

УДК 550.814:551.351: 550.8.014

МОНИТОРИНГ ПЕРЕНОСА ПРИДОННОГО ПОТОКА ОСАДКОВ В ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ЗОНЕ ШЕЛЬФА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ

Ильин Владимир Вениаминович,

главный специалист общества с ограниченной ответственностью «РН-СахалинНИПИморнефть»,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Амурская, 53. E-mail: vladimirilyin7@gmail.com

Мелкий Вячеслав Анатольевич,

доктор технических наук, заведующий кафедрой геологии и природопользования, директор
Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 42. E-mail: vamelkiy@mail.ru

Верхотуров Алексей Александрович,

старший преподаватель кафедры геологии и природопользования
Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 42. E-mail: ussr-91@mail.ru

Гальцев Алексей Андреевич,

старший преподаватель кафедры геологии и природопользования
Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 42. E-mail: galts.alexey@gmail.com

Зарипов Олег Мансурович,

старший преподаватель кафедры строительства Технического нефтегазового института
Сахалинского государственного университета,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 42. E-mail: ole-zaripov@mail.ru

Долгополов Даниил Валентинович,

научный сотрудник Московского государственного университета геодезии и картографии,
Россия, 105064, г. Москва, пер. Гороховский, 4. E-mail: d-daniil@yandex.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью моделирования возможных сценариев развития природных процессов и связанной с ними геоэкологической обстановки в связи с активизацией освоения шельфа.

Цель работы: выявление интегральных связей эндогенного и экзогенного факторов, определение индикаторов направленности процессов при транспортировке придонного слоя наносов, характеризующих состояние структурного блока и обстановки осадконакопления, для включения их в модели геоэкологического состояния экосистем.

Методы исследования: отбор проб осадков выполнен с помощью донной станции пробоотбора, представляющей собой сварную конструкцию со съемными пробоотборниками – трубками диаметром 100 мм и высотой 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50 и 100 см; привязка на местности производилась с помощью компактного портативного устройства Garmin eTrex Legend HCx; запись в каталог координат снятых точек осуществлялась в географических координатах с возможностью вывода на печать; подводное фотографирование, видеосъемка и аэрофотосъемка проводились с помощью специального фотоаппарата Nikon Coolpix; батиметрический промер акватории производился двухчастотным съемочным эхолотом Echotrack DF3200-MK III; гранулометрический состав отобранных проб был определен лазерным анализатором размеров частиц SALD 2300 Shimadzu; аэрофотосъемка выполнялась на каждом этапе в количестве 10 маршрутов с использованием парaplана; обследования дна в точках пробоотбора и отбор образцов донной станции произведен водолазами; выполнен анализ данных спутниковых съемок с аппаратов TERRA и Landsat.

Результаты. По данным экспериментальных исследований, произведенных в период с 2012 по 2014 г. на юго-восточном шельфе острова Сахалин, выполнена оценка геоэкологических процессов в прибрежно-морской части шельфа. Экспериментальные исследования и обработка полученных данных были направлены на изучение поведения частиц осадочного материала в придонном потоке. Выявлены интегральные связи эндогенного и экзогенного факторов. Определены поведенческие индикаторы, характеризующие состояние структурных блоков и обстановку осадконакопления.

Выводы. В придонном потоке наносов экзогенный фактор в условиях, созданных его переменными (течениями и ветром), привносит на исследуемый участок осадочный материал, который распределяется по объему и размерам на различных уровнях придонного потока. Эндогенный фактор формирует береговой и донный рельеф, переходную зону от пляжа к локальной возвышенности – бара, – в пределах которой идет перенос и аккумуляция осадочного материала и формирование мезорельефа.

Ключевые слова:

Шельф, перенос осадочного материала, экзогенный и эндогенный факторы, седиментация, аккумуляция, эрозия, неотектоника, индикаторы поведения малоразмерных частиц, мониторинг природных процессов, моделирование.

Введение

Численное моделирование гидродинамических процессов, формирующих геоэкологическую обстановку, ведется на основе обобщения информации о дрейфе буйковых станций, морского льда, анализа результатов космического мониторинга и наблюдений с судов. Работы по созданию моделей гидродинамических процессов в Охотском море выполняются с 70-х годов XX в. [1, 2]. Тем не менее, вопрос о создании адекватной прогностической модели для шельфовой зоны высокого пространственного разрешения остается открытым вследствие недостатка данных наблюдений и сложности и многогранности моделируемого объекта. Наиболее адекватными решениями полной бароклинной задачи для Охотского моря являются модели Бергенского университета [3] в сочетании с ГИС «Сахалинский шельф» [4–8] и Института вычислительной математики РАН [9, 10]. Для проверки адекватности разработанных моделей и их корректировки необходимо использовать данные, полученные при мониторинге шельфовой зоны, как посредством спутниковых наблюдений [11–15], так и при контактных измерениях, выполняемых при морских экспериментальных исследованиях [16, 17]. В результате выполненного исследования были определены индикаторные показатели, наиболее точно отражающие направленность морфолитодинамических процессов в шельфовой зоне.

Исходные данные

Для оценки развития современных геоэкологических процессов и построения модели их разви-

тия в заливе Мордвинова на восточном шельфе о. Сахалин (рис. 1) был выполнен комплекс исследований, направленный на изучение перемещения частиц осадков в придонном слое и состава частиц морского дна. Кроме того, для общей характеристики участка были привлечены данные геофизических исследований, океанографических и аэрофотосъемки (рис. 2). Наблюдения выполнялись в три этапа на протяжении трех лет – в 2012–2014 гг.

