

ОКЕАНОЛОГИЯ**М.Б. Шилин****КИСЛОГУБСКАЯ ПРИЛИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ:
ВОЗВРАЩАЯСЬ СНОВА И СНОВА****M.B. Shilin****KISLOGOUBSKAYA TIDAL POWER PLANT:
COMING BACK AGAIN AND AGAIN**

На основе данных многолетнего экологического мониторинга описывается процесс формирования природно-технической системы Кислогубской приливной электростанции. Предлагаются методы оценки и контроля экологической ситуации в бассейнах приливных электростанций.

Ключевые слова: приливная электростанция, экологическая безопасность, экологический мониторинг, прибрежная природно-техническая система.

On the base of long-year monitoring datas the process of the establishing of the nature-and technical system of the Kislogoubskaya power plant is described. Methods of evaluation and control of the ecological situation in the basins of the tidal power plants are proposed.

Key words: tidal power plant, ecological safety, ecological monitoring, coastal nature-and technical system.

В настоящее время в мире функционируют 4 приливных электростанции (ПЭС) общей мощностью менее 300 мВт: с 1967 г. – «Ранс» во Франции (имеет 24 агрегата мощностью по 10 мВт), с 1968 г. – Кислогубская ПЭС в Мурманской области Российской Федерации (400 кВт); с 1984 г. – «Аннаполис» в Канаде (20 мВт) и с конца 1980-х годов «Иянсан» в Китае с тремя агрегатами суммарной мощностью 3,3 мВт [Зархи, 1994; Марфенин, 1995]. Общая нагрузка от приливных станций на прибрежную зону Мирового океана невелика в связи с их малой мощностью. Так, Кислогубская ПЭС, по сути дела, обслуживает саму себя. Ее мощность, по образному выражению профессора РГГМУ А.В. Некрасова, участвовавшего в обосновании режимов эксплуатации данной ПЭС в качестве эксперта по приливам, – это «четырееста электроутогов». Данная станция строилась как опытный образец – чтобы доказать, что приливные станции вообще возможны в принципе. В перспективе, однако, ожидается существенное возрастание нагрузки от приливной энергетики на прибрежные экосистемы. Например, во Франции выполнены проектные разработки по 10, в Канаде – по 15, США – свыше 10 и Южной Корее – по 10 ПЭС. Для Севера России проведены проектные проработки по нескольким крупным ПЭС (рис. 1).

