

Методика научных исследований

УДК 551.462:5541.4.012(571.63)

© 2019 г. А.Н. САМЧЕНКО

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА
В ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ
И ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ**

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия
E-mail: samchenco@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 25.01.2018

После доработки 28.06.2018

Принята к печати 19.03.2019

В статье представлены результаты исследования рельефа региона, где расположен гидрофизический полигон ТОИ РАН. Работа базируется на описании морфологии твердой земной поверхности с помощью сингулярного спектрального анализа (ССА) и подкрепляется геолого-геофизическими данными. Дается количественная характеристика генеральных черт рельефа поверхности шельфа и прилегающей суши в двух масштабах рассмотрения. В первом масштабе охвачено все южное Приморье и залив Петра Великого, во втором — большая часть залива Петра Великого и прилегающей с северо-запада суши. Используемый метод анализа рельефа дает возможность выделять различные группы высот (спектральные компоненты в рельефе или т. н. “моды”), вычлняя их среди остальных, и проводить характеристику рельефа на основе дискретных высотных отметок по ЦМР. По геолого-геофизическим данным установлено, что гидрофизический полигон находится на массивном гранитном блоке. С помощью анализа первых (“старших”) мод разложения рельефа изученного района проведено оконтуривание этого блока и, таким образом, обоснован выбор текущего месторасположения полигона.

Ключевые слова: рельеф, сингулярный спектральный анализ, южное Приморье, залив Петра Великого.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019336-45>

**USE OF SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS IN GEOMORPHOLOGICAL
STUDIES IN THE SOUTHERN PRIMORYE AND THE PETER THE GREAT
BAY OF THE SEA OF JAPAN****A.N. SAMCHENKO**

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
E-mail: samchenco@poi.dvo.ru*

Received 25.01.2018

Revised 28.06.2018

Accepted 19.03.2019

Summary

This paper presents the results of geomorphological studies carried out using the singular spectral analysis (SSA) complemented with geological and geophysical data. The SSA method was used to study the topography of the shelf and adjacent land areas in two scales. The large scale study covered the whole territory of the Southern Primorye and the Peter the Great Bay, the small scale — a major part of the Peter the Great Bay and the adjacent land in the northwest–ern direction. This technique of the relief analysis gives an opportunity to select different groups of elevations (modes in the relief), isolating them among the others, and to carry out geomorpho-logical studies based on discrete changes in the relief levels. Based on the geological and geo-physical data, it was determined that the area is located on a massive granite block. By analyzing the first (“older”) modes of the decomposition of the relief of the studied area, contouring of the massive block was carried out, and the choice of the location of the experimental hydrophysical ground was explained.

Keywords: relief, singular spectral analysis, Southern Primorye, Peter the Great Bay.

Введение

В диапазоне низких частот сейсмоакустические поверхностные волны — доминирующий механизм переноса акустической энергии в шельфовой зоне [1]. Изучение инфразвуковых диапазонов распространения звука проводится для прогнозирования и регистрации землетрясений. Регистрация звуковых диапазонов используется при решении гидроакустических и сейсмоакустических задач исследования шельфа. В гидроакустических исследованиях ТОИ РАН на шельфе Японского моря используются низкочастотные излучатели с частотами излучения 15–50 Гц, а в качестве приемной системы используется геодинамический аппаратный комплекс [1–3]. Геодинамический аппаратный комплекс включает автономные гидроакустические станции, широкополосные сейсмографы, GPS/ГЛОНАС-приемники, а также лазерные деформографы. Береговая часть названного оборудования установлена на мысе Шульца (п-ов Гамова). Получаемые при сейсмо- и гидроакустических работах данные в значительной степени зависят от рельефа и геологического строения места. Поэтому геолого-геоморфологический анализ района работ необходимо проводить при интерпретации результатов низкочастотных гидроакустических экспериментов, а также в изучении естественных шумов Земли.

В рельефе шельфа заложена информация о геологическом строении, истории развития и современных морфолитодинамических процессах. Автор работы [4] предложил концепцию, где рельеф представляется как сигнал и, таким образом, может исследоваться при использовании методического аппарата теории обработки сигналов. Данный подход хорошо согласуется с применением сингулярного спектрального анализа (ССА) к изучению рельефа. Методы САА, которые могут применяться для описания форм рельефа разных рангов, приведены в работах [5–8]. Применять двумерный САА в качестве основного метода обработки ЦМР нами было предложено исходя из того, что наблюдается некая устойчивость соотношений между размерами форм рельефа и затраченной энергией (тектонической, либо другой) на их формирование [7]. САА входит в состав более общей группы методов естественных ортогональных функций (ЕОФ).

Методы ЕОФ являются одними из наиболее востребованных инструментов в метеорологии, физике атмосферы и океана [6, 8]. Основная их идея заключается в “расщеплении” исходных полей на пространственные структуры максимальной вариации и “измерении” относительного вклада каждой структуры. Прямая связь между масштабами вариаций и энергетикой рельефообразующих процессов определяет адекватность применяемого математического аппарата. Используются различные математические подходы при исследовании динамики изменения рельефа во времени под действием тех или иных сил и агентов [4, 9, 10]. Достаточно детально методика исследований рельефа с помощью САА описана в работах [11, 12]. В работе [13] был применен метод САА к изучению рельефа залива Петра Великого и прилегающей суши в контексте сопоставления линейных размеров и времени образования тех или иных крупных форм. В настоящей работе тоже использованы результаты обработки рельефа дна залива и прилегающей суши с помощью метода

ССА, расширен охват территории до всего Южного Приморья. Кроме того, приводится обоснование расположения гидрофизического полигона в пределах геологически однородной структуры на основе результатов ССА рельефа и геолого-геофизических данных.

Фактический материал

Работа базируется на нескольких типах данных, в разных аспектах характеризующих рельеф и геологическое строение района исследования. Так, в заливе Петра Великого в 2009–2010 гг. коллективом ученых ТОИ (включая автора этой работы) были проведены детальные батиметрические исследования [12]. Результаты батиметрических измерений сопоставлены с глобальными цифровыми моделями рельефа морского дна NASA (ETOPO1) и GEBCO, полученными на общедоступных веб-ресурсах [14, 15]. В результате обработки и интерполяции данных натурных измерений и доступных цифровых моделей восстановлен рельеф дна залива Петра Великого, в том числе, свала глубин. Данные о рельефе суши получены с открытого веб-ресурса, который обеспечивает доступ к глобальной цифровой модели ASTER [16].

Для дальнейшей математической обработки рельефа цифровые данные переинтерполировались на равномерную сетку, привязанную к географическим координатам, на двух уровнях детальности/дискретизации и пространственного охвата. В случае более мелкого масштаба (рис. 1) ячейка составляла 180×180 м. При более крупном масштабе (пространственный охват показан на рис. 1 наклонным прямоугольником) размер ячейки составлял 90×90 м. Оптимальные параметры детализации рельефа и пространственного охвата были определены с учетом доступной нам вычислительной мощностью компьютера.

В южном Приморье проведено множество геолого-геофизических работ, подробно описано геологическое строение берега и дна залива Петра Великого [17–24]. Также в данной работе использованы материалы геологических карт [25, 26]. Однако знания о глубинном геологическом строении района основаны только на данных геофизических исследований [18, 19], поскольку нет глубоких буровых скважин.



Рис. 1. Карта Южно-Приморского региона, на котором проводился анализ методом ССА (прямоугольником указано место наиболее детальных исследований)

1 — п-ов Муравьева-Амурского, 2 — Амурский залив, 3 — Уссурийский залив, 4 — залив Посыета

Геоморфология района

Южное Приморье граничит с Китайской Народной Республикой и Корейской Народно-Демократической Республикой (рис. 1). Здесь южная часть хребта Сихотэ-Алиня протягивается преимущественно субширотно и спускается в залив Петра Великого, переходя в самый крупный полуостров залива — п-ов Муравьева-Амурского. Хребет Сихотэ-Алиня достигает высот 1000–1700 м, образован в позднем мелу — раннем палеогене активным внедрением магм и вулканическими извержениями. Западнее простираются ряд средне- и низкогорных массивов высотой до 1000 м параллельно хребту Сихотэ-Алиня. Между горными образованиями расположена Верхнеуссурийская депрессия, оформившаяся в кайнозойское время. Восточно-Маньчжурская горная область заходит на территорию Южного Приморья со стороны КНР лишь своими восточными отрогами. Это низкогорные глыбовые хребты Пограничный, Черные Горы и Борисовское плато базальтов.

Залив Петра Великого — самый большой залив Японского моря с площадью 55 600 км². В его пределах имеется множество островов и отдельных выступающих из воды скал. Полуостров Муравьева-Амурского делит акваторию залива Петра Великого на две большие части — Амурский и Уссурийский заливы. Продолжением п-ова Муравьева-Амурского являются крупные острова: Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда, архипелаг Римского-Корсакова. В залив впадает несколько рек (Туманная, Раздольная) и много мелких речек и ручьев. Устьевые части многих рек в недавнем геологическом прошлом были затоплены морем, в результате чего здесь образовалось несколько заливов второго порядка — Амурский, Уссурийский, Восток, Америка. Подобное происхождение имеет и юго-западный залив Посьета.

Амурский залив неглубокий, с глубинами в центральной части до 35 м, вследствие того, что впадающая в него р. Раздольная формирует здесь свой конус выноса. Уссурийский залив более глубоководный, с глубинами до 65 м. В центральной части залива Петра Великого глубины варьируют от 100 до 300 м, затем шельф переходит в резкий свал глубин, где на протяжении порядка 10 км глубина нарастает с 400–500 м до 2500–3000 м.

Результаты и их обсуждение

Применение используемого в работе метода — ССА — осуществляется в два этапа. Первый этап: декомпозиция или разложение поверхности на компоненты — моды. Каждая мода имеет свои высотные характеристики, зависящие от выбранного масштаба и разности между минимальным и максимальным значениями высот рельефа выделенного участка. Первая или “старшая” мода отражает основные тенденции в рельефе, по мере увеличения порядкового номера моды увеличивается и детализация. Однако если брать отдельно моду с высоким порядковым номером, то она будет показывать только определенные высотные характеристики, за вычетом всех остальных.

Применительно к исследуемым участкам методом ССА были рассчитаны 41 мода. На этапе декомпозиции формируется специальная траекторная матрица, для этого с помощью окна скользящего среднего выполняется векторизация двумерной матрицы в четырехмерное пространство. Для окна скользящего среднего выбраны параметры $n = 2$, $m = 2$.

Суммирование мод является вторым этапом — реконструкцией. Сложение всех 41 мод будет полностью отражать рельеф местности. Необходимо отметить, что суммарный вклад уже первых десяти мод в полную вариацию составил 0.96. Первая мода на большем территориальном охвате описывает перепад высот более 4500 м, на меньшем территориальном охвате 3000 м. Вторая, третья и четвертая моды на большем территориальном охвате описывают перепад высот — 100 м, на меньшем территориальном охвате — 60 м.

На рис. 2 показаны результаты расчета 8 первых (старших) мод Южного Приморья. Белым цветом указаны районы с глубинами 0–300 м. Градиент серого указывает на высотные характеристики на суше до максимального значения 1850 м, и в море до глубин более 2500 м. На рис. 1 четко прослеживаются несколько крупных структур: хребет Сихотэ-Алиня, протягивающийся с северо-востока на юг Приморья, Восточно-Маньчжурская горная система на юге Приморья и северо-востоке Китая. На рис. 2 отмечена

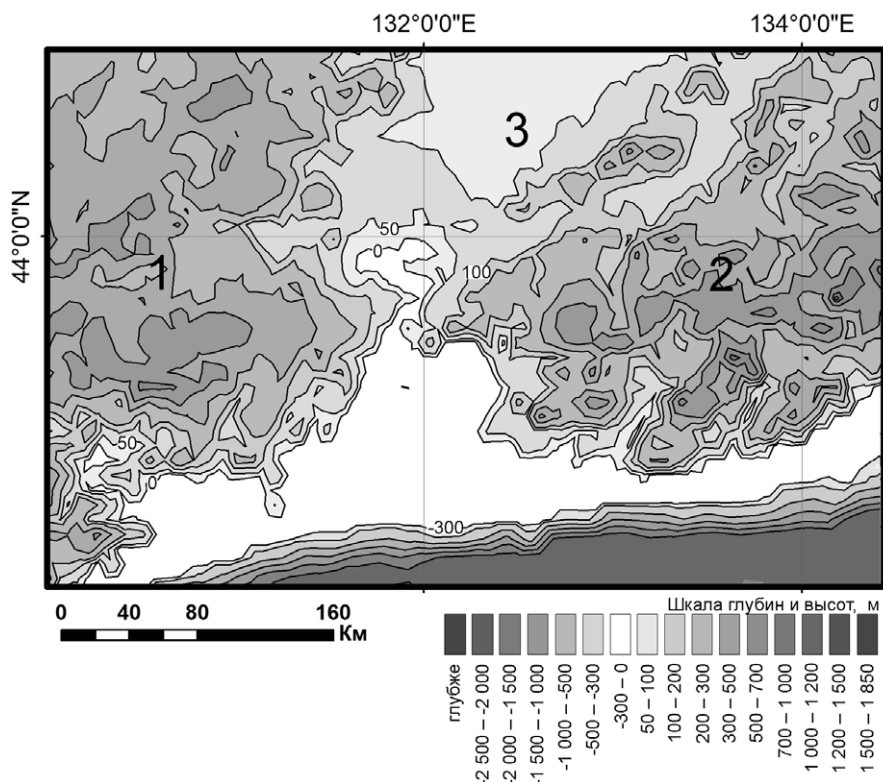


Рис. 2. Восстановленный рельеф исследуемого региона на основе первых 8 мод, полученных методом ССА

1 — Восточно-Маньчжурская горная область, 2 — хребет Сихотэ-Алиня, 3 — Уссури-Ханкайская равнина

Уссури-Ханкайская равнина, расположенная между двух горных областей. Здесь расположена долина р. Раздольной, впадающей в залив Петра Великого. Сам залив оканчивается свалом глубин, контур бровки которого повторяет форму береговой линии.

