СХЕМЫ ИЗОБАЗ ПОДНЯТИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ФЕННОСКАНДИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 10000 ЛЕТ

Толстобров Д.С., Колька В.В.

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, tolstobrov@geoksc.apatity.ru

Аннотация

На основании данных об амплитуде поднятия, полученных при изучении донных осадков изолированных котловин Кольского региона и соседних территорий, были построены новые схемы изобаз. Оценивалось поднятие за последние 10000 календарных лет. Для построения схем изобаз поднятия были использованы интерполяционные («триангуляция с линейной интерполяцией», «метод естественной окрестности», «метод локальных полиномов») и геостатистические («Кригинг») методы. Сопоставление новых схем с ранее известной показало, что при данном количестве данных наиболее приемлемым методом моделирования схем изобаз поднятия является «Кригинг».

Summary

Based on data of the uplift, obtained from the study of bottom sediments of isolated basins in Kola region and adjacent territories, new schemes of uplift isobases were constructed. Estimated uplift over the last 10,000 calendar years. Interpolation («Triangulation with Linear Interpolation», «Natural Neighbor», «Local Polynomial») and geostatistical («Kriging») methods were used to construct the scheme of uplift isobases. A comparison of the constructed schemes with the known one showed that «Kriging» is the most appropriate method for modeling with a given amount of data.

Введение

После деградации последнего оледенения в конце плейстоцена территория северо-востока Фенноскандии испытывает поднятие, затухающее во времени. Ранее для определения поднятия изучались древние береговые образования (береговые валы, террасы и др.). При этом численный возраст береговых форм рельефа получить было сложно, а порой и невозможно. Поэтому корреляция разновозрастных береговых форм в разных частях побережья была затруднительной, что привело к различным интерпретациям амплитуды и характера поднятия, а следовательно, и к появлению различающихся между собой схем изобаз позднеледникового и голоценового поднятия северо-востока Фенноскандии. С конца XX века на территории Кольского региона для определения поднятия земной поверхности стал применяться метод изолированных бассейнов [1, 2, 9, 12 и др.]. Данный метод позволяет для каждого небольшого района исследования наиболее точно определить амплитуду и характер поднятия земной поверхности и, соответственно, перемещение береговой линии моря. На основании этих данных была построена схема изобаз поднятия земной поверхности северо-восточной части Фенноскандии (рис. 1 а), свидетельствующая о куполообразном поднятии территории. В данной работе на основании уже известных и новых данных, полученных методом изолированных бассейнов, выполнено компьютерное

моделирование различными методами схем изобаз поднятия земной поверхности северо-восточной части Фенноскандии за последние 10000 лет и проведено их сопоставление со схемой, представленной на рис. 1 а.

Рис. 1. Схема изобаз раннеголоценового поднятия земной поверхности на северо-востоке Фенноскандии (а) [7]. Район исследования, для которого выполнено компьютерное моделирование схем изобаз поднятия за последние 10000 лет (б). Цифрами в красных прямоугольниках показаны приведенные в таблице районы, для которых установлен характер и амплитуда поднятия земной поверхности.

Материалы и методы моделирования

Для построения изобаз поднятия земной поверхности были использованы данные, полученные методом изолированных бассейнов на территории Кольского региона, Карелии, а также Северной Норвегии. На рис. 1 б показаны районы, для которых выполнены работы по изучению перемещения береговой линии моря, и где установлены амплитуда и характер поднятия земной поверхности в голоцене. Данные об амплитуде поднятия земной поверхности за 10000 лет для каждого района приведены в таблице. Моделирование схем изобаз поднятия выполнялось в программе «Surfer».

Было выполнено построение схем изобаз различными интерполяционными и геостатистическими методами для дальнейшего сопоставления их с уже известной схемой изобаз и выявления наиболее приемлемых результатов моделирования. При построении схем анизотропия данных не учитывалась. Для построения схем изобаз поднятия было использовано несколько методов, описанных в работе Мальцева и Мухарамова [6]:

1) Метод «триангуляция с линейной интерполяцией» – «Triangulation with Linear Interpolation». Метод использует алгоритм построения триангуляции Делоне – разбиения области исследования на совокупность треугольников. Вершинами треугольников являются соседние точки выборки; точки

соединяются таким образом, что рёбра треугольников не пересекаются. Триангуляция является точным интерполяционным методом;