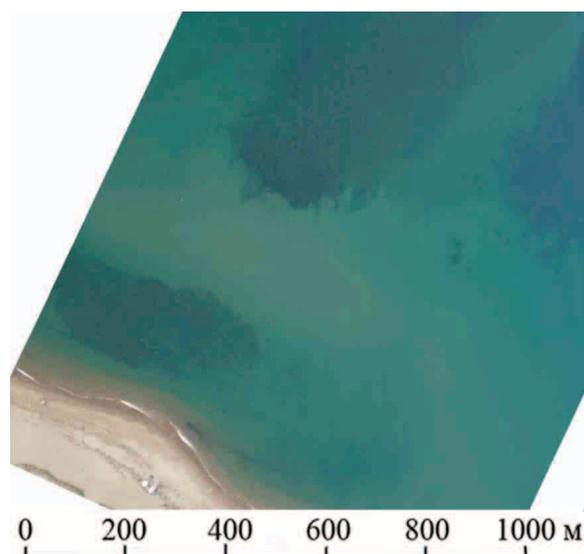


Рис. 2. Аэрофотоснимок исследуемого участка

Fig. 2. Aerial photo of the research area

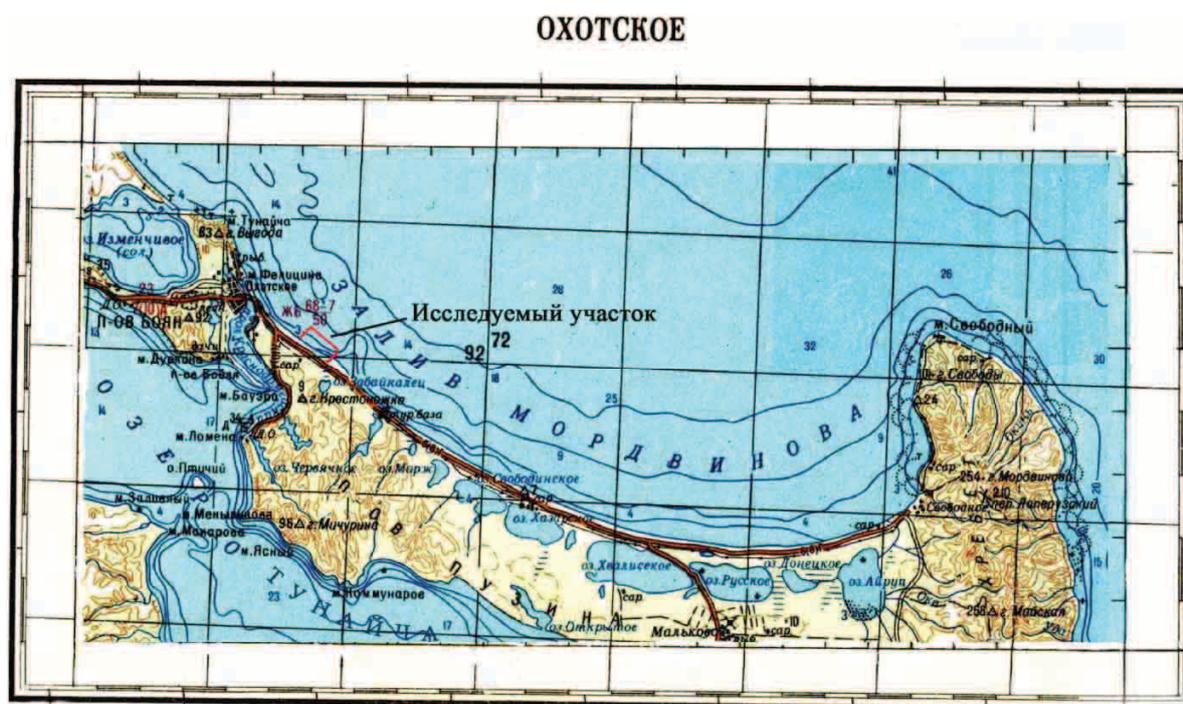


Рис. 1. Схема расположения района работ в заливе Мордвинова

Fig. 1. Research area in Mordvinov bay

Основной упор в исследованиях был сделан на сбор осадочного материала, перемещаемого в придонном слое; материала, слагающего морское дно и пляж, и лабораторной оценке размеров его частиц, вплоть до размера в 17 нм.

Отбор проб донного материала в количестве 30 штук был выполнен водолазом по линиям пяти профилей, равномерно по всей площади исследования.

Сбор осадочного материала, переносимого течениями на различных уровнях придонного слоя, осуществлялся с помощью донной станции с установленными на ней улавливающими трубками (рис. 3). Трубки съёмные, внутренний диаметр 10 см, высота трубок над дном моря (высота приема осадочного материала): 0, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100 см. Первый уровень – на нулевой отметке – наблюдательный, отбор проб не выполнялся. Работы производились в условно штилевую погоду: при высоте зыби, не превышающей 0,5 м.



Рис. 3. Станция для пробоотбора перемещаемых осадков из придонного потока

Fig. 3. Seabed sampler station for the sampling of sedimentary material in the bottom stream

Для защиты от вымывания накопленного материала при подъеме на поверхность, водолазы закрывали входные отверстия трубок, а затем донная станция поднималась на борт (рис. 4).

Промер глубин выполнен в 2012–2014 гг. Размеры участка – 2×1 км, протяженность вдоль берега – 2 км, вглубь моря – 1 км. Батиметрический промер акватории производился двухчастотным съемочным эхолотом Echotrack DF3200-МК III. Ра-

бочие частоты: 10–50 кГц и 100–750 кГц. Разрешение – 0,01 м. Диапазон глубин – 0,2–200 м. Эхолоты данного типа хорошо зарекомендовали себя при выполнении батиметрических работ [18, 19].



Рис. 4. Извлечение накопленных осадков из пробоотборной трубки на борту

Fig. 4. Extruding of the sediment material from the sampler on board

На выбранном участке исследований выделяется локальное возвышение с превышением над окружающим дном моря на 4–8 м (рис. 5).

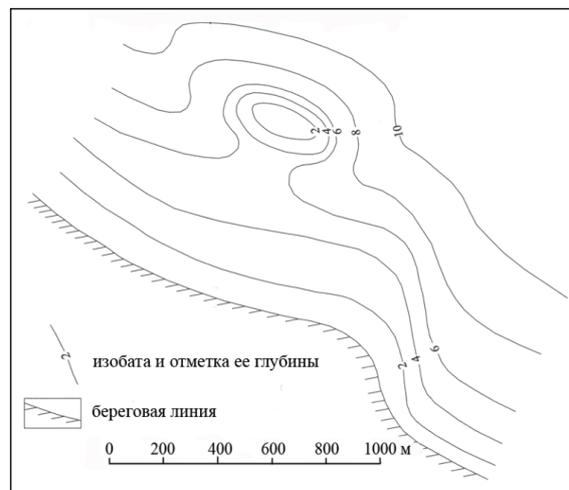


Рис. 5. Батиметрическая схема участка исследований, составленная по данным эхолотного промера

Fig. 5. Bathymetry scheme of the research area as the result of echosounding profiling

Сейсмоакустические профили были заложены по сетке 0,5×1,0 км. По результатам сейсмоакустического профилирования мощность рыхлых отложений на участке составляет 2,5–3,5 м и, соответственно, уменьшается до 0 м в районе отмели (рис. 6).