Горный хребет Сихотэ-Алиня вследствие длительной переработки различными (преимущественно, эрозионными) процессами характеризуется значительными показателями глубины и густоты расчленения. Восточно-Маньчжурская горная область на рис. 2 выделяется как высотное плато с отдельными пиками. Высшей точкой Восточно-Маньчжурской горной области на исследуемом участке является гора Сэньлиньшань (1498 м).

При изучении математическими методами форм рельефа с относительно малыми линейными размерами (мезо- и микрорельеф), находящихся, кроме того на границе суши и моря, проявляется ряд проблем. Субаэральный рельеф суши и субаквальный рельеф дна акваторий, формирующиеся в принципиально различных морфо- и литодинамических условиях, не могут полностью корректно быть описаны сингулярными спектрами одновременно. Тектоническое воздымание и складкообразование, экзогенная переработка горного рельефа на суше приводят к формированию сложных, “высокочастотных” морфологических черт земной поверхности. В то время как на дне моря преобладают плавные формы, обусловленные особым гидродинамическим воздействием на рельеф. Пример таких форм, не имеющих сухопутных “аналогов” в районе исследования — большой протяженностью валы высотой 10–20 м, шириной до нескольких км образованные приливами и отливами, а также т. н. осадочные волны [27]. Протяженность данных структур в заливе Петра Великого может достигать 40 км. Расположены они в централь-

ной части залива с глубинами 40–100 м и огибают всю береговую черту. Подводный вал и осадочные волны, расположенные в заливе Посъета подробно рассмотрены в работе [12], где исследовался микрорельеф на основе батиметрической съемки.

Чтобы оценить более точно геолого-геоморфологическую позицию гидрофизического комплекса, было проведено математическое моделирование методом ССА в более крупном масштабе (при меньшем территориальном охвате). На рис. 1 область применения метода ССА выделена наклонным прямоугольником. На рис. 3 показан реконструированный рельеф части залива Петра Великого (залив Посъета и Амурский залив) и части Восточно-Маньчжурской горной области (Западно-Приморская складчатая зона), полученный с помощью суммирования 41 моды. Расположение гидрофизического полигона указано стрелкой.

На западном обрамлении Амурского залива и залива Посъета, где более детально проведено моделирование рельефа методом ССА, растянулись гряды кайнозойских вулcano-тектонических структур. Комплекс измерительных приборов расположен на “острие” Западно-Приморской складчатой зоны позднепалеозойской стабилизации с ее главными антиклинальными поднятиями — Барабашевским и Хасанским, ограниченными западными берегами Амурского залива [26]. Западно-Приморская складчатая зона сложена гранитами, диоритами и габбро [25]. Барабашевское антиклинальное поднятие отчетливо видно на рис. 4 — это крупный цельный блок, выделяющийся в центре рисунка, вклинивающийся острием в шельф залива Петра Великого. В подводной части Барабашевское поднятие продолжается в виде Гамовской антиклинали (рис. 5). По геофизическим данным Гамовская антиклиналь протягивается на 15 км, постепенно погружаясь до материкового склона, с юга ограничена Туманганской синклиальной зоной, с северо-востока Раздольнинским синклиальным прогибом, к структурному продолжению которого приурочен Амурский залив. Гранитный блок Гамовской антиклинали по данным гравиразведки имеет мощность порядка 10 км [19]. По данным сейсморазведки мощность осадочной толщи в Туманганской синклинарной зоне достигает 900 м [24]. Все прогибы имеют СВ ориентировку и контролируются системой сбросо-сдвигов субмеридионального и СВ простирания.

Таким образом, гидрофизический полигон расположен на гранитном блоке большой мощности, “острие” которого направлено на ЮВ. Зафиксированы два крупных разлома,



Рис. 3. Рельеф залива Петра Великого и прилегающей суши
Стрелкой указано расположение гидрофизического полигона

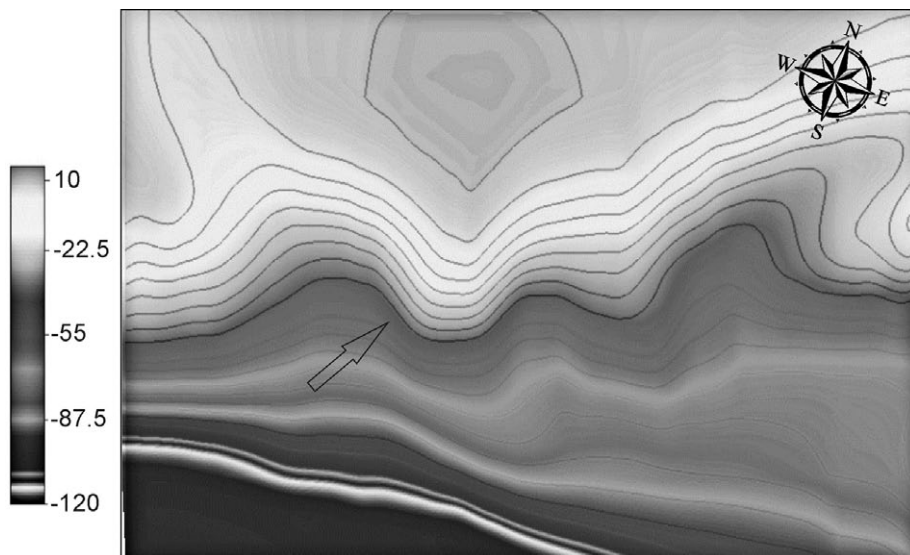


Рис. 4. Реконструкция модели рельефа для первой моды разложения. Изолинии и тональное выделение рельефа в диапазоне высот, характерных шельфовой области. Стрелкой указано положение гидрофизического полигона

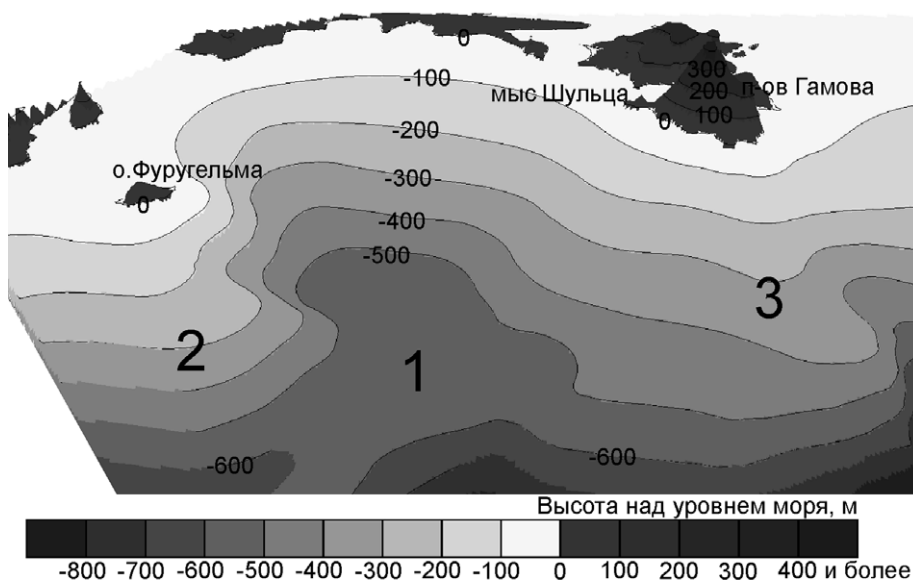


Рис. 5. 3D-реконструкция поверхности акустического фундамента (гранитный и базальтовые слои) по данным геофизических исследований в заливе Посыета
 Тектонические структуры: 1 — Туманганская синклиналичная зона, 2 — антиклиналь Клерка, 3 — Гамовская антиклиналь

влияющих на распространение звука вблизи гидрофизического полигона, и несколько более мелких [25, 26]. Западно-Приморский разлом, направленный с севера на юг вдоль границы Приморского края с КНР по территории Южного Приморья, проходит севернее п-ова Гамова в открытую часть залива Петра Великого (рис. 1). Уссурийский разлом

направлен с северо-востока на юго-запад, расположен вдоль береговой черты пересекая основание п-ова Гамова. Ряд более мелких разломов повторяют направление региональных со смещением на ССЗ.

Заключение

В настоящей работе продемонстрировано применение новой, достаточно общей методики цифрового анализа рельефа с использованием ССА. Обработка рельефа на основе таких алгоритмов встречается достаточно редко и в основном носит характер иллюстраций математических методов. В данном случае внимание перенесено на возможности и практику морфометрического анализа. Анализ рельефа и геологической обстановки имеет прикладной характер в позиционировании стационарных систем регистрации акустических и сейсмических волн. Показано, что гидрофизический полигон ТОИ, расположенный на массивном гранитном блоке, имеет выгодную структурно-геологическую позицию, поскольку упрощается решение обратной задачи в интерпретации акустических экспериментальных работ и исследовании шумов Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгих Г. И., Чупин В. А. Экспериментальная оценка преобразования гидроакустического излучения в сейсмическую волну // Акустический журнал. 2005. Т. 51. № 5. С. 628-632.
2. Долгих Г. И., Долгих С. Г., Пивоваров А. А., Самченко А. Н., Швырёв А. Н., Чупин В. А., Яковенко С. В., Ярошук И. О. Излучающая гидроакустическая система на частотах 19-26 Гц // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 4. С. 137-141.
3. Леонтьев А. П., Ярошук И. О., Смирнов С. В., Кошелева А. В., Пивоваров А. А., Самченко А. Н., Швырёв А. Н. Пространственно-распределенный измерительный комплекс для мониторинга гидрофизических процессов на океаническом шельфе // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 1. С. 128-135.
4. Девдариани А. С. Математический анализ в геоморфологии / Под ред. В. В. Лонгинова. М.: Недра, 1967. 156 с.
5. Глуховский А. Б., Фортус М. И. Оценка статистической надежности эмпирических ортогональных функций // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Т. 18. № 5. С. 451-459.
6. Черников А. Г., Либина Н. В. Использование марковской гипсометрографии при геологических исследованиях в океанологии // Океанология. 2011. Т. 51. № 3. С. 561-565.
7. Golyandina N. E., Usevich K. D., and Florinsky I. V. Filtering of Digital Terrain Models by Two Dimensional Singular Spectrum Analysis // International Journal of Ecology & Development. 2007. Vol. 8. No. F07. P. 81-94.
8. Navarra A. and Simoncini V. A Guide to Empirical Orthogonal Functions for Climate Data Analysis. Springer, 2010. 152 p.
9. Казанский Б. А. Батиметрия морей Западно-Тихоокеанской переходной зоны по цифровым данным ЕТОРО 2 // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 3. С. 56-64.
10. Казанский Б. А. Прямой расчет потенциальной энергии рельефа поверхности земли по цифровым данным // Физика Земли. 2005. № 12. С. 72-75.
11. Коротченко Р. А., Самченко А. Н., Ярошук И. О. Применение многомерного ЕОФ-анализа в геоинформатике // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 3. С. 17-20.
12. Коротченко Р. А., Самченко А. Н., Ярошук И. О. Применение статистических методов в изучении рельефа шельфовой зоны на примере залива Посёта Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2011. № 6. С. 54-59.
13. Коротченко Р. А., Самченко А. Н., Ярошук И. О. Пространственно-временной анализ геоморфологии океанического дна залива Петра Великого Японского моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 538-545.
14. GEBCO Gridded Bathymetry Data [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data. Дата обращения: 25.01.2018.
15. ETOPO1 Global Relief | NCEI [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>. Дата обращения: 25.01.2018.
16. ASTER Global Digital Elevation Map [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Дата обращения: 25.01.2018.

17. Карнаух В. Н., Карп Б. Я., Цой И. Б. Структура фундамента и сейсмостратиграфия осадочно-го чехла северной части Японской котловины в районе возвышенности Тарасова (Японское море) // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 5. С. 742-755.
18. Кулинич Р. Г., Строев П. А. О строении земной коры в юго-западной части Приморского шельфа и континентального склона // *Океанологические исследования*. 1973. № 23. С. 97-101.
19. Кулинич Р. Г., Валитов М. Г. Мощност и типы земной коры Японского моря по данным морской и спутниковой гравиметрии // *Тихоокеанская геология*. 2011. Т. 30. № 6. С. 3-13.
20. Липкина М. И. Типы пород неогеновых отложений материкового склона Японского моря у берегов Южного Приморья // *Геология окраинных морей Тихого океана*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 46-60.
21. Лихт Ф. Р., Астахов А. С., Боцул А. И., Деркачев А. Н., Дударев О. В., Марков Ю. Д., Уткин И. В. Структура осадков и фаций Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 286 с.
22. Марков Ю. Д. Южноприморский шельф Японского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 128 с.
23. Марков Ю. Д., Тарышкина М. П. Состав и некоторые физические свойства четвертичных и неогеновых отложений континентального склона залива Петра Великого // *Вопросы геологии дна Японского моря*. Владивосток: Тихоокеан. отд-ние Ин-та океанологии, 1973. С. 129-134.
24. Отчет о НИР "Оценка перспектив на нефтегазоносности нераспределенных акваторий Дальневосточных морей и их конкретных участков на основе современных технологий сбора, обработки геофизических данных и моделирования нефтегазоносных систем". ГК № 16.420/2011-ДМНГ-2. С. 100-118.
25. Белянский Г. С., Рыбалко В. И., Сясько А. А. и др. Геологическая карта Приморского края. Масштаб 1:1 000 000 / Ред. Бажанов В. А., Олейник Ю. Н. ФГУП «ВСЕГЕИ», 2007.
26. Сясько А. А., Кутуб-Заде Т. К., Короткий А. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации, серия Ханкайская 2-е изд. Листы К-52-XII, К-52-XVIII, м-6 1:200 000 / ред. Коваленко С. В. Владивосток: Гл. упр. природ. ресурсов и охраны окружающей среды по Прим. Краю ФГУП, 2002.
27. Долгих Г. И., Новотрясов В. В., Самченко А. Н., Ярощук И. О. Об одном механизме образования осадочных волн на шельфе Японского моря // *ДАН*. 2015. Т. 465. № 5. С. 593-597.