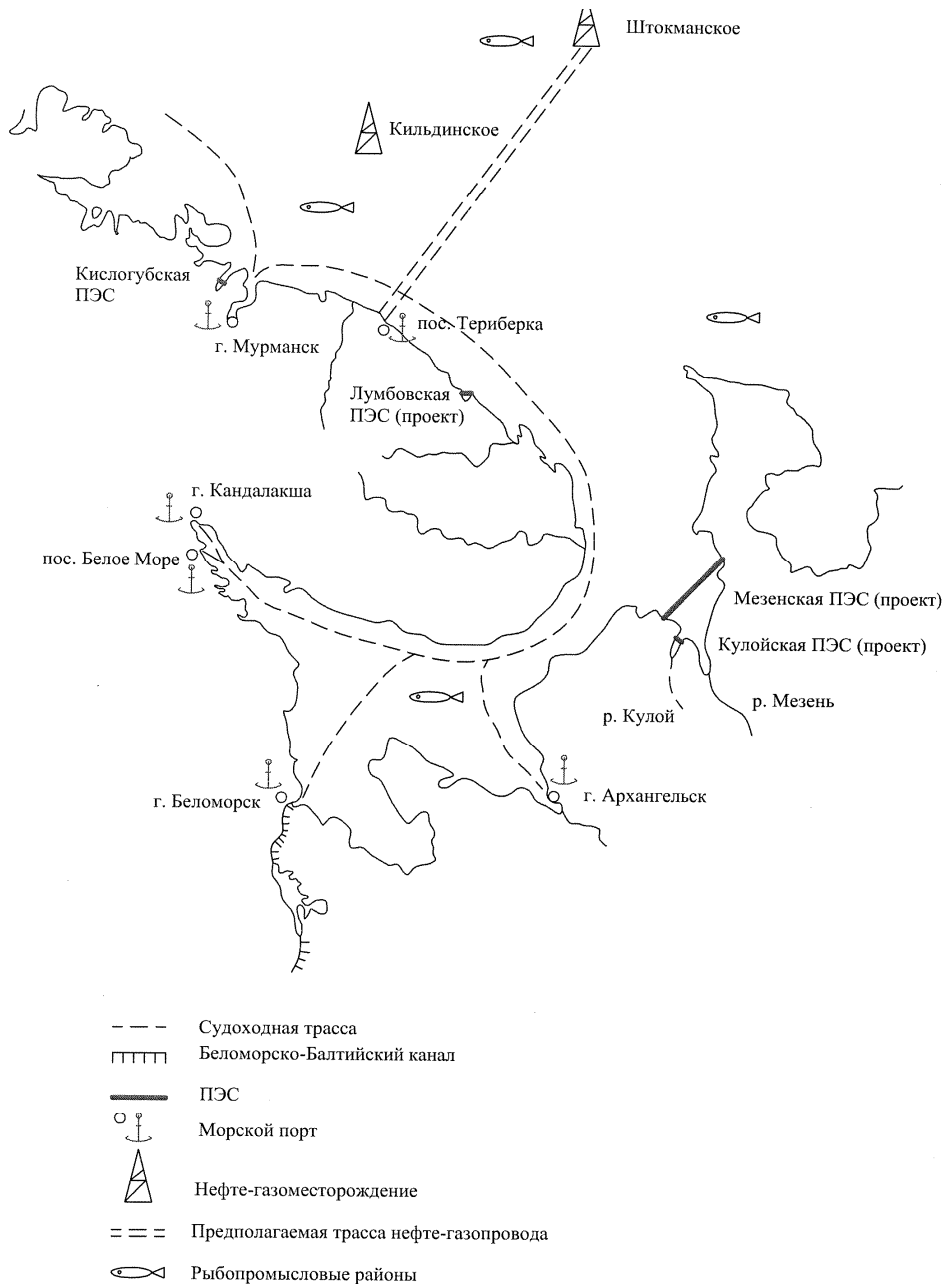


Рис. 1. Антропогенные объекты в прибрежной зоне Баренцева и Белого морей

В частности, на Белом море проектируются Мезенская ПЭС мощностью до 11 тыс. мВт и Кольская ПЭС мощностью 320 мВт, энергию которых предполагает-

ся направить в Западную Европу по объединенной энергосистеме «Восток-Запад». По оценкам специалистов, использование ПЭС может покрыть 15–20 % потребностей человечества в электроэнергии. Академик Евгений Велихов считает, что потенциал приливной энергетики в России соизмерим с общим количеством потребляемой энергии.



Рис. 2. Губа Кислая Баренцева моря. Точками обозначены станции геоэкологического мониторинга

ПЭС не оказывают теплового, химического и радиационного загрязнения среды; не требуют затопления и преобразования земель; способствуют защите берегов от штормовых воздействий; расширяют возможности аквакультуры в защищенных от волнового воздействия акваториях; стимулируют развитие местной транспортной и рекреационной инфраструктуры. Плотины ПЭС могут стать барьером на пути распространения нефтяного загрязнения. Однако в бассейнах ПЭС снижается водообмен с морской средой; изменяется характер течений; увеличивается зависимость от наземной береговой среды. Очевидно, источником объективной информации для оценки экологической безопасности


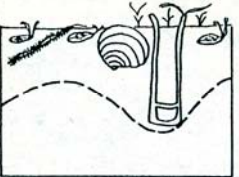
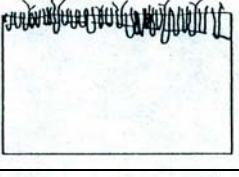
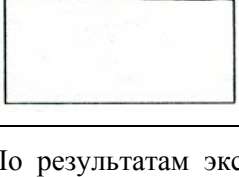
ПЭС может быть только комплексный экологический мониторинг. Развитие методов мониторинга ПЭС запаздывает по сравнению с развитием приливной энергетики. Удобным объектом для разработки и апробации системы мониторинга является бассейн Кислогубской ПЭС – губа Кислая Баренцева моря (рис. 2) [Клюйков, 1996; Kluikov, 1999]. Оценка экологической ситуации в этой губе представляет интерес для прогнозирования возможных изменений в бассейнах проектируемых ПЭС.

Во второй половине 1990-х годов (1996–1998 гг.) здесь была успешно осуществлена программа комплексного экологического мониторинга Кислогубской ПЭС в рамках Проекта ЮНЕСКО «Балтийский Плавающий Университет» (Подраздел «СЕВЕР»). По результатам программы выполнен анализ процесса формирования и функционирования прибрежной природно-технической системы (ППТС) на базе приливной электростанции. Проведена комплексная оценка ситуации в экосистеме Кислой губы на этапах формирования, эксплуатации и модернизации ППТС. Определены изменения устойчивости прибрежных биологических сообществ по данным об их разнообразии. Оценена скорость возвращения трансформированной экосистемы в исходное состояние после снятия стрессового воздействия [Kluikov, 1996; Клюйков, 1997; Шилин, 1998].

Информация о состоянии ППТС собиралась по трем основным каналам: информация о техническом объекте, об абиотической среде и о биоте (биологических сообществах). В качестве наиболее информативного и практически удобного объекта мониторинга был выбран бентос. Его высокая информативность в отношении состояния прибрежной водной среды определяется тем, что по сравнению с другими группами организмов бентос стабилен во времени, характеризует локальную ситуацию в пространстве, способен представить изменения экосистемы в ретