). P. 459–467.

12. High resolution marine magnetic survey of shallow water littoral area / E. Weiss [et. al.] // Sensors. 2007. Vol. 7(9). P. 1697–1712. DOI: 10.3390/ s7091697.

13. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская. Листы К-52-XII, XVIII. Объяснительная записка. СПб, 2002.

14. Жуковская А.В. Результаты аэрогеофизических работ масштаба 1:25000 на участке Муравьевском: Отчет Аэрогеофизической партии за 1987-89 г.г. ТФГИ, инв. № 12048.

15. Приказ Министерства транспорта РФ от 2 июля 2013 г. N 229 «Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Владивосток» (с изменениями и дополнениями) – URL: https://base.garant.ru/70420734/?ysclid=lddwh5a6nm839932665 (дата обращения: 13.01.2023).

16. Гершанок Л.А. Малоглубинная магниторазведка в условиях промышленных помех // Вестн. Перм. ун-та. Серия: Геология. 2013. Вып 1(18). С. 34–49.

17. Кочетов М. В. Оптимизация методики дифференциальной гидромагнитной съемки / М.В. Кочетов, В.А. Журавлев // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. 2018. № 2. С. 127–131.

18. Geomagnetic models and software [Электронный ресурс] / U.S. National Geophysical Data Center (NGDC). 2012. – URL: http://www.ngdc. noaa.gov/seg/geomag/models.shtml (дата обращения: 22.05.2017).

19. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: В 2 кн. / пер. с англ. В. А. Голубевой; под ред. Д. А. Родионова. М.: Недра, 1990. Кн. 2. 427 с.

20. Блох Ю. И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий: учеб. пособие. М., 2009. – URL: http://sigma3d.com/content/view/24/2/ (дата обращения: 15.01.2023).

Сведения об авторах

БЕССОНОВА Елена Александровна, к.г.-м.н., с. н. с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: геофизические исследования современных геологических отложений

Тел.: 8-908-988-0842 Факс: +7 (423) 231-25-73 E-mail: bessonova@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0002-6616-5268

ЗВЕРЕВ Сергей Александрович, н. с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: морская геофизика, археологическая геофизика

Тел.: 8-904-626-0567 Факс: +7 (423) 231-25-73 E-mail: zverev_84@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0003-0228-0678



- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН
- Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
- Область научных интересов: морская геология и геофизика, геоморфология

Тел.: +7 (423) 231-21-50 Факс: +7 (423) 231-25-73 E-mail: karnaukh@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0002-7030-2587

ЧЕРВИНСКАЯ Ирина Васильевна, ведущий инженер

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва ДВО РАН

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Область научных интересов: картография, геоморфология Тел.: 8-924-238-2832

Факс: +7 (423) 231-25-73 E-mail: chervinskaya@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0003-3713-6705





Для цитирования:

Бессонова Е.А., Зверев С.А., Карнаух В.Н., Червинская И.В. ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ НА АКВАТОРИИ С ВЫСО-КОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ // Подводные исследования и робототехника. 2023. №. 1 (43). С. 67–76. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_43_01_07. EDN: SSUDQQ.

GEOMAGNETIC RESEARCH FOR SOLVING PROBLEMS OF INDUSTRIAL ECOLOGY IN WATER AREAS WITH A HIGH TECHNOGENIC BURDEN

E.A. Bessonova, S.A. Zverev, V.N. Karnaukh, I.V. Chervinskaya

To solve the problems of industrial ecology, a method of geomagnetic measurements and data interpretation was developed, which made it possible to significantly increase the reliability of the results obtained in conditions of high technogenic burden and limited size of the water area of the existing port. Russian-made measuring equipment and software were used. Based on the quantitative interpretation of the transformant of the anomalous magnetic field, the spatial characteristics of anomalous sources of technogenic origin have been determined. The results of the quantitative interpretation of magnetic anomalies are certified by side-scan sonar and diving work. Studies were carried out on the topic of state tasks of TOI FEB RAS 121021700342-9.

Keywords: Golden Horn Bay, Peter the Great Bay, geomagnetic research, sunken ships, seaport, technogenic interference.

References

1. Issledovanie stepeni zagryazneniya donnyh otlozhenij v buhte Zolotoj rog (YAponskoe more) / A.S. Zubcova [i dr.]. Sovremennoe obshchestvo: global'nye i regional'nye processy: materialy IV mezhdunarod. nauch. konf. Sankt-Peterburg. 14–15 marta 2019 goda. SPb.: Lulu Press, 2019. P. 52-55.

2. Ermolickaya M.3. Issledovanie sostoyaniya donnyh otlozhenij buhty Zolotoj Rog. / M. Z. Ermolickaya. Ekologiya i bezopasnosť zhiznedeyatel'nosti. 2013. No. 1. P. 86-91.

3. Kalitina E. G. Vliyanie organicheskogo zagryazneniya na strukturu i sostoyanie mikrobnyh soobshchestv poverhnostnyh vod buhty Zolotoj Rog: diss ... kand. biol. nauk: 03.00.16. / E. G. Kalitina. Vladivostok, 2006. 181 p.

4. Ermolickaya M. Z. Gidrohimicheskoe issledovanie buhty Zolotoj Rog za 2008-2009 gg. / M. Z. Ermolickaya, O. A. Kochetkova. Vestnik MGU. Seriya: Teoriya i praktika zashchity morya. 2010. Vyp. 41. P. 17-21.

5. Vliyanie zatonuvshih sudov na ekologicheskuyu bezopasnosť pribrezhnyh akvatorij i beregovyh zon Rossii / N. A. Val'dman [i dr.]. Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2019. No. 4(390). P. 231-244.