REFERENCES

1. Dolgikh G. I. and Chupin V. A. *Ekspierimental'naya ocenka preobrazovaniya gidroakusticheskogo izlucheniya v sejsmicheskuyu volnu* (Experimental evaluation of the conversion of hydroacoustic radiation into a seismic wave). *Akusticheskij zhurnal*. 2005. Vol. 51. No. 5. P. 538-542. (in Russ.)
2. Dolgikh G. I., Dolgikh S. G., Pivovarov A. A., Samchenko A. N., Shvyryov A. N., Chupin V. A., Yakovenko S. V., Yaroshchuk I. O. *Izluhayushchaya gidroakusticheskaya sistema na chastotah 19-26 Gc* (Radiating hydroacoustic system at frequencies of 19-26 Hz.) *Pribery i tekhnika eksperimenta*. 2017. Vol. 60. Is. 4. P. 596-599. (in Russ.)
3. Leontyev A. P., Yaroshchuk I. O., Smirnov S. V., Kosheleva A. V., Pivovarov A. A., Samchenko A. N., Shvyryov A. N. *Prostranstvenno-raspredeleennyj izmeritel'nyj kompleks dlya monitoringa gidrofizicheskikh processov na okeanicheskom shel'fe* (Spatially distributed measuring system for monitoring hydrophysical processes of the ocean shelf). *Pribery i tekhnika eksperimenta*. 2017. Vol. 60. No. 1. P. 130-136. (in Russ.)
4. Devdariani A. S. *Matematicheskij analiz v geomorfologii* (Mathematical analysis in geomorphology). V. V. Longinov. Ed. Moscow: Nedra (Publ.), 1967. 156 p. (in Russ.)
5. Glukhovskii A. B. and Fortus M. I. *Ocenka statisticheskoy nadezhnosti empiricheskikh ortogonal'nykh funktsij* (Evaluation of the statistical reliability of empirical orthogonal functions). *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Atmos. Okeana*. 1982. 18 (5). P. 451-459. (in Russ.)
6. Chernikov A. G. and Libina N. V. *Ispol'zovanie markovskoy gipsotomografii pri geologicheskikh issledovaniyah v okeanologii* (The use of Markov hypsotomography for geological research in oceanology). *Okeanologiya*. 2011. Vol. 51. No. 3. P. 561-565. (in Russ.)
7. Golyandina N. E., Usevich K. D., and Florinsky I. V. Filtering of Digital Terrain Models by Two Dimensional Singular Spectrum Analysis. *International Journal of Ecology & Development*. 2007. Vol. 8. No. F07. P. 81-94. (in Russ.)
8. Navarra A. and Simoncini V. *A Guide to Empirical Orthogonal Functions for Climate Data Analysis*. Springer, 2010. 152 p.
9. Kazanskii B. A. *Batimetriya morej Zapadno-Tihookeanskoj perekhodnoj zony po cifrovym dannym ETOPO 2* (Bathymetry of the seas of the west pacific transition zone from the ETOPO 2 digital data). *Tihookeanskaya geologiya*. 2007. Vol. 1. No. 3. P. 249-256. (in Russ.)

