

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ СТРУКТУРЫ ДОННОГО СУБСТРАТА ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ MODIS AQUA

С. Л. Шевырев, М. Ж. Хамзикеева, Н. В. Шатров, Я. Е. Тагильцев, Л. А. Сальникова

Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток

Поступила в редакцию 25 февраля 2013 г.

Аннотация. Для реконструкции литодинамических обстановок на дистанционной основе проведен анализ данных космического аппарата Modis Aqua для акватории Татарского пролива. Полученная информация позволила сделать вывод о закономерностях миграции механической взвеси и формирования донного субстрата в сложных гидродинамических условиях.

Ключевые слова: географические информационные системы, дистанционное зондирование, суспензионно-индикационный анализ, структура донного субстрата.

Abstract. The analysis of remote sensing data of Modis Aqua was made for aims of lithodynamic conditions reconstruction on Tartar strait's area of water. The obtained data gave us information about regularities of sediment migration and accumulation in compound hydrodynamic conditions.

Key words: geological information systems, remote sensing, suspension-indicative analysis, structure of the sediment

Введение

Данные дистанционного зондирования шельфовых акваторий, предоставляемые спектрорадиометром Modis спутников Aqua и Terra, являются комплексным источником разнообразной информации о состоянии геосистем моря и суши. Возможность использования материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для целей геологического изучения шельфа представляется весьма привлекательной. Она позволяет удешевить морские экспедиционные работы, сосредоточив их на приоритетных участках, а также связать данные актуалистических наблюдений и ДЗЗ для создания прогнозных карт и схем.

В настоящей публикации рассматривается выраженность на дистанционной основе литодинамических обстановок миграции и накопления осадков на континентальном шельфе Татарского пролива. Ключевой особенностью проводимых исследований является анализ взвесей морской воды, обуславливающих спектральную яркость дистанционного изображения поверхности моря [1, 2]. Перемещение большой массы материала вдоль берега связано с существованием потока наносов, т.е. массового переноса механической взвеси вдоль берега, сохраняющего направление в течение длительного времени [3]. Очевидно, что взвешенная в воде фаза, ее концентрация и диспер-

сность, связаны с потоками миграции вещества в морской среде, твердым стоком рек, течениями и циркуляцией вод, глубиной проникновения волнений, в том числе штормовых, и взмучиванием ими донного субстрата, а также составом последнего. Критерием для обнаружения закономерностей является устойчивость наблюдений на дистанционной основе, а также закономерный отклик видимой картины на изменения среды.

Целью работы является рассмотрение возможности создания на дистанционной основе прогнозной модели миграции наносов в виде механических взвесей и выявления состава донного субстрата шельфа морей анализом их выраженности в материалах ДЗЗ.

Полигон исследований

Для исследования морских потоков миграции механической взвеси, и, соответственно, закономерностей формирования донных осадков был использован участок акватории Татарского пролива, прилегающий к побережью Приморья и Хабаровского края (рис. 1). В физико-географическом отношении пролив примечателен тем, что аккумулирует до 90% льда Японского моря (52% площади Татарского пролива в феврале покрывается льдом) [4]. Интересна схема течений пролива – с северо-востока на юго-запад вдоль континентального побережья водные массы подчинены двум течениям: Шренка и Приморскому. У сахалинского побережья в противоположном направлении действует

© Шевырев С. Л., Хамзикеева М. Ж., Шатров Н. В., Тагильцев Я. Е., Сальникова Л. А., 2013

Цусимское течение [5]. Участок исследований характеризуется интересной, переменчивой гидродинамикой, наличием на побережье известных месторождений, проявлений рудного вещества и магматических образований – источников сноса, морских россыпей в акватории, как современных, так и древних погребенных [6].

Донные осадки, находящиеся к северу от м. Туманный, имеют преимущественно резидуальный характер. Фациальная зональность осадков подчиняется глубине и изрезанности береговой линии: резидуальные галечники распространены от берега примерно до изобаты “50 м”, глубже они сменяются гравийными и псаммитовыми осадками [7].