6. Krone R. Wrecks as artificial lobster habitats in the German Bight / R. Krone, A. Schröder. Helgoland Marine Research. 2011. Vol. 65. P. 11-16. DOI: 10.1007/s10152-010-0195-2.

7. Vliyanie iskusstvennyh rifovyh konstrukcij na vosstanovlenie antropogenno-izmenennyh akvatorij / L. E. Slobodskova [i dr.]. Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskih resursov Mirovogo okeana: materialy VII Mezhdunarod. nauch.-tekhn. konf. Vladivostok, 2022. P. 203-208.

8. Belan T. A. Usloviya sushchestvovaniya i osobennosti raspredeleniya makrozoobentosa morskoj akvatorii porta Vladivostok (zaliv Petra Velikogo, YAponskoe more) / T. A. Belan, L. S. Belan, A. V. Berezov. Ekologicheskie aspekty osvoeniya neftegazovyh mestorozhdenij: sb. statej REA № 1. Vladivostok: Dalnauka, 2009. P. 116-128.

9. Yandeks.Karty [Elektronnyj resurs] - URL: https://yandex.ru/ maps/11409/primorsky-krai/geo/bukhta_zolotoy_rog/2523721457/?from=tabbar&l=sat&ll=131.897482%2C43.100035&source=serp_navig&z=13 (data obrashcheniya 15.01.2023). Geomagnetic survey for solving ecology problems on aquatory seaport with high level of electromagnetic noise (Golden Horn bay, Peter the Great gulf, sea of Japan) / Bessonova E.A. [et. al.]. IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666. No. 6. – 062149.
 DOI: 10.1088/1755-1315/666/6/062149

11. Environmental magneto-gradiometric marine survey in a highly anthropic noisy area (2009) / D. Embriaco [et. al.]. Annals of Geophysics. No. 52(5). P. 459-467.

12. High resolution marine magnetic survey of shallow water littoral area / E. Weiss [et. al.]. Sensors. 2007. Vol.7(9). P. 1697-1712. DOI: 10.3390/s7091697.

13. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Seriya Sihote-Alinskaya. Listy K-52-XII, XVIII. Ob"yasnitel'naya zapiska. SPb, 2002.

14. ZHukovskaya A. V. Rezul'taty aerogeofizicheskih rabot masshtaba 1:25000 na uchastke Murav'evskom. (OtchetAerogeofizicheskoj partii za 1987-89 g.g.). TFGI, inv. № 12048.

15. Prikaz Ministerstva transporta RF ot 2 iyulya 2013 g. N 229 «Ob utverzhdenii Obyazatel'nyh postanovlenij v morskom portu Vladivostok» (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Elektronnyj resurs]: Portal GARANT. RU. - URL: https://base.garant.ru/70420734/?ysclid=lddwh5a6 nm839932665 (data obrashcheniya 13.01.2023)

16. Gershanok L.A. Maloglubinnaya magnitorazvedka v usloviyah promyshlennyh pomekh / L. A. Gershanok. Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya. 2013. Vyp 1(18). P. 34-49.

17. Kochetov M. V. Optimizaciya metodiki differencial'noj gidromagnitnoj s"emki / M. V. Kochetov, V. A. ZHuravlev. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya. 2018. No. 2. P. 127–131.

18. Geomagnetic models and software [Elektronnyj resurs] / U.S. National Geophysical Data Center (NGDC). 2012. - URL: http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/models.shtml (data obrashcheniya 22.05.2017)

19. Devis Dzh. S. Statisticheskij analiz dannyh v geologii: V 2 kn. / Dzh. S. Devik; per. s angl. V. A. Golubevoj; pod red. D. A. Rodionova. Kn. 2. M.: Nedra, 1990. 427 p.

20. Bloh YU. I. Interpretaciya gravitacionnyh i magnitnyh anomalij: ucheb. posobie [Elektronnyj resurs]. M., 2009. URL: http://sigma3d.com/ content/view/24/2/ (data obrashcheniya 15.01.2023).

About authors

BESSONOVA Elena Aleksandrovna, Ph.D.-M. n., Senior researcher
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS
Address: 690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43
Research interests: Geophysical investigations of modern geological deposits
Phone: 8-908-988-0842
Fax: +7 (423) 231-25-73
E-mail: bessonova@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0002-6616-5268

ZVEREV Sergey Aleksandrovich, Research associate V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS Address: 690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43 Research interests: Marine geophysics, archaeological geophysics Phone: 8-904-626-0567 Fax: +7 (423) 231-25-73 E-mail: zverev_84@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0003-0228-0678

KARNAUKH Viktor Nikolaevich, Ph.D.-M. n., Docent, Head of Laboratory
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS
Address: 690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43
Research interests: Marine geology and geophysics, geomorphology
Phone: +7 (423) 231-21-50
Fax: +7 (423) 231-25-73
E-mail: karnaukh@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0002-7030-2587

CHERVINSKAYA Irina Vasilevna, Lead engineer Address: 690041, Vladivostok, Baltiyskaya str., 43 Research interests: Cartography, geomorphology Phone: 8-924-238-2832 Fax: +7 (423) 231-25-73 E-mail: chervinskaya@poi.dvo.ru ORCID: 0000-0003-3713-6705





Recommended citation:

Bessonova E.A., Zverev S.A., Karnaukh V.N., Chervinskaya I.V. GEOMAGNETIC RESEARCH FOR SOLVING PROBLEMS OF INDUSTRIAL ECOLOGY IN WATER AREAS WITH A HIGH TECHNOGENIC BURDEN. Underwater investigations and robotics. 2023. No. 1 (43). P. 67–76. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_43_01_07. EDN: SSUDQQ.