В пределах исследуемого участка по характерному геоморфологическому строению морского дна и примыкающего побережья выделяются возможные границы трех нарушений, по которым проходят границы блоковых структур. Первое вы-

тянуто в меридиональном направлении, проходит посередине участка и картографируется по характерному изгибу изобат. Второе проходит по южной границе возвышенности с северо-запада на юго-восток, выделяется по геоморфологическому строению дна моря. Третье проходит вдоль берега в юго-восточном направлении, выделяется по обрывистому берегу и резкому свалу глубин в прибрежной зоне. Меридиональная и субмеридиональная направленность разрывных нарушений совпадает с направлениями выделенных структурообразующих границ для данного района (рис. 7). Также в результате водолазных обследований дна моря в районе возвышенности выявлено ступенчатое строение микроблоков коренных пород с высотой «ступеней» от 0,3 до 1,2 м, характеризующих наличие тектонических нарушений с разнонаправленным или разноскоростным движением прилегающих блоков.

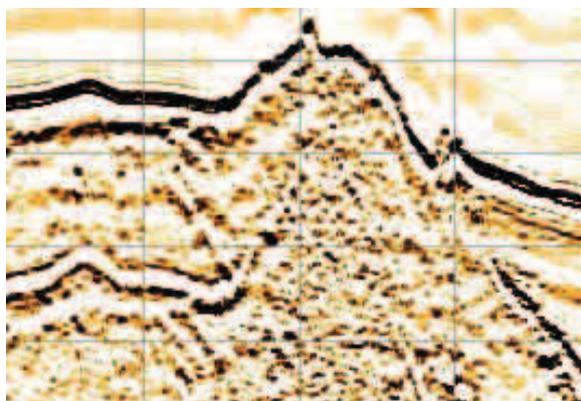


Рис. 6. Вид отмели на сейсмоакустической записи

Fig. 6. Recording of the bank at sub-bottom profile

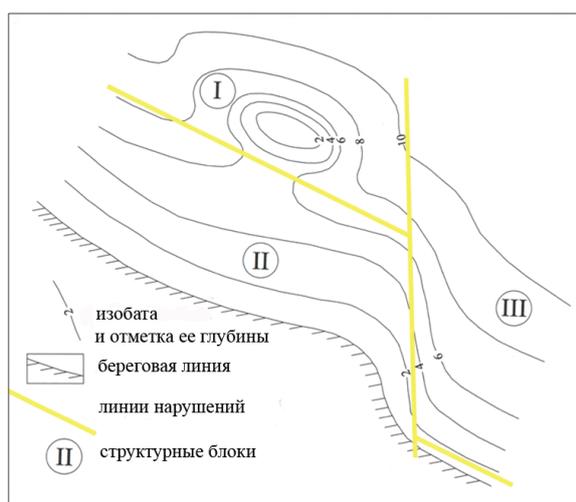


Рис. 7. Структурные блоки, выделенные при исследованиях

Fig. 7. Structural blocks at the research area

В результате предварительных исследований и первичных исследований участка было выделено три блока (рис. 7) с различным состоянием современной тектонической обстановки и, соответствен-

но, с различными условиями современного осадконакопления:

- 1) блок локального поднятия с тенденцией к устойчивому подъему;
- 2) блок в относительно равновесном состоянии;
- 3) блок локальной депрессии с тенденцией к опусканию.

Сочетание двух факторов – эндогенного и экзогенного – и преобладание одного над другим или их равновесное состояние определяют условия осадконакопления [20, 21]. Исследование взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов – весьма сложная задача, которая трудно решается не только на море, но и на суше [22, 23]. В процессе экспериментальных геоморфологических мониторинговых наблюдений было важно получить количественные характеристики этого взаимодействия.

На основе исходных данных в пределах выделенных блоков наблюдалась следующая обстановка характерного осадконакопления: в пределах первого блока – эрозия морского дна; второго – транзит морских осадков; третьего – аккумуляция морских осадков. На протяжении трех лет в районе каждого блока был выполнен типовой комплекс исследований с постановкой станции донного пробоотбора на глубину 4,2 м.

Анализ и оценка количественного переноса донных осадков

Как было описано выше, придонный поток осадочного материала был разделен на восемь горизонтов (рис. 8): 1 см (1), 2 см (2), 3 см (3), 5 см (4), 10 см (5), 20 см (6), 50 см (7), 100 см (8). По результатам наблюдений, первые четыре уровня пробоотборников были, как правило, заполнены. Но не редко в них отмечалось частичное отсутствие материала, связанное с небольшой высотой стенок пробоотборников, которая позволяет вовлечь поступивший материал в последующее движение донного потока и, соответственно, выносить его из трубки.

Наибольший объем сбора осадков наблюдался на 4 и 5 уровнях (5 и 10 см) с сопоставимыми временными показателями – от нескольких граммов и десятков граммов до двухсот и более граммов в сутки. Это уровень максимального перемешивания донного потока и наибольшей вовлеченности осадков в процесс его перемещения. Причем на уровне 10 см «выбрасывания» осадков из пробоотборника в спокойную погоду практически не происходит из-за достаточной высоты стенок трубки.

На уровнях 6 и 7 весовые показатели в 4–5, иногда в 10 раз, ниже, чем на 4 или 5 уровнях. На 8 уровне этот показатель в несколько десятков раз ниже тех же уровней.

Традиционно мощность придонного потока оценивается в 1,5 м [24–26]. Исходя из вышесказанного, придонный поток по активности переноса осадочного материала можно разделить на зоны (рис. 9):