Геолого-съёмочными работами масштаба 1 : 200 000 и поисковыми работами АО «Дальморгеология» были оконтурены россыпи титаномагнетита на побережье и дне Татарского пролива от м. Крестовоздвиженского до м. Бакланий (см. рис. 1). Россыпи установлены на побережье и дне акватории до глубин 45–50 м и принадлежат к трем типам: пляжевому, бенчевому и древних береговых зон. На глубинах до 150 м они образуют ореолы суммарной площадью до 380 км². Помимо железа, титана и циркония в минералах россыпей присутствуют ванадий, скандий и редкие земли. У мысов Туманный и Золотой в рыхлых отложениях побережья и акватории отмечаются знаковые содержания золота [6].

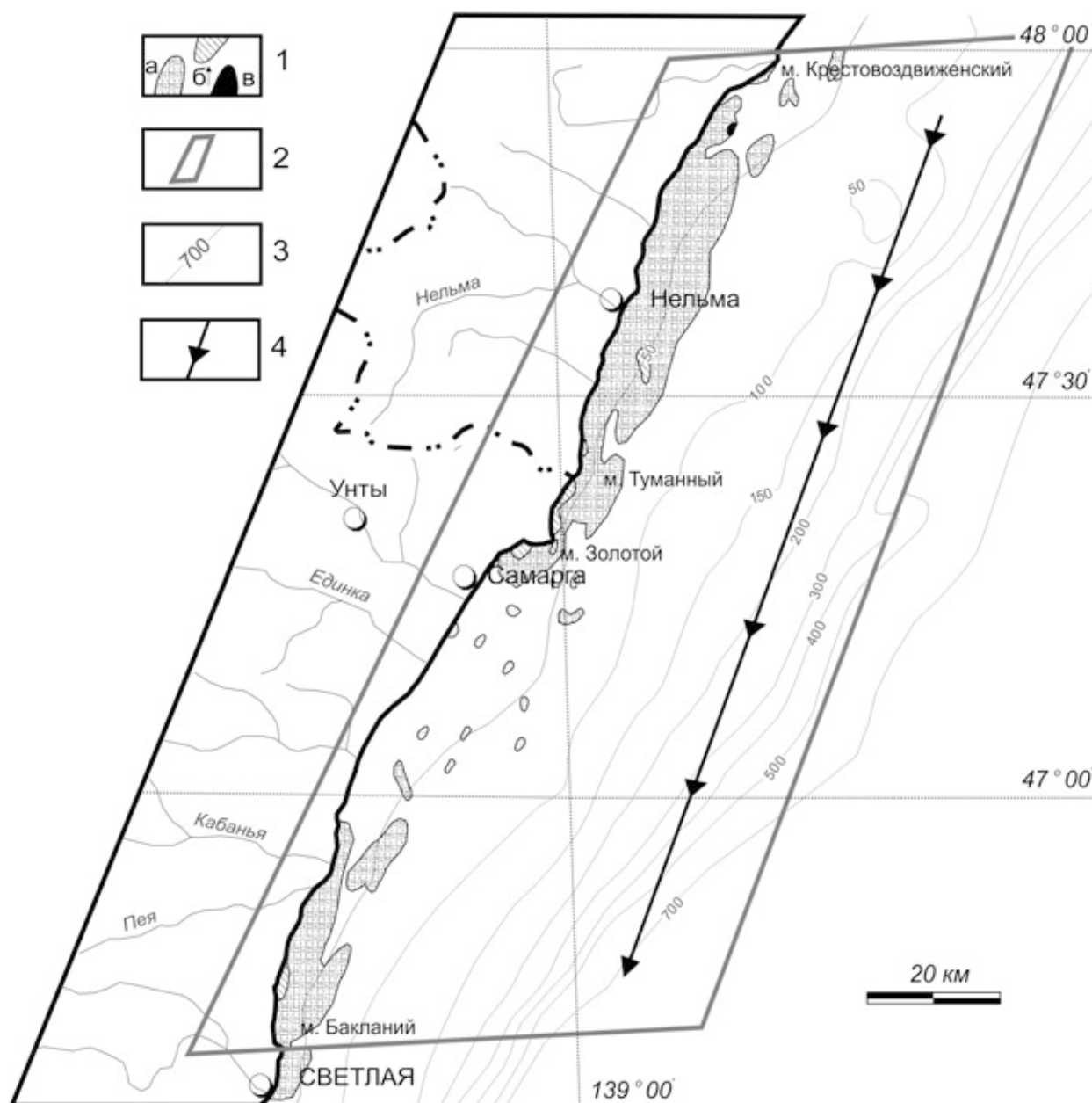


Рис. 1. Местонахождение и характеристика полигона на акватории Татарского пролива. Обозначения: 1 – содержания TiO_2 : а – 0,6–1 %, б – 1–1,4 %, в – >1,4 %; 2 – граница полигона исследований; 3 – изобаты; 4 – направление постоянного течения. С использованием материалов [6]

Методика исследований

По данным спектрометра Modis спутника Aqua оценивалась отражательная способность поверхности акватории. Для оценки ее состояния, прозрачности воды и наличия в ней наносов – взвесей использовались данные R_{rs} (remote sensing reflectance), 1–7 спектральных каналов, а также продукты K_{490} (диффузное затухание) и chl_{a} (содержание хлорофилла а). Исходные данные были получены с сайта проекта NASA OceanColor (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), затем с помощью пакета системы анализа SeaDAS 6.4 для Linux были пересчитаны до 2 уровня обработки с применением средств атмосферной коррекции (SeaDAS 12gen). Использовались данные пространственного разрешения 250 м, 500 м и 1 км.

Опыт зарубежных исследователей свидетельствует о том, что прогноз концентрации материала, взвешенного в воде по материалам ДЗЗ, в ряде случаев, осуществляется экспериментально: путем отбора проб по акватории, измерения концентрации взвесей и оптических характеристик воды. Затем полевые наблюдения сопоставляются с данными ДЗЗ с получением уравнения регрессии – модели, отражающей связь дистанционных параметров среды и её вещественных характеристик (in situ). Качество модели далее оценивалось авторами с помощью коэффициента корреляции [8, 9]. Оправданность применения полученных моделей для определения количественной концентрации взвешенной компоненты других акваторий носит, очевидно, проблематичный характер.

Кроме опыта использования количественной модели разработанной для других акваторий, нами рассматривалось относительное содержание взвешенной компоненты исходя из представлений о выраженности полей частиц определенной дисперсности в различных спектральных каналах. Так, в спектральной зоне 0,5–0,6 мкм прослеживается распределение частиц с радиусами $R \leq 0,03$ мм, в зоне 0,6–0,7 мкм, соответственно, $R \sim 0,04$ мм, в зоне 0,7–0,8 мкм – 0,045 мм. Зона 0,8–1,1 мкм практически не несет полезной информации о наносах [10]. Такое положение позволяет нам использовать продукты Modis $R_{rs 531}$, $R_{rs 645}$ и $R_{rs 748}$ для качественной характеристики распределения частиц определенной дисперсности и направлений их переноса.

Реализация методики

Анализом спектральной яркости изображения акватории с помощью сканирующего спектро-

диометра Modis Aqua, сделаны построения распределения концентраций частиц относительного гранулометрического состава по исследуемой акватории (рис. 2) для снимка, сделанного 20 мая 2005, после схода льда. На рисунке видно, как отличаются отражательная способность акватории севернее мысов Золотой и Туманный и южнее их. Для спектральных каналов 748 нм и 645 нм, соответствующих «алевритовым» частицам, заметно (см. рис. 2в и б) почти полное их отсутствие севернее мыса (почти черные тона), в зоне, совпадающей с наличием титановой россыпи (см. рис. 1). Тонкодисперсные частицы присутствуют на всей акватории почти равномерно, что заметно в канале 531 нм (см. рис. 2а). Отсутствие «алевритовых» взвесей, выраженное в темных тонах изображения севернее м. Золотой и Туманный (см. рис. 2в и б), соответствующее площади развития резидуального субстрата [7] и титановой россыпи, может являться диагностическим признаком литодинамических особенностей субстрата.