10. Kazansky B. A. *Pryamoj raschet potencial'noj energii rel'efa poverhnosti zemli po cifrovym dannym* (Direct calculation of the Earth's topography-related potential energy from digital data). *Izvestiya fiziki Zemli*. 2005. Vol. 41. No. 12. P. 1023-1026. (in Russ.)
11. Korotchenko R. A., Samchenko A. N., and Yaroshchuk I. O. *Primenenie mnogomernogo EOF-analiza v geoinformatike* (Application of multidimensional EOF analysis in geoinformatics). *Tsifrovaya obrabotka signalov*. 2013. No. 3. P. 17-20. (in Russ.)
12. Korotchenko R. A., Samchenko A. N., and Yaroshchuk I. O. *Primenenie statisticheskikh metodov v izuchenii rel'efa shel'fovoy zony na primere zaliva Pos'eta Yaponskogo morya* (The use of statistical methods in the study of the relief of the shelf zone on the example of Posiet Bay, the Sea of Japan). *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk (Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences)*. 2011. No. 6. P. 54-59. (in Russ.)
13. Korotchenko R. A., Samchenko A. N., and Yaroshchuk I. O. *Prostranstvenno-vremennoj analiz geomorfologii okeanicheskogo dna zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya* (Spatiotemporal analysis of the sea bottom geomorphology of Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Okeanologiya*. 2014. Vol. 54. No. 4. P. 497-504. (in Russ.)
14. GEBCO Gridded Bathymetry Data [Electronic resource]. Access mode: URL: http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data. Appeal date: 01/25/2018.
15. ETOPO1 Global Relief [NCEI [Electronic resource]. Access mode: URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>. Appeal date: 25.01.2018.
16. ASTER Global Digital Elevation Map [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Appeal date: 25.01.2018.
17. Karnaukh V. N., Karp B. Ya., and Tsoy I. B. *Struktura fundamenta i sejsmostratigrafiya osadochnogo chekhla severnoj chasti Yaponskoj kotloviny v rajone vozvysshennosti Tarasova (Yaponskoe more)* (Basement structure and sedimentary cover seismostratigraphy of the northern part of the Japan basin in the area of the Tarasov Rise (Sea of Japan)). *Okeanologiya*. 2007. Vol. 47. No. 5. P. 691-704. (in Russ.)
18. Kulnich R. G. and Stroyev P. A. *O stroenii zemnoj kory v yugo-zapadnoj chasti Primorskogo shel'fa i kontinental'nogo sklona* (On the structure of the earth's crust of the southwestern part of the Primorsky shelf and the continental slope). *Okeanologicheskie issledovaniya*. 1973. No. 23. P. 97-101. (in Russ.)
19. Kulnich R. G. and Valitov M. G. *Moshchnost' i tipy zemnoj kory Yaponskogo morya po dannym morskoy i sputnikovoy gravimetrii* (Thickness and types of the earth's crust of the Sea of Japan inferred from marine and satellite gravimetric investigations). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2011. Vol. 5. No. 6. P. 481-491. (in Russ.)
20. Lipkina M. I. *Tipy porod neogenovykh otlozheniy materikovogo sklona Yaponskogo morya i beregov Yuzhnogo Primor'ya. Geologiya okrainnykh morey Tikhogo okeana*. (Types of Neogene sediments of the continental slope of the Sea of Japan and of the coast of the Southern Primorye. Geology of the Pacific Ocean marginal seas). Vladivostok: DVNTS AN SSSR (Publ.), 1975. P. 46-60. (in Russ.)
21. Likht F. R., Astakhov A. S., Botsul A. I. et al. *Struktura osadkov i fatsiy Yaponskogo morya* (Structure of sediments and facies of the Sea of Japan). Vladivostok: DVNTS AN SSSR (Publ.), 1983. 286 p. (in Russ.)
22. Markov Yu. D. *Yuzhno-Primorskiy shel'f Yaponskogo morya v pozdnem pleystotsene i golotsene* (Southern Primorye Shelf of the Sea of Japan in the Late Pleistocene and Holocene). Vladivostok: DVNTS AN SSSR (Publ.), 1983. 128 p. (in Russ.)
23. Markov Yu. D. and Tarishkina M. P. *Sostav i nekotoryye fizicheskiye svoystva chetvertichnykh i neogenovykh otlozheniy kontinental'nogo sklona zaliva Petra Velikogo. Voprosy geologii dna Yaponskogo morya*. (Composition and some physical properties of Quaternary and Neogene deposits of the continental slope of Peter the Great Bay. Geology issues of the Sea of Japan bottom). Vladivostok: DVNTS AN SSSR (Publ.), 1973. P. 129-134. (in Russ.)
24. *Otsenka perspektiv na neftegazonosnosti neraspredelennykh akvatoriy Dal'nevostochnykh morey i ikh konkretnykh uchastkov na osnove sovremennykh tekhnologiy sbora, obrabotki geofizicheskikh dannykh i modelirovaniya neftegazonosnykh* (Estimation of prospects for the oil and gas potential of unallocated water areas of the Far Eastern seas and their specific areas based on modern technologies for collecting, processing geophysical data and modeling oil and gas bearing systems). Research report, GK No. 16.420/2011-DMNG-2, P. 100-118. (in Russ.)
25. Belyanskii G. S., Rybalko V. I., Syasko A. A., et al. *Geologicheskaya karta Primorskogo kraya* (Geological map of the Primorsky Region). Scale 1:1 000 000 Bazhanov V. A., Oleinik Yu. N. Ed. Vladivostok: VSEGEI (Publ.), 2007. (in Russ.)
26. Syasko A. A., Kutub-Zade T. K., and Korotky A. M. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, seriya Khankayskaya* (State Geological Map of the Russian Federation, Khankai Series). 2 nd ed. Sheets K-52-XII, K-52-XVIII, m-b 1:200 000. Kovalenko S. V. Ed. Vladivostok: FGUP (Publ.), 2002. (in Russ.)
27. Dolgikh G. I., Novotryasov V. V., Samchenko A. N., and Yaroshchuk I. O. *Ob odnom mekhanizme obrazovaniya osadochnykh voln na shel'fe Yaponskogo morya* (On a mechanism for the formation of sedimentary waves of the shelf of the Sea of Japan). *Doklady Akademii Nauk*. 2015. Vol. 465. Part 2. P. 1278-1282. (in Russ.)