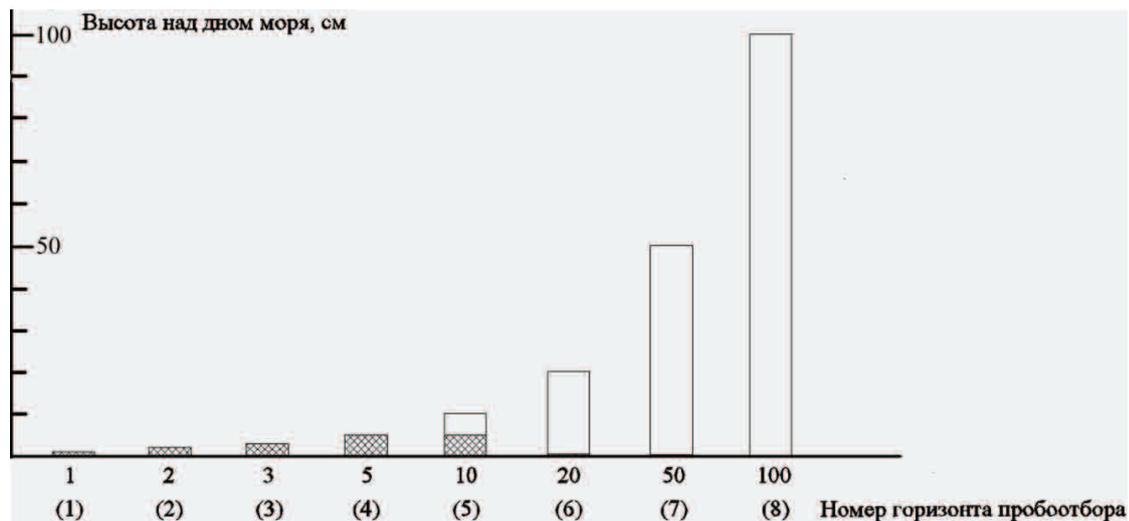


Рис. 8. Уровень наполнения трубок пробоотборников осадочным материалом

Fig. 8. Level of the sediment material at the samplers

- 1) от 0 до 0,2 м – активная зона;
- 2) от 0,2 до 1,0 м – переходная зона;
- 3) от 1,0 до 1,5 м – малоактивная зона.

По результатам подсчета среднесуточного объема переноса осадочного материала, среднегодовой объем переноса осадков на один квадратный метр составляет:

- I блок $\approx 2,7$ т/м² в год;

- II блок $\approx 3,0$ т/м² в год;
- III блок $\approx 3,2$ т/м² в год.

Очевидно, что объемы переносимого осадочного материала нарастают от первого блока к третьему. Это выявленная закономерность подтверждает различие условий и обстановок осадконакопления для выделенных структурных блоков.

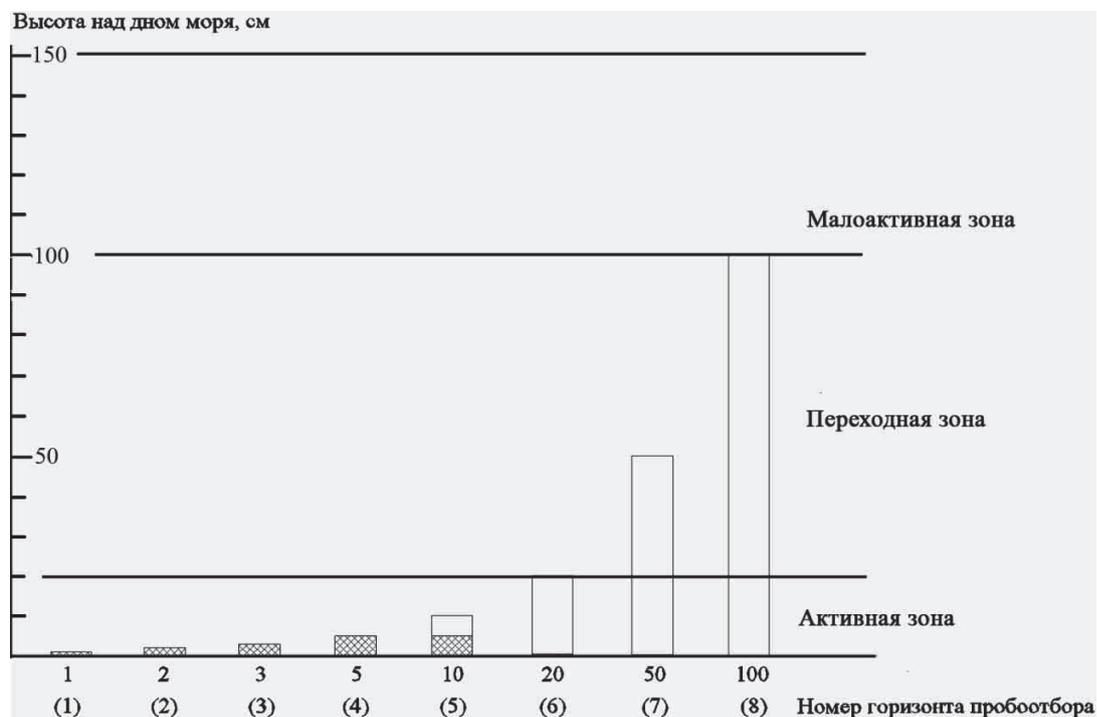


Рис. 9. Выделение зон активности переноса осадочного материала в придонном потоке по высоте пробоотборников (от 1 до 100 см) и объемам осадочного материала в пробоотборниках

Fig. 9. Active zones of sediment material transporting in the bottom stream depending on the sampler height (from 1 to 100 cm) and volume of the sediments at the samplers

Анализ и оценка гранулометрического состава переносимого материала: результаты мониторинга

Анализ гранулометрического состава частиц выполнялся на оборудовании SALD-2300 (Shimadzu Laser Diffraction Particle Size Analyzer) с возможностью определения размеров частиц от 17 нм до 2,5 мм.

По результатам лабораторных исследований, строение и состав активной и переходной зон в различных структурных блоках практически не отличаются друг от друга – в основном это песок мелкий-средний, реже – крупный. Тонкодисперсные (глинистые) частицы встречаются в единичных образцах и составляют объем менее 0,08 % в пробе.

Заметные отличия в наборе гранулометрических фракций осадочного материала для различных структурных блоков наблюдаются в малоактивной зоне придонного потока:

- I блок – ни в одном образце не выявлено осадков глинистой фракции (< 0,002 мм);
- II блок – в двух образцах наблюдается присутствие глинистой фракции в объеме до 0,1 %;
- III блок – в каждом образце отмечено наличие глинистых осадков в объемах от 0,3 до 0,6 %.

В приведенных значениях наблюдается явная закономерность: в районе третьего блока отмечается тенденция к выпадению в осадок глинистых частиц.

Точки выполнения пробоотбора находятся относительно недалеко друг от друга – в нескольких сотнях метров, поэтому придонный поток на всей площади исследований в целом по составу является довольно однородным. Следовательно, наблюдаемая закономерность свидетельствует о свойстве малоактивной зоны придонного потока сохранять в своем составе или оставлять в осадке глинистые частицы в зависимости от принадлежности участков к различным структурным блокам.

На участке исследований было выделено три блока, имеющих различную динамику и направленность вертикальных движений: первый блок испытывает поднятие, второй – равновесное состояние, третий – опускание. Исходя из выявленных закономерностей, можно охарактеризовать состояние глинистых частиц малоактивной зоны придонного потока над каждым из структурных блоков:

- для поднимающихся структур – частицы испытывают незначительные вертикальные колебания, связанные с волнением моря, но в основном движутся в горизонтальном направлении в общей массе потока, без каких-либо тенденций к нисходящим движениям;
- для структур в равновесном состоянии – глинистые частицы также испытывают незначительные вертикальные колебательные движения, связанные с волнением моря, основное движение – горизонтальное в общем потоке с весьма незначительной тенденцией к нисходящим движениям;

- для нисходящих структур – глинистые частицы испытывают значительные вертикальные колебания, близкие к орбитальным траекториям, со значительной тенденцией к нисходящим движениям.

Как было отмечено выше, в активной и переходной зонах больших различий в составе частиц для различных структурных блоков не наблюдается. Движение частиц идет по орбитам в направлении общего потока. Глинистые частицы «захватываются» крупными песчаными частицами гравитационно, кроме того, шероховатость поверхности и обилие соприкосновений с трудом позволяют им покинуть активную (и переходную) зону придонного потока.

В малоактивной зоне, в отличие от двух ниже лежащих зон, движущиеся частицы уже практически не оказывают гравитационного и кинетического воздействия друг на друга и потому могут служить самостоятельными *индикаторами* развивающейся обстановки. То есть по направлению своего движения характеризовать общую гравитационную обстановку и, соответственно, непосредственно указывать на условия эрозии, транспортировки или аккумуляции осадков.

Описанные свойства глинистых частиц при прохождении различных структурных блоков, скорее всего, связаны с гравитационной составляющей самих блоков и их собственной тенденцией к более сильному или ослабленному притяжению, которое наиболее заметно проявляется на легких подвижных тонких частицах малоактивной зоны, не связанных взаимным притяжением, как в активной зоне придонного потока.

Гранулометрический состав и объем осадочного материала в целом может быть оценен как интегральная характеристика, отображающая основные пространственные закономерности изменения литогенной основы участка, формирующей его рельеф и обеспечивающей взаимосвязь двух базовых рельефообразующих факторов: эндогенного и экзогенного.

Два фактора независимо друг от друга формируют в системе условия, изначально никак не связанные между собой: экзогенный фактор формирует постоянно действующие и приливно-отливные течения, ветер и волнение, температуру и соленость; эндогенный фактор оказывает воздействие на глубинные структуры земной коры, создает дизъюнктивные нарушения, закладывает структурные блоки и задает условия их состояния направленности движения, что отмечалось многими исследователями [27, 28].

На нижнем уровне экзогенный фактор в условиях, созданных его переменными (течениями и ветром), привносит на исследуемый участок осадочный материал, который распределяется по объему и размерам на различных уровнях придонного потока [29, 30]. Эндогенный фактор формирует береговую и донный рельеф, переходную зону от

пляжа к локальной возвышенности, в пределах которых идет перенос и аккумуляция осадочного материала и формирование мезорельефа. Происходит активное влияние двух факторов и их переменных друг на друга [31, 32]. Сформированный рельеф оказывает влияние на подход волн к берегу и, соответственно, на характер привноса и отложения осадков. Выявление наиболее значимых характеристик процессов позволяет создавать качественные адекватные модели [33–36].

Заключение

Таким образом, множество свойств, потенциальных состояний (значений) каждого свойства и его проявления в результате обработки данных мониторинга было сведено к поиску одного индикатора характеристики существующей обстановки осадконакопления – поведение глинистых частиц малоактивной зоны придонного потока. По характеру движения глинистых частиц можно характеризовать общую гравитационную обстановку и, соответственно,

непосредственно указывать на условия эрозии, транспортировки или аккумуляции осадков:

- для поднимающихся структур (эрозионная обстановка) – частицы испытывают незначительные вертикальные колебания, связанные с волнением моря, но в основном движутся в горизонтальном направлении в общей массе потока, без каких-либо тенденций к нисходящим движениям;
- для структур в равновесном состоянии (обстановка транзита осадков) – глинистые частицы также испытывают незначительные вертикальные колебательные движения, связанные с волнением моря, основное движение – горизонтальное в общем потоке с весьма незначительной тенденцией к нисходящим движениям;
- для нисходящих структур (аккумулятивная обстановка) – глинистые частицы испытывают значительные вертикальные колебания, близкие к орбитальным траекториям, со значительной тенденцией к нисходящим движениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.Ф. Расчет уровневой поверхности в Охотском море // Труды ДВНИИ, 1972. – Вып. 37. – С. 37–43.
2. Зырянов В.Н. Численный расчет установившихся течений Охотского моря: (прогностическая модель) // Труды ВНИРО, 1977. – Т. 119. – С. 42–30.
3. Bernsten J. Users guide for a modesplit-coordinate numerical ocean model. – Bergen: University of Bergen, 2004. – 51 p.
4. Пищальник В.М., Тамбовский В.С. Атлас льдов Охотского и Японского морей (иллюстрированное справочное пособие), Южно-Сахалинск, 1993. – 195 с.
5. Пищальник В.М., Бобков А.О. Моделирование природных процессов на основе ГИС «Сахалинский шельф»: учебное пособие. – Южно-Сахалинск, 2008. – 103 с.
6. Моделирование условий функционирования экосистемы Татарского пролива / В.М. Пищальник, А.В. Леонов, В.С. Архипкин, В.А. Мелкий. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. – 104 с.
7. Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Ч. I. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. – 174 с.
8. Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Ч. II. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. – 108 с.
9. Марчук Г.И., Залесный В.Б. Моделирование циркуляции мирового океана с четырехмерной вариационной ассимиляцией полей температуры и солёности // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 48. – № 1. – С. 15–29.
10. Залесный В.Б., Дианский Н.А., Конторовский С.Э. Численное моделирование динамики вод Охотского моря // Дальневосточные моря России: в 4 кн. Кн. 1: Океанологические исследования / отв. ред. В.А. Акуличев; Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН. – М.: Наука, 2007. – С. 335–386.
11. Кравцова В.И., Уваров И.А. Гиперспектральная система MODIS для глобального мониторинга Земли // Информ. бюл. ГИС-ассоц. – 2001. – № 2 (29) / 3 (30). – С. 39–41.
12. Повышение точности расчета скоростей поверхностных течений по спутниковым изображениям / А.И. Алексанин, М.Г. Алексанина, А.А. Загумёнов, В.А. Качур // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2015. – Т. 3. – № 181. – С. 59–66.
13. Алексанин А.И., Алексанина М.Г. Спутниковое информационное обеспечение мониторинга океана на Дальнем Востоке // Дальневосточные моря России: в 4 кн. Кн. 1: Океанологические исследования / отв. ред. В.А. Акуличев; Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН. – М.: Наука, 2007. – С. 607–641.
14. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач / Е.А. Лупян, В.П. Саворский, Ю.И. Шокин, А.И. Алексанин, Р.Р. Назиров, И.В. Недолужко, О.Ю. Панова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 5. – С. 21–44.
15. Использование данных дистанционного зондирования для исследования мелководий шельфовой зоны / В.А. Мелкий, В.М. Пищальник, А.А. Гальцев, И.В. Еременко, Н.С. Семенов // Земля из космоса – наиболее эффективные решения: материалы 5-й Международной конференции (г. Москва, 29 ноября – 2 декабря 2011 г.). – М.: СпнЭкс, 2011. – С. 144–145.
16. Ильин В.В. Эндеогенные и экзогенные факторы в процессах эрозии, переноса и аккумуляции осадков на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 17–22.
17. Балгуев Т.Р., Братков В.В. Оценка внутригодовой изменчивости территории о-ва Тюлений (по материалам дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – № 1. – С. 44–51.
18. On the vertical and temporal structure of flow and stress within the turbulent oscillatory boundary layer above evolving sand ripples / A.E. Hay, L. Zedel, R. Cheel, J. Dillon // Continental Shelf Research. – 2012. – V. 46. – P. 31–49.
19. Decimeter-scale in situ mapping of modern cross-bedded dune deposits using parametric echo sounding: a new method for linking river processes and their deposits / G.S. Smith, J.L. Best, O. Orfeo, M.E. Vardy, J.A. Zinger // Geophysical Research Letters. – 2013. – V. 40. – P. 1–5.
20. Ионин А.С., Медведев В.С., Павлидис Ю.А. Шельф: рельеф, осадки и их формирование. – М.: Мысль, 1987. – 205 с.
21. Деркачев А.Н., Николаева Н.А., Горбаренко С.А. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 37–52.
22. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. – М.: Изд. Моск. ун-та: Наука, 2006. – 416 с.