Нами предпринимались попытки установить интегральное распределение осадков по акватории с помощью моделей, предложенных [8; 9], использующих эмпирически полученные уравнения линейной регрессии для расчета значений концентрации по наблюдаемой спектральной яркости R_{rs} в каналах Modis. С учетом небольших концентраций взвешенного материала относительно районов исследования, описанных в литературных источниках, адекватный результат в относительных условных единицах удалось получить по уравнению (3), предложенному [8] и показавшему приемлемый результат при определении небольших концентраций взвешенного материала прибрежных вод:

$$TSS = 602,63 * (0,0007e^{47,755 * R_{rs}(645)}) + 3,1481 \quad (1)$$

Здесь TSS – (сокр. «total suspended sediment») – концентрация взвешенного материала (в условных мг/л), $R_{rs}(645)$ – отражение поверхности в спектральном канале 645 нм. Результат применения указанного алгоритма показан (рис. 3). Интерпретация такого, интегрального изображения является сходной с обобщением по отдельным каналам, приведенным на рис. 2. Однако, теряется информация по распределению тонкой взвеси отраженной на поканальном изображении (рис. 2а).

Выводы

Установлен изменчивый характер концентрации взвешенного материала различной дисперс-

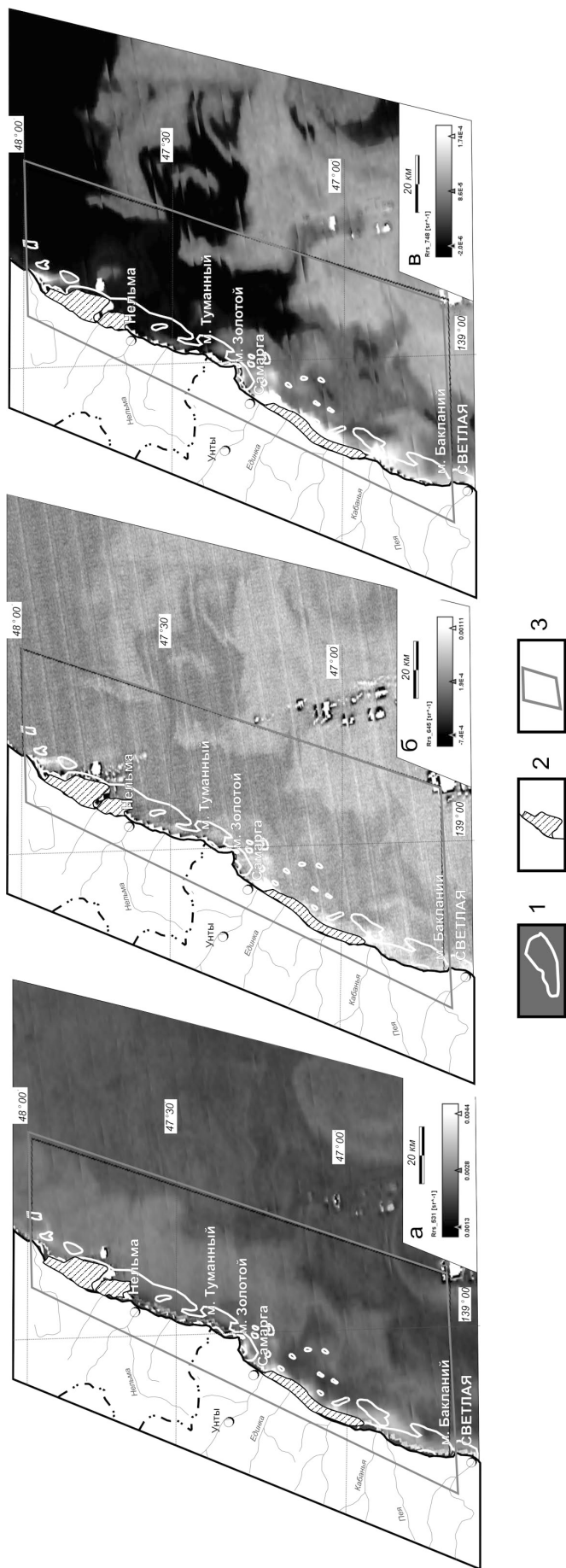


Рис. 2. Отражательная способность акватории полигона в различных спектральных каналах: а – продукт Rrs_531; б – продукт Rrs_645; в – продукт Rrs_748. Обозначения: 1 – граница титановой россыпи, 2 – припай, 3 – граница полигона

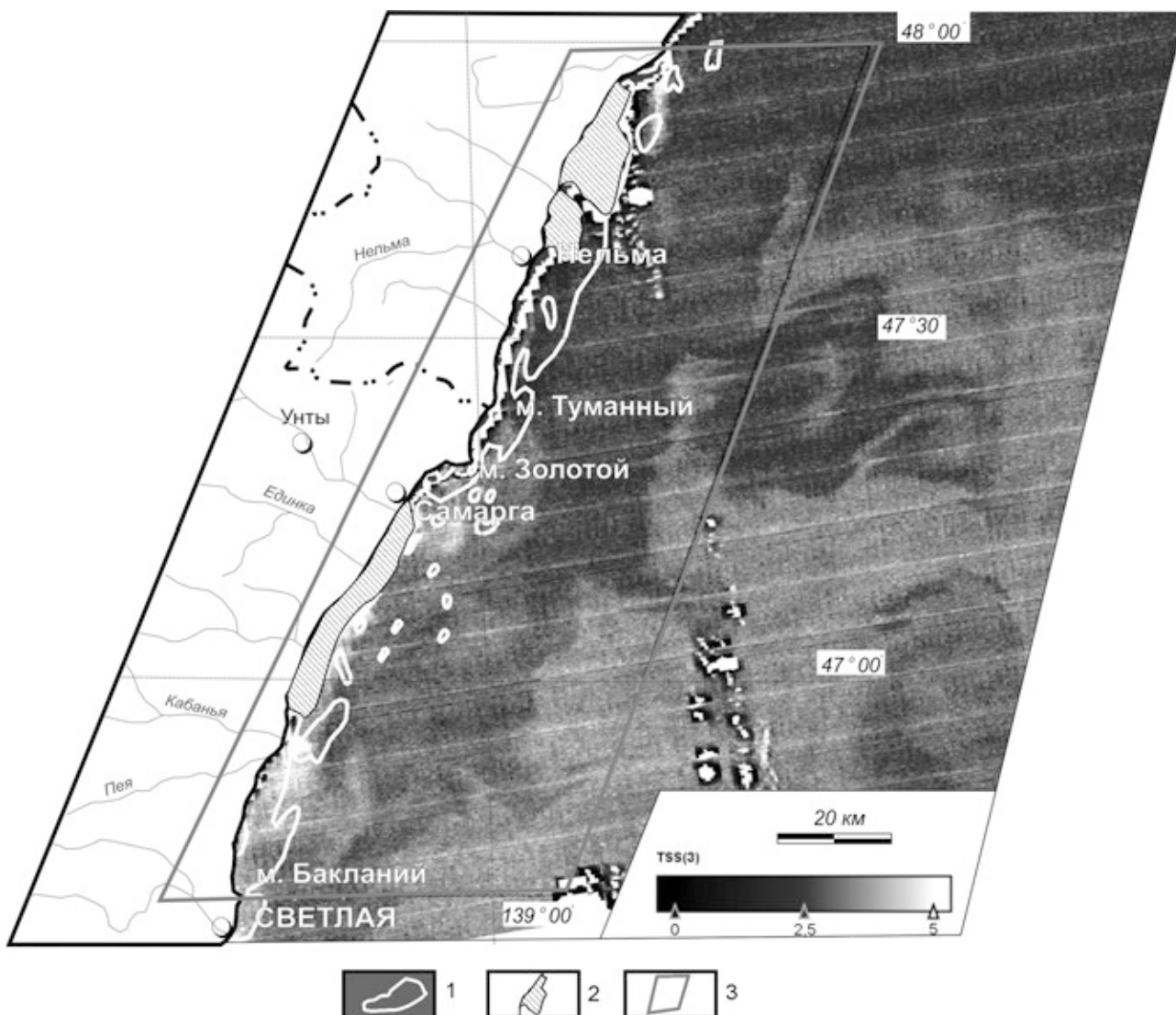


Рис. 3. Расчетное содержание наносов (в условных единицах). Обозначения (см. рис. 2)

ности на акватории Татарского пролива от м. Крестовоздвиженский до м. Бакланий. Фактором, контролирующим распределение терригенного материала в потоках наносов при их перемещении вдоль береговой линии является, по всей видимости, изрезанность последней, наличие мысов – гидродинамических барьеров, а также уклон дна моря. Обогащение осадков минералами титана севернее мыса Туманный связано, по всей видимости, с выносом легкой фазы в условиях активной гидродинамики. Таким образом, намечена связь между отражательной способностью спектральных каналов Modis и донным субстратом. Совершенствование методики дистанционного исследования структуры донного субстрата позволит создать геологические прогнозные модели ресурсов шельфа, как Татарского пролива, так и в целом дальневосточных морей России, способствуя тем самым

оценке их потенциала относительно газообразных, жидких и твердых полезных ископаемых, в том числе углеводородов (включая газогидраты) и россыпей.

Исследование выполнено при поддержке Программы «Научный фонд ДВФУ» (проект 12-05-13000-м-03) и компании British Petroleum.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Введение в океанографию / А. Иванов. – М. : Мир, 1978. – 574 с.
2. Сидько Ф. Я. Оптические методы изучения растительных ценозов суши и моря / Ф. Я. Сидько [и др.] // Исследования Земли из космоса. – 1980. – № 3. – С. 41–50
3. Леонтьев О. К. Геоморфология морских берегов и дна / О. К. Леонтьев. – М. : Изд-во МГУ, 1955. – 380 с.

4. Природопользование, состояние и тенденции изменений морской среды прибрежных районов России в Японском море. Ледовые условия. Информационные ресурсы ТОИ. Океанография, 2010. – URL: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/11/html/4_1_6.html (дата обращения: 28.02.2013).

5. Арзамасцев И. С. Поверхностные течения залива Петра Великого / И. С. Арзамасцев, М. А. Данченков, В. Ф. Мишуков // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. – Владивосток : Изд-во ДВФУ, 2012. – 440 с.

6. Шельфовая область Японского моря. Геология и минералогия / под ред. В. И. Ушакова. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2005. – С. 91–100.

7. Лихт Ф. Р. Литодинамическая дифференциация донных отложений в седиментационных бассейнах разного морфоструктурного типа (на примере Татарского пролива) / Ф. Р. Лихт, А. Н. Деркачев, А. И. Боцул //

Дальневосточный Федеральный университет, Владивосток

*С. Л. Шевырев, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, геофизики и геоэкологии инженерной школы
Тел. 8-924-524-51-72
shevirev@mail.ru*

*М. Ж. Хамзикева, бакалавр, Школа экономики и менеджмента Дальневосточного Федерального университета, Владивосток
mxmj@mail.ru*

*Н. В. Шатров, аспирант, Инженерная школа Дальневосточного Федерального университета, Владивосток
nikolas13@list.ru*

*Я. Е. Тагильцев, студент, Инженерная школа Дальневосточного Федерального Университета, Владивосток
mangus_93@mail.ru*

*Л. А. Сальникова, студент, Инженерная школа Дальневосточного Федерального университета, Владивосток
lidushka_1994@mail.ru*

Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых в окраинных морях. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 8 с.

8. Rodríguez-Guzmán V. Using MODIS 250 m Imagery to Estimate Total Suspended Sediment in a Tropical Open Bay / V. Rodríguez-Guzmán, F. Gilbes-Santaella // INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT Issue 1, Volume 3. – 2009. – P. 36–44.

9. Wong M. S. Modeling of Suspended Solids and Sea Surface Salinity in Hong Kong using Aqua/MODIS Satellite Images / M. S. Wong [et al.] // Korean Journal of Remote Sensing. – 2007. – Vol. 23, № 3. – P. 161–169.

10. Андреев И. Н. Идентификация суспензионных выносов по многозональным космическим снимкам / И. Н. Андреев // Космические методы исследования природной среды. – М., 1977. – С. 33–41.

Far Eastern Federal University, Vladivostok

*S. L. Shevyrev, PhD, senior lecturer of department of geology, geophysics and geoecology, engineering school
Tel. 8-924-524-51-72
shevirev@mail.ru*

*M. Zh. Khamzikeeva, Bachelor of School of Economics and Management, Far Eastern Federal University, Vladivostok
mxmj@mail.ru*

*N. V. Shatrov, Post graduate student of Engineering School, Far Eastern Federal University, Vladivostok
nikolas13@list.ru*

*Ya. E. Tagiltsev, Student of Engineering School, Far Eastern Federal University, Vladivostok
mangus_93@mail.ru*

*L. A. Salnikova, Student of Engineering School, Far Eastern Federal University, Vladivostok
lidushka_1994@mail.ru*