

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 141-145.

О ВЛИЯНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ПЭС) В МЕЗЕНСКОМ ЗАЛИВЕ НА КРАТКОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ БЕЛОГО МОРЯ

Ю.И. ИНЖЕБЕЙКИН¹, А.В. НЕКРАСОВ²

¹ *Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск*

² *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*

Интенсивное освоение и сокращение на Земле запасов углеводородного сырья делают весьма актуальной задачей современности использование альтернативных видов природной энергии, в т.ч. приливной в районах ее наиболее высокой концентрации. Данная работа посвящена численному исследованию влияния строительства приливной электростанции (ПЭС) в Мезенском заливе, на режим среднemasштабных колебаний уровня Белого моря. Поскольку изменение морфометрических свойств бассейна перестраивают характер исследуемых движений даже на значительном удалении от дамбы, то оценку влияния ПЭС на эти движения, невозможно получить по типу обычных краевых задач. Проблема решена с использованием на "жидкой" границе расчетной области импедансных граничных условий, позволяющих учитывать излучение через открытую границу дополнительных возмущений, порождаемых как отраженными от дамбы волнами, так и нелинейными эффектами внутри области. Оценены изменения режима приливов и штормовых нагонов в Белом море, а также их энергетических характеристик после строительства ПЭС.

Y.I. Inzhebeikin, A.V. Nekrasov. On the effect of Mezen tidal power plant on the short-period sea-level oscillations in the White Sea // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 141-145.

The transformation of natural short-period sea-level oscillations (primarily tides and, to a lesser extent, storm surges) is studied resulting from a large-scale tidal power plant barrage assumed to be erected in the head of the Bay of Mezen. Some effects due to this transformation are estimated by means of predictive modelling and a number of expected characteristic changes in amplitudes and phases of tidal oscillations are described. Within the northern part of the White Sea (area of Voronka + Bay of Mezen), the transformation was found to be similar to earlier estimations but new results made it possible to assess the reach beyond the bounds of the mentioned area. It is shown that the appreciable influence of transformation effects outside the area of Voronka + Bay of Mezen can be felt primarily within the Gorlo while in the central Basin and inner bays their manifestation is rather low. The changes in tidal energy balance of the sea due to the barrage construction are also considered showing noticeable reconstruction of energy horizontal fluxes and changes in energy dissipation. Possible ecological consequences are related mainly to the changes in position and dimensions of mixed, stratified, frontal and inter-tidal zones.

Значительные приливные колебания уровня и сильные приливные течения в Белом море оказывают заметное влияние на целый ряд гидрологических характеристик, многие из которых являются важными с экологической точки зрения. Это заставляет внимательно относиться к оценке изменений в режиме приливных колебаний, которые могут возникнуть в результате строительства и функционирования крупномасштабных приливных электростанций (ПЭС). Как известно, возможность строительства ПЭС в вершине Мезенского залива Белого моря рассматривается уже давно, и в течение многих лет под руководством д-ра технических наук Л.Б. Бернштейна выполнялись технико-экономические проработки по проекту, предусматривающему отсечение здесь плотиной ПЭС акватории площадью около 2650 км² (Бернштейн, 1987; Bernshtein, 1996). Проведенная при этом предварительная оценка ожидаемой трансформации приливного режима показала, что сооружение плотины и действие агрега-

тов ПЭС действительно могут вызвать значительные изменения параметров местного прилива (Горелков, Некрасов, 1982; Nekrasov, Romanenkov, 1996; Некрасов, 2003), и эти ожидаемые изменения, а также их воздействие на природную среду, обязательно должны учитываться при проектировании.

В последнее время предпринято дальнейшее изучение этой проблемы, позволившее получить ряд новых результатов, которые в сжатом виде излагаются в настоящей статье. Прежде всего, это относится к оценке *дальности действия* трансформационных эффектов, порождаемых сооружением плотины в проектном створе Мезенской ПЭС. Кроме того, более детально рассмотрены энергетические аспекты происходящей при этом перестройки приливного режима, и в первую очередь – ее влияние на интенсивность энергетических потоков и диссипативных потерь энергии. Были заново оценены и уточнены изменения в размерах и положении зоны приливной осушки побережья при указанной пере-

стройке. Помимо рассматривавшейся ранее лунной полусуточной гармоники M_2 проанализирована также трансформация гармоник S_2 и K_1 . Наконец, указанный подход был использован для оценки влияния крупномасштабной плотины на некоторые характеристики штормовых нагонов.

Основные особенности трансформации

Важнейшие особенности трансформации поля амплитуд и фаз полусуточного прилива при строительстве плотины Мезенской ПЭС оценивались для района Воронки и Мезенского залива в работах (Горелков, Некрасов, 1982; Nekrasov, Romanenkov, 1996; Некрасов, 2003) путем прогностического гидродинамического моделирования. Принципиальной методической особенностью этого подхода было использование т.н. *импедансных граничных условий* на открытых границах расчетной области. Было показано, что наиболее существенные изменения приливной картины вызваны сдвигом места отражения приливной волны и обусловлены смещением чередующихся зон пучностей и узлов относительно их положения в природном бассейне (без плотины). Это смещение приводит к изменениям в распределении амплитуд и фаз приливных колебаний и к образованию зон увеличения и падения указанных характеристик. Картина течений также перестраивается из-за формирования пучности перед плотиной и отступления узловой зоны в сторону моря. Все это ведет к ослаблению приливных течений вблизи плотины и, вместе с отсечением обычно мелководной вершины природного бассейна, приводит к ослаблению диссипации и приближению приливных движений к колебаниям в форме стоячей волны. Поскольку расчетная область модели охватывала только Воронку и Мезенский залив, оставалось неясным, насколько далеко распространяется зона, охватываемая трансформационными эффектами, и насколько сильно эти эффекты проявляются в других частях Белого моря.

Новые результаты

При проведении серии новых численных экспериментов была использована модель, описанная в (Greenberg, 1977; Инжебейкин, 2003 а, б). Главная цель этих экспериментов состояла в том, чтобы оценить степень влияния трансформационных эффектов не только в пределах Мезенского залива и Воронки, но и во всем Белом море. На рис 1, 2, и 3 приведены результаты, демонстрирующие проявление главных закономерностей происходящей трансформации на примере полусуточной приливной гармоники M_2 , которая является господствующей во всем Белом море. Можно видеть, что распределение амплитуд и фаз существующего («природного») прилива (Рис. 1) подвергается значительным изменениям при сооружении дамбы, положение которой показано на последующих рисунках. Так на рис. 2 показано, что прямо перед дамбой, а также в Мезенском заливе и в средней и южной части Воронки происходит увеличение амплитуд приливных колебаний, а в северной части Воронки и на границе с Баренцевым морем – их уменьшение. На рис. 3 приведено соответствующее изменение фазы, откуда видно, что перед дамбой, в Мезенском заливе и в южной части Воронки это изменение происходит в сторону более раннего наступления полной воды, а севернее в пределах Воронки опережение сменяется запаздыванием. Наряду с указанными общими закономерностями трансформации на рис. 2 и 3 можно видеть поперечную (приблизительно с запада на восток) интенсификацию указанных трансформационных эффектов. Так в Мезенском заливе прибавка к амплитуде в этом направлении нарастает от 40 до 80-90 см, а фазовое опережение от 15 минут до 1 часа и более. Аналогичные эффекты (с противоположными знаками) хорошо видны и в пределах Воронки. Такая поперечная неоднородность трансформационных добавок к амплитудам и фазам обусловлена силой Кориолиса, в результате действия

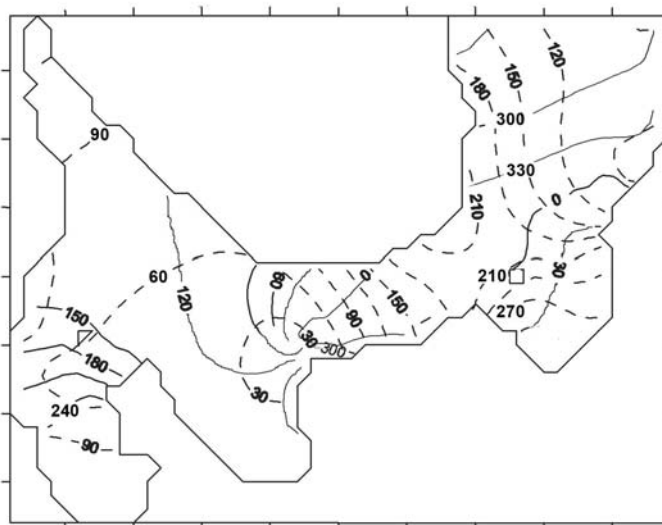


Рис. 1. Результат моделирования природного прилива (гармоника M_2) в Белом море

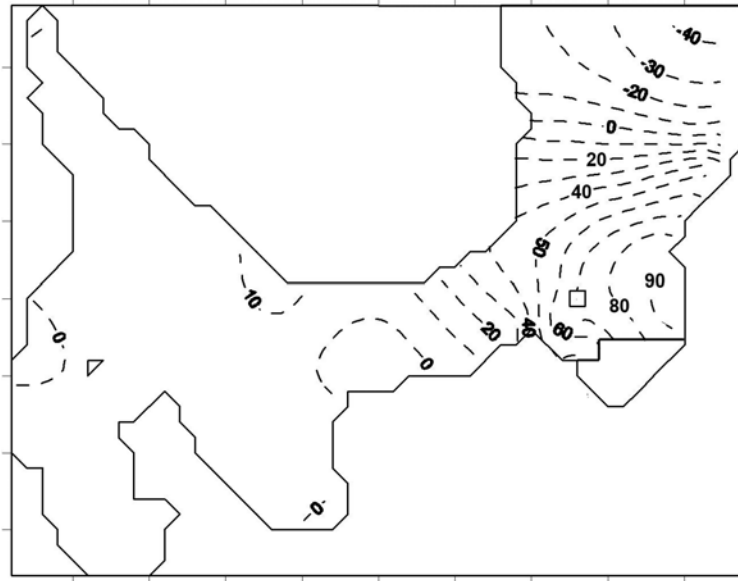


Рис. 2. Ожидаемая трансформация амплитуд (в см) полусуточного прилива M_2 в результате сооружения дамбы ПЭС в Мезенском заливе

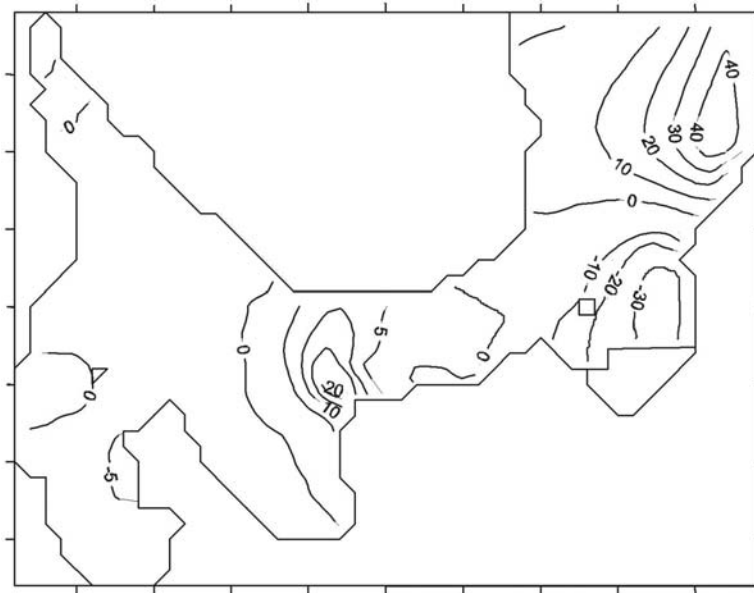


Рис. 3. Ожидаемая трансформация фаз (в градусах) полусуточного прилива M_2 в результате сооружения дамбы ПЭС в Мезенском заливе

которой проникающие из Баренцева моря и отраженные в Мезенском заливе приливные волны близки по форме к поперечно-неоднородным волнам Кельвина.

Полученные результаты согласуются с прежними (Горелков, Некрасов, 1982; Nekrasov, Romanenkov, 1996; Некрасов, 2003), но, в отличие от них, позволяют сделать достаточно определенные выводы о степени «дальнобойности» эффектов, обусловленных сооружением дамбы в Мезенском заливе. Из рис. 2 и 3 следует, что влияние этих эффектов за пределами Воронки и Мезенского залива, в общем, невелико и проявляется в сколько-нибудь значи-

тельной степени лишь в Горле. При этом наибольшее изменение амплитуд отмечается в северо-восточной части Горла, примыкающей к району о-ва Моржовец, где их увеличение достигает 40-50 см. В остальных частях моря амплитуды лишь слегка увеличиваются, но увеличение почти нигде не превосходит нескольких сантиметров. Слабое снижение амплитуд имеет место на ограниченных участках к западу от Соловецких островов, в вершине Двинского залива и в районе амфидромии (за счет небольшого сдвига ее центра) на выходе из Горла в Бассейн. Изменения фаз за пределами Воронки и Мезенского залива также в основном происходит в

Горле, но не в северо-восточной, а юго-западной его части, где оно является следствием указанного выше сдвига центра амфидромической системы и имеет поэтому ограниченный локальный характер. В Онежском заливе в районе Лямецкого берега фазы незначительно изменяются в сторону опережения. В остальных районах заметных изменений фаз под влиянием сооружения плотины ПЭС в Мезенском заливе не происходит.

Трансформация гармоник S_2 происходит практически аналогично трансформации гармоник M_2 . Относительные изменения амплитуд обеих гармоник очень близки, хотя по абсолютной величине трансформационные добавки к амплитудам у гармоник S_2 несколько меньше, чем у M_2 . Общие закономерности трансформации гармоник K_1 также имеют много общего с аналогичными эффектами для полусуточных гармоник. Здесь тоже происходит увеличение доли отраженной волны в Воронке и Мезенском заливе с соответствующей трансформацией картины амплитуд и фаз. При этом, правда, надо помнить, что для реального суммарного прилива в Белом море все, что происходит с суточной гармоникой, не имеет существенного значения.

Дополнительная информация, объясняющая особенности ожидаемой перестройки, может быть получена при рассмотрении и сопоставлении энергетических характеристик природного и трансформированного приливного режима. Соответствующие оценки, полученные в ходе проведенных численных экспериментов, приведены в таблице.

Из таблицы можно видеть, что сооружение плотины, приводя к более интенсивному отражению приливной волны, влияет на распределение горизонтальных потоков приливной энергии через две жидкие границы, отделяющие колебательную систему Воронка-Мезенский залив от Баренцева моря и от Горла. В то время как приток энергии в эту систему через первую границу (W_o) ослабевает, потери через вторую границу (W_T) усиливаются. Относительная доля потерь увеличивается для гармоник M_2 , S_2 и K_1 , соответственно, с 26 до 38%, с 26 до 45% и с 49 до 67%, а доля общих потерь – с 26 до 39%. Таким образом, после сооружения плотины указанная система будет несколько меньше получать энергии из Баренцева моря и несколько больше отдавать ее путем излучения в Горло и далее в Бассейн.

В последних трех колонках таблицы приведены результаты расчета скорости диссипации приливной энергии в целом по Белому морю в природных условиях и после сооружения дамбы (без учета работы агрегатов ПЭС). Из таблицы следует, что исключение из приливного процесса вершины Мезенского залива (служащего в природных условиях интенсивным поглотителем энергии), а также ослабление течений перед дамбой, снижают общие диссипативные потери примерно на 7%. На рис. 4 показано пространственное распределение этого диссипативного эффекта по площади моря, откуда видно, что он почти целиком сосредоточен в области перед дамбой в то время, как на всей остальной площади моря диссипативные потери слегка повышаются. С другой стороны, интенсивность диссипативных потерь в системе Воронка-Мезенский залив должна характеризоваться разностью потоков W_o и W_T . При сравнении этих величин со скоростью диссипации D во всем Белом море мы видим, что в природных условиях из-за очень высоких скоростей приливных течений на область Воронки и Мезенского залива приходится 78% общих диссипативных потерь всего моря. Трансформация и связанное с ней падение скоростей течений приводит к снижению этой доли до 65%.

Влияние плотины на штормовые нагоны

Оценка влияния плотины Мезенской ПЭС на штормовые нагоны была проведена в основном для нагона трехсуточной продолжительности, имеющего наиболее высокую повторяемость, однако, некоторые выводы были получены и для нагона двухсуточной повторяемости. Поскольку как приливная, так и нагонная волны индуцируются из Баренцева моря, влияние плотины на них во многом сходно. Это влияние проявляется, прежде всего, в усилении отражения в вершине Мезенского залива и уменьшении результирующего потока энергии, направленного из Баренцева в Белое море, а также в увеличении потока энергии, направленного в Горло и в общем снижении скорости диссипации энергии штормового нагона в Белом море. Все перечисленные эффекты, совпадая по знаку с теми, которые были отмечены для приливов, в то же время значительно слабее последних. В целом сооружение плотины приводит к незначительному увеличению высоты подъема уровня при штормовых нагонах, достигающему 2-3 см лишь в районах, прилегающих к

Таблица. Изменение энергетических характеристик приливных колебаний Белого моря в результате сооружения плотины Мезенской ПЭС (в миллионах киловатт)

Энергетические характеристики	Поток энергии через границу с Баренцевым морем (W_o)			Поток энергии через границу между Воронкой и Горлом (W_T)			Скорость диссипации энергии в Белом море (D)		
	M_2	S_2	K_1	M_2	S_2	K_1	M_2	S_2	K_1
В природных условиях	30,87	4,42	0,047	8,04	1,15	0,023	29,31	4,07	0,047
После сооружения плотины	28,88	3,85	0,045	10,94	1,72	0,030	27,48	3,52	0,043

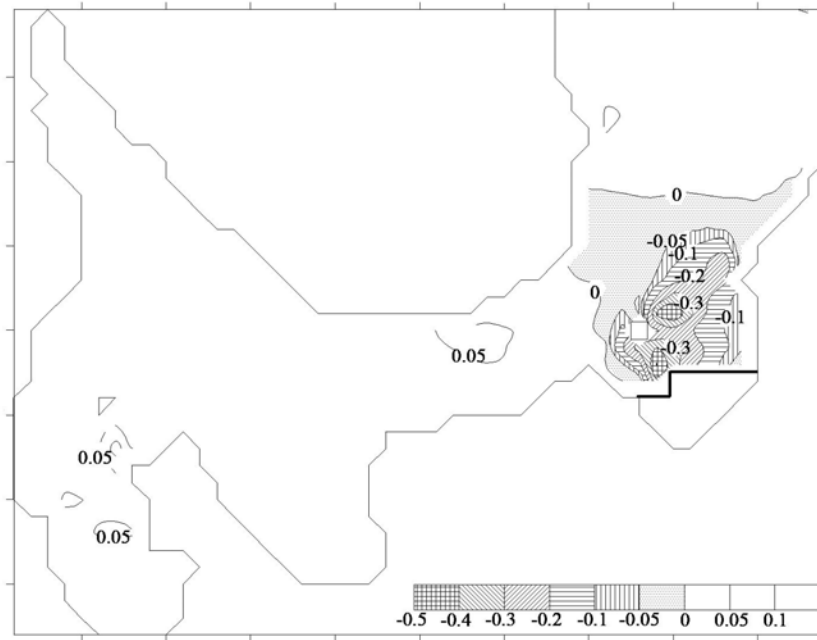


Рис. 4. Изменение скорости диссипации энергии (в десятках ватт на 1 м^2) полусуточного прилива S_2 в результате сооружения дамбы ПЭС в Мезенском заливе

Канинскому и Конушинскому берегам. Трансформация волны двухсуточного нагона характеризуется теми же качественными закономерностями, что и в случае трехсуточной волны. Изменения высоты подъема уровня происходит только в Воронке и Мезенском заливе и не превосходит 1-2 см.

Выводы

Трансформационные эффекты, обусловленные сооружением плотины Мезенской ПЭС, по порядку величин близко соответствуют предыдущим оценкам (Горелков, Некрасов, 1982; Nekrasov, Romanenkov, 1996; Некрасов, 2003), что указывает на их достоверность. Тем самым подтверждается физическая интерпретация перестройки приливного режима в районе Воронки и Мезенского залива, границы которого в морфометрическом смысле обозначаются достаточно четко, чтобы рассматривать его как единую колебательную систему. Установлено, что за пределами этой системы трансформационные эффекты проявляются в заметной степени в Горле, но в более южных районах приводят лишь к незначительным изменениям. Трансформация заметно сказывается также на общей схеме энергетического баланса, обусловленного, в основном, волновым переносом через открытые границы и диссипацией. Сооружение плотины приводит к значительному ослаблению местной диссипации и усилению потоков энергии через Горло в сторону Бассейна. Возможные экологические последствия строительства

связаны, прежде всего, с изменением положения и размеров стратифицированных перемешанных и фронтальных зон, а также зон приливной осушки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 04-05-64765

Литература

- Бернштейн Л.Б. 1987. Приливные электростанции. М.: Энергоатомиздат. 296 с.
- Горелков В.М., Некрасов А.В. 1982. Моделирование полусуточного прилива в мелководном бассейне с учетом береговой осушки. Тр.ЛГМИ. Вып. 77. С. 140-146.
- Инжебейкин Ю.И. 2003. Численные исследования сейшевых колебаний уровня Белого моря. Сб. науч. тр. «Колебания уровня морей». СПб. С. 40-46.
- Инжебейкин Ю.И. 2003. Колебания уровня Белого моря. Екатеринбург. Изд. УрО РАН. 152 с.
- Некрасов А.В. 2003. Прогностическая оценка трансформации приливных колебаний уровня при крупномасштабном гидротехническом строительстве на побережье Белого и Охотского морей. Сб. науч. тр. «Колебания уровня морей». СПб. С. 57-78.
- Bernshtein L.B. (ed.). 1996. Tidal Power Plants. Korea Ocean Research and Development Institute. 444 p.
- Greenberg D.A. 1977. Mathematical studies of tidal behaviour of the Bay of Fundy. Man. Rep. Ser. Mar. Sci. Dir. Dept. Env. Ottawa. No 46. P. 161-187.
- Nekrasov A.V., Romanenkov D.A. 1996. On effects produced by tidal power plants upon environmental conditions in adjacent sea areas. La Houille Blanche. Vol. 52, № 3. P. 89-95.