2) Метод «естественной окрестности» – «Natural Neighbor». Метод позволяет получать хорошие изолинейные карты по наборам данных, содержащим скопления выборочных точек в одних подобластях исследуемой территории и разреженные выборочные точки в других подобластях. Получаемая в произвольной точке оценка Z всегда будет заключаться в пределах диапазона значений в ближайших точках. В построенной модели не будет «пиков», «ям», «хребтов», «долин», которые не были бы представлены исходными данными. Метод является точным интерполятором;

3) метод «локальных полиномов» – «Local Polynomial». Этот метод оценивает зависимость пространственной переменной Z от координат X , Y , при этом использует кусочно-полиномиальное интерполирование. Он строит полиномиальную регрессию Z на X , Y по данным, попавшим в поисковый эллипс с центром в заданной точке области исследования, получая, таким образом, полиномиальное приближение в локальной окрестности этой точки;

Таблица. Данные для моделирования схем изобаз поднятия земной поверхности северо-востока Фенноскандии за последние 10000 калиброванных лет.

№	Район	Координаты		Амплитуда поднятия, м	Источник
		Е	N		
1	Нордкин	27.25	70.92	13.2	[13]
2	Варангерфьорд	28.94	70.08	42	[12]
3	Никель	30.19	69.64	60	[10]
4	Полярный	33.40	69.19	36	[11]
5	Териберка	35.13	69.17	15	неопубликованные данные
6	Дальние Зеленцы	36.02	69.11	14	[14]
7	Кола	33.01	68.88	46.5	[8, 9]
8	Верхнетуломск	31.83	68.70	65	[8, 9]
9	Лотта (устье)	30.39	68.73	101.3	[8]
10	Лотта (среднее)	29.61	68.62	115	[8]
11	Кандалакша	32.43	67.17	98.6	[2]
12	Умба	34.20	66.69	41.2	[1]
13	Лесозаводский	32.75	66.72	58.3	[2]
14	Чупа	32.81	66.27	61.7	[5]
15	Энгозеро	34.42	65.81	30.5	[4]
16	Кузема	34.24	65.36	46.5	[3]

4) «Кригинг» – «Kriging» является геостатистическим методом, основывается на вероятностной модели, рассматривающей изучаемую пространственную переменную $Z(X, Y)$ как реализацию случайной функции $Z(X, Y)$. Такой подход позволяет учитывать пространственную корреляцию данных и даёт возможность не только создавать модели поверхностей, но также получать оценку точности этих моделей. Необходимо отметить, что при по-

строении схем изобаз поднятия данным методом использовалась линейная вариограмма.

Схемы изобаз поднятия

Разными методами было построено пять схем изобаз поднятия земной поверхности северо-востока Фенноскандии (рис. 2 а-д). На полученных схемах наблюдается схожий характер поднятия земной поверхности. Видно, что поднятие земной поверхности имеет куполообразный характер, максимальная амплитуда более 120 метров отмечается на юго-западе Кольского региона. На схеме, полученной методом «локальных полиномов» (рис. 2 в), максимальная амплитуда поднятия превышает 140 м. С запада на восток происходит постепенное уменьшение величины поднятия. На всех схемах видно, что на баренцевоморском побережье в районе Кольского залива происходит изменение направления изобаз. Если западнее Кольского залива изобазы идут вдоль береговой линии, то восточнее изобазы начинают пересекать берег. По мнению авторов это связано с характером деградации последнего ледникового покрова на данной территории.

Изобазы на схемах, полученных методом «триангуляции с линейной интерполяцией» (рис. 2 а) и методом «естественной окрестности» (рис. 2 б) в прибрежных частях располагаются схожим образом, как и на ранее построенной схеме на рис. 1 а. Это связано с тем, что основная часть районов, по которым строились изобазы, расположена на побережье. В западной части

Рис. 2. Схемы изобаз поднятия земной поверхности северо-востока Фенноскандии за последние 10000 лет, построенные разными методами: а – «триангуляция с линейной интерполяцией», б – метод «естественной окрестности», в – метод «локальных полиномов», г – «Кригинг», д – «Кригинг» с линейным дрейфом.

(во внутренней части Кольского региона), наоборот, отмечаются значительные различия в направлениях изобаз, на построенных схемах изобазы изгибаются, резко меняют своё направление. Причиной этого является небольшое количество фактических данных о поднятии земной поверхности в этом районе. Применение этих методов для построения интерполяционной поверхности по такому небольшому числу неравномерно распределённых точек, видимо, привело к появлению явных треугольных граней на графике поверхности и больших прямолинейных сегментов на карте изолиний.