23. Евсеева Н.С., Окишев П.А. Экзогенные процессы рельефообразования и четвертичные отложения суши: учебное пособие. Ч. I. – Томск: Изд. НТЛ, 2010. – 300 с.
24. Косьян Р.Д., Пыхов Н.В., Подымов И.С. Динамические процессы береговой зоны моря. – М.: Научный мир, 2003. – 325 с.
25. Завьялов И.Н., Жмур В.В. Интенсивные взвесенесущие потоки в придонном слое океана на наклонном дне // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2. – № 3. – С. 158–167.
26. Kumari V.R., Rao I.M. Suspended sediment dynamics in Krishna estuary, east coast of India // Indian Journal of Marine Science, 2010. – V. 39 (2). – P. 248–256.
27. Рельеф и некоторые аспекты палеогеографии позднего валдая – голоцена в районе о. Варандей (Баренцево море) / И.Г. Авенариус, А.А. Ермолов, В.И. Мысливец, Т.Ю. Репкина // Седиментационные процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского пригляциала. Кн. 1. – Апатиты, 2001. – С. 135–146.
28. Carvajal C. Sediment supply: the main driver of shelf-margin growth // Earth-Science Reviews. – 2009. – № 96. – Iss. 4. – P. 221–248.
29. Sanford L.P. Modeling a dynamically varying mixed sediment bed with erosion, deposition, bioturbation, consolidation, and armoring // Comput. Geosci. – 2008. – № 34. – P. 1263–1283.
30. Quantitative characteristics of the Indian Ocean seafloor relief using fractal dimension / B. Chakraborty, V. Mahale, K. Shashikumar, K. Srinivas // Indian Journal of Marine Science. – 2007. – V. 36 (2). – P. 152–161.
31. Mathematical modeling of water circulation on eastern shelf of Sakhalin island / V.M. Pishchalnik, V.S. Arkhipkin, A.V. Leonov, I.G. Minervin, V.A. Melkiy // The 28th International symposium on Okhotsk sea & Sea ice. – Mombetsu, 2013. – P. 300–303.
32. Review of studies of the Environment by remote sensing data in the Sakhalin State University / V.A. Melkiy, V.M. Pishchalnik, V.V. Ilin, A.A. Galtsev, O.M. Zaripov, A.A. Verkhoturov, I.V. Eremenko, Ya.P. Belyanina // The 29th International symposium on Okhotsk sea & Sea ice. – Mombetsu, 2014. – P. 103–106.
33. Ковалев Д.П., Ковалев П.Д. Исследование особенностей генерации инфрагравитационных волн в прибрежной зоне моря // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2013. – № 3. – С. 60–64.
34. Зенкин О.В., Мелкий В.А., Малинников В.А. Применение спутниковых данных MODIS для оценки антропогенных загрязнений вод Охотского моря // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 6. – С. 160–166.
35. Зверев А.Т., Малинников В.А., Милованова М.С. ГИС-обеспечение топографического мониторинга северных территорий России // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 5. – С. 55–59.
36. Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В. Аэрокосмические методы определения рельефа дна в прибрежных зонах морей и океанов // Исследование Земли из космоса. – 2000. – № 6. – С. 59–73.

Поступила 21.11.2015 г.

UDC 550.814:551.351: 550.8.014

MONITORING OF TRANSFER OF THE NEAR-BOTTOM FLOW OF THE SEDIMENTS IN COASTAL ZONE OF THE SHELF TO IDENTIFY THE MAIN PARAMETERS OF THE MODELS OF THE ECOSYSTEMS

Vladimir V. Ilin,

«RN-SakhalinNIPIImorneft» Limited Liability Company, 53, Amurskaya Street,
Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia. E-mail: vladimirilyin7@gmail.com

Vyacheslav A. Melkiy,

Oil and Gas Technical Institute of Sakhalin State University, 42, Pogranichnaya
Street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia. E-mail: vamelkiy@mail.ru

Aleksey A. Verkhoturov,

Oil and Gas Technical Institute of Sakhalin State University, 42, Pogranichnaya
Street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia. E-mail: ussr-91@mail.ru

Aleksey A. Galtsev,

Oil and Gas Technical Institute of Sakhalin State University, 42, Pogranichnaya
Street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia. E-mail: galts.alexey@gmail.com

Oleg M. Zaripov,

Oil and Gas Technical Institute of Sakhalin State University, 42, Pogranichnaya
Street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia. E-mail: ole-zaripov@mail.ru

Daniil V. Dolgopolov,

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Ave-
nue, Moscow, 105064, Russia. E-mail: d-daniil@yandex.ru

The relevance of the work is determined by the need to simulate possible scenarios of development of natural processes and the associated environment, in the conditions of active development of the shelf.

The main aim of the paper: identify the integral relationships of endogenous and exogenous factors of sedimentation, determining the indicators of the direction of the processes during transport of the near-bottom flow of sediment characterizing the structural tectonic block and the environment in place of sedimentation for inclusion in the model of geo-ecological conditions of ecosystems.

Research methods: sampling of sediments was made using bottom sampling-stations, representing a welded construction with removable sediment samplers – tubes with diameter of 100 mm and height of 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50 and 100 cm; binding on the ground was made by a compact handheld Garmin eTrex Legend HCx; entry in the catalogue of coordinates of observation points was carried out in geographic coordinates with the possibility to print; underwater photography, videography and aerial photography were carried out using a special camera Nikon Coolpix; bathymetric research on the area was conducted by means of dual frequency sounder DF3200 Echo-track MK III; granulometric composition of the samples was defined by laser particle size analyzer Shimadzu SALD 2300; aerial photography was carried out at each stage in the quantity of 10 routes with the use of the paraglider; underwater surveys of the seabed on stations of sampling were made by divers; used data of satellite shooting from vehicles TERRA and Landsat.

Results. Estimates of the research of geo-ecological processes in coastal parts of the shelf according to experimental studies were conducted in 2012–2014 in the South-Eastern shelf of Sakhalin island. Observing the behavior of particles of sedimentary material in the bottom stream. Integral connection of endogenous and exogenous factors was revealed. Behavioral indicators characterizing the state of structural blocks and the environment of sedimentation were also defined.

Conclusions. In the bottom sediments, an exogenous factor in the conditions created by its variables – currents and wind – brings on the studied area the sedimentary material which is distributed over the volume and dimensions at different levels of near-bottom flow. Endogenous factor forms the coastal and bottom topography, transition zone from the beach to a local hill – bar, – within which the sediment is transported and accumulated and mesorelief is formed.

Key words:

Shelf, sediment transporting, exogenous and endogen factors, sedimentation, accumulation, erosion, neotectonic, indicators of behavior of small-sized particles, monitoring of natural processes, modeling.

REFERENCES

- Kozlov V.F. Raschet urovnennoy poverkhnosti v Okhotskom more [The calculation of the water level surface in the Okhotsk sea]. *Trudy DVNII*, 1972, iss. 37, pp. 37–43.
- Zyryanov V.N. Chislennyi raschet ustanovivshikhsya techeniy Okhotskogo morya: (prognosticheskaya model) [Numerical calculation of steady-state currents of the Okhotsk sea: (predictive model)]. *Trudy VNIRO*, 1977, vol. 119, pp. 42–30.
- Berntsen J. *Users guide for a modesplit-coordinate numerical ocean model*. Bergen, University of Bergen Publ., 2004. 51 p.
- Pishchalnik V.M., Tambovskiy V.S. *Atlas ldov Okhotskogo i Yaponskogo morey* (illustrirovannoe spravochnoe posobie). [Atlas of the ices of the Okhotsk and Japan seas (illustrated textbook)]. Yuzhno-Sakhalinsk, 1993. 195 p.
- Pishchalnik V.M., Bobkov A.O. *Modelirovanie prirodnykh protsessov na osnove GIS «Sakhalinskiy shelf»* [Modeling of natural processes based on GIS «Sakhalin shelf»]. Yuzhno-Sakhalinsk, 2008. 103 p.
- Pishchalnik V.M., Leonov A.V., Arkhipkin V.S., Melkiy V.A. *Modelirovanie usloviy funktsionirovaniya ekosistemy Tartarskogo proliva* [The modeling of the functioning of the ecosystem of the Tartar Strait]. Yuzhno-Sakhalinsk, SakhGU Publ., 2011. 104 p.
- Pishchalnik V.M., Bobkov A.O. *Okeanograficheskiy atlas shelfovoy zony ostrova Sakhalin. Ch. I* [Oceanographic atlas of the shelf zone of the Sakhalin island. Part I]. Yuzhno-Sakhalinsk, SakhGU Publ., 2000. 174 p.
- Pishchalnik V.M., Bobkov A.O. *Okeanograficheskiy atlas shelfovoy zony ostrova Sakhalin. Ch. II* [Oceanographic atlas of the shelf zone of the Sakhalin island. Part II]. Yuzhno-Sakhalinsk, SakhGU Publ., 2000. 108 p.
- Marchuk G.I., Zalesnyy V.B. Modelirovanie tsirkulyatsii mirovogo okeana s chetyrekhmernoy variatsionnoy assimilatsiyey poley temperatury i solenosti [Modeling of the World Ocean circulation with the four-dimensional assimilation of temperature and salinity fields]. *Izvestiya RAN. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, vol. 48, no. 1, pp. 15–29.
- Zalesnyy V.B., Dianskiy N.A., Kontorovskiy S.E. Chislennoe modelirovanie dinamiki vod Okhotskogo morya. *Dalnevostochnye morya Rossii*. Moscow, Nauka Publ., 2007. pp. 335–386.
- Kravtsova V.I., Uvarov I.A. Giperspektralnaya sistema MODIS dlya globalnogo monitoringa Zemli [Hyperspectral system MODIS for global monitoring of the Earth]. *Informatsionnyy byulleten GIS-assotsiatsii*, 2001, no. 2 (29)/3 (30), pp. 39–41.
- Aleksanin A.I., Aleksanina M.G., Zagumennov A.A., Kachur V.A. Povyshenie tochnosti rascheta skorostey poverkhnostnykh techeniy po sputnikovym izobrazheniyam [Improving the accuracy of velocity analysis of surface currents on satellite images]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2015, vol. 3, no. 181, pp. 59–66.
- Aleksanin A.I., Aleksanina M.G. Sputnikovoe informatsionnoe obespechenie monitoringa okeana na Dalnem Vostoke. *Dalnevostochnye morya Rossii*. Moscow, Nauka Publ., 2007. pp. 607–641.
- Lupyan E.A., Savorskiy V.P., Shokin Yu.I., Aleksanin A.I., Nazirov R.R., Nedoluzhko I.V., Panova O.Yu. Sovremennyye podkhody i tekhnologii organizatsii raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya resheniya nauchnykh zadach [Modern approaches and technologies to organization of work with remote sensing data of the Earth for solving scientific problems]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, vol. 9, no. 5, pp. 21–44.
- Melkiy V.A., Pishchalnik V.M., Galtsev A.A., Eremenko I.V., Semenov N.S. Ispolzovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya issledovaniya melkovodiy shelfovoy zony [The use of remote sensing data for exploration of the shallow waters of shelf zone]. *Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii «Zemlya iz kosmosa – naibolee effektivnye resheniya»* [Proc. 5th Int. Conf. Earth from space – the most effective solutions]. Moscow, SknEKS Publ., 2011. pp. 143–145.
- Ilin V.V. Endogennye i ekzogennye faktory v protsessakh erozii, perenosa i akkumulyatsii osadkov na severo-vostochnom shelfe ostrova Sakhalin [Endogenous and exogenous factors in sediment erosion, transporting and accumulation in the north-east shelf of Sakhalin island]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 17–22.
- Balguev T.R., Bratkov V.V. Otsenka vnutrigodovoy izmenchivosti territorii o-va Tyuleniya (po materialam distantsionnogo zondirovaniya) [Evaluation of within-year variability of the territory of the Tyuleniya island (based on materials of remote sensing)]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 44–51.
- Hay A.E., Zedel L., Cheel R., Dillon J. On the vertical and temporal structure of flow and stress within the turbulent oscillatory boundary layer above evolving sand ripples. *Continental Shelf Research*, 2012, vol. 46, pp. 31–49.

19. Smith G.S., Best J.L., Orfeo O., Vardy M.E., Zinger J.A. Decimeter-scale in situ mapping of modern cross-bedded dune deposits using parametric echo sounding: a new method for linking river processes and their deposits. *Geophysical Research Letters*, 2013, vol. 40, pp. 1–5.
20. Ionin A.S., Medvedev V.S., Pavlidis Yu.A. *Shelf: relief, osadki i ikh formirovaniye* [Shelf: relief, sediments and their formation]. Moscow, Mysl Publ., 1987. 205 p.
21. Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Gorbarenko S.A. Osobennosti postavki i raspredeleniya klastogenno materiala v Okhotskom more v pozdnechetvertichnoe vremya [Specifically the supply and distribution of clastogenic material in the Okhotsk sea in Late Quaternary time]. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2004, vol. 23, iss. 1, pp. 37–52.
22. Rychagov G.I. *Obshchaya geomorfologiya* [General geomorphology]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 416 p.
23. Evseeva N.S., Okishev P.A. *Ekzogennyye protsessy relefoobrazovaniya i chetvertichnyye otlozheniya sushhi* [Exogenous processes of relief-formation and Quaternary sediments of dry land]. Tomsk, NTL Publ., 2010. 300 p.
24. Kosyan R.D., Pykhov N.V., Podymov I.S. *Dinamicheskie protsessy beregovoy zony morya* [Dynamic processes of the sea coastal zone]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2003. 325 p.
25. Zavyalov I.N., Zhmur V.V. *Intensivnyye vzvesenesushchie potoki v pridonom sloe okeana na naklonnom dne* [Intensive streams carrying the suspension in the near-bottom layer of the ocean on sloping bottom]. *Trudy MIPT*, 2010, vol. 2, no. 3, pp. 158–167.
26. Kumari V.R., Rao I.M. Suspended sediment dynamics in Krishna estuary, east coast of India. *Indian Journal of Marine Science*, 2010, vol. 39 (2), pp. 248–256.
27. Avenarius I.G., Ermolov A.A., Myslivets V.I., Repkina T.Yu. Relief i nekotorye aspekty paleogeografii pozdnego valdaya – golotsena v rayone o. Varandey (Barentsevo more) [The relief and some aspects of paleogeography of the Late Valdai – Holocene in the vicinity of Varandei island (Barents sea)]. *Sedimentary processes and evolution of marine ecosystems in conditions of marine periglacial*. Apatity, 2001. pp. 135–146.
28. Carvajal C. Sediment supply: the main driver of shelf-margin growth. *Earth-Science Reviews*, 2009, no. 96, iss. 4, pp. 221–248.
29. Sanford L.P. Modeling a dynamically varying mixed sediment bed with erosion, deposition, bioturbation, consolidation, and armoring. *Comput. Geosci.*, 2008, no. 34, pp. 1263–1283.
30. Chakraborty B., Mahale V., Shashikumar K., Srinivas K. Quantitative characteristics of the Indian Ocean seafloor relief using fractal dimension. *Indian Journal of Marine Science*, 2007, vol. 36 (2), pp. 152–161.
31. Pishchalnik V.M., Arkhipkin V.S., Leonov A.V., Minervin I.G., Melkiy V.A. Mathematical modeling of water circulation on eastern shelf of Sakhalin island. *The 28th International symposium on Okhotsk sea & Sea ice*. Mombetsu, OSCORA Publ., 2013. pp. 300–303.
32. Melkiy V.A., Pishchalnik V.M., Ilin V.V., Galtsev A.A., Zaripov O.M., Verkhoturov A.A., Eremlenko I.V., Belyanina Ya.P. Review of studies of the Environment by remote sensing data in the Sakhalin State University. *The 29th International symposium on Okhotsk sea & Sea ice*. Mombetsu, OSCORA Publ., 2014. pp. 103–106.
33. Kovalev D.P., Kovalev P.D. Issledovanie osobennostey generatsii infragravitatsionnykh voln v pribrezhnoy zone morya [Research of features generation of infragravitation waves in the coastal area of the sea]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2013, no. 3, pp. 60–64.
34. Zenkin O.V., Melkiy V.A., Malinnikov V.A. Primenenie sputnikovyykh dannykh MODIS dlya otsenki antropogennykh zagryazneniy vod Okhotskogo morya [Use of MODIS satellite data for the estimation of anthropogenic pollution of the waters of the Okhotsk sea]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 2007, no. 6, pp. 160–166.
35. Zverev A.T., Malinnikov V.A., Milovanova M.S. GIS-obespechenie topograficheskogo monitoringa severnykh territoriy Rossii [GIS software topographic monitoring of the Northern territories of Russia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 2010, no. 5, pp. 55–59.
36. Bondur V.G., Grebenyuk Yu.V. Aerokosmicheskie metody opredeleniya relefa dna v pribrezhnykh zonakh morey i okeanov [Aerospace methods for determination of bottom topography in the coastal zones of Seas and Oceans]. *Atmospheric and Oceanic Physics Earth Observation and Remote Sensing*, 2000, no. 6, pp. 59–73.

Received: 21 November 2015.