Методом «локальных полиномов» была получена сглаженная схема изобаз поднятия (рис. 2 в). Схема хорошо сопоставляется с ранее построенной схемой (рис. 1 а) и отражает общий характер поднятия земной поверхности, но при этом теряются локальные искривления линий, вызванные тектоническими особенностями определенных районов. В пределах Баренцева моря такое волнистое положение линий вызвано отсутствием данных в этом районе.

Методом «Кригинг» были построены две схемы изобаз – без дрифта (рис. 2 з) и с линейным дрифтом (рис. 2 д). Опция «линейный дрифт» предполагает, что в данных присутствует линейный тренд, и тогда оценка выполняется методом универсального «Кригинга». Без линейного дрифта оценка выполняется методом ординального «Кригинга». Но как видно из построенных схем изобаз поднятия, разница в полученных результатах минимальная. На схемах изобаз отмечается плавный ход линий. Полученные схемы наилучшим образом сопоставляются с ранее построенной схемой (рис. 1 а). На данных схемах, аналогично схеме на рис. 1 а, в пределах Кандалакшского залива Белого моря отмечается небольшое искривление изобаз поднятия, что связано с тектонической активностью в этом районе. Отсутствие данных на востоке Кольского региона не позволяет достоверно определить положение линий изобаз поднятия.

Выводы

На основании данных об амплитуде поднятия, полученных при изучении донных осадков изолированных котловин, были построены новые схемы изобаз и выполнено их сопоставление с ранее построенной схемой. При данном количестве данных наиболее приемлемые результаты моделирования схем изобаз поднятия отмечаются методом «Кригинг». Установлено, что поднятие земной поверхности имеет куполообразный характер, максимальная амплитуда более 120 метров отмечается на юго-западе Кольского региона. В пределах Кандалакшского залива происходит искривление изобаз поднятия, что связано с тектонической активностью в этом районе.

Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН (тема 0231-2015-0010) при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00311-А и №18-35-00054-мол_а.

Список литературы

1. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озёр на южном берегу Кольского полуострова, в районе по-

- селка Умба // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. М.: Наука. 2013. № 1. С. 73-88.
2. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Д.Д. Последледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова (ред. Митрофанов Ф.П.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2005. С. 15-25.
 3. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. Временная последовательность перемещения береговой линии Белого моря в голоцене по данным изучения донных отложений озер района Кузема (северная Карелия) // Изв. Русс. географ. общ-ва. 2014. Т. 146. Вып. 6. С. 14-26.
 4. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район поселка Энгозеро, Северная Карелия) // ДАН. М.: Наука. 2013. Т. 449. № 5. С. 587-592.
 5. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (северная Карелия) // Вестник МГТУ. Мурманск: МГТУ. 2015. Т. 18. №2. С. 255-268.
 6. Мальцев К.А., Мухарамова С.С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer) // Уч. пос. Казань: Казанский университет. 2014. 103 с.
 7. Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир. 2017. 1030 с.
 8. Толстобров Д.С. Голоценовая тектоника северо-западной части Кольского региона. Автореф. дисс. к.г.-м. н. Апатиты: Изд-во ФГБУН КНЦ РАН. 2018. 28 с.
 9. Толстобров Д.С., Колька В.В., Толстоброва А.Н., Корсакова О.П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. №1/1. С.142-150.
 10. Corner G.D., Yevzerov V. Ya., Kolka V.V., Moller J.J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia // Boreas. 1999. V. 28. №1. P. 146-166.
 11. Corner G.D., Kolka V.V., Yevzerov V.Ya, Moller J.J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // Global and Planetary Change. 2001. V. 31. P.153-175.
 12. Donner J., Eronen M., Jungner H. The dating of the Holocene relative sea-level changes in Finnmark, North Norway // Norsk geografisk Tidsskrift. 1977. V. 31. P. 103-128.
 13. Romundset A., Bondevik S., Bennike O. Postglacial uplift and relative sea level changes in Finnmark, northern Norway // Quaternary Science Reviews. 2011. V. 30. P. 2398-2421.
 14. Snyder J.A., Forman S.L., Mode W.N., Tarasov G.A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia // Boreas. 1997. V. 26. P. 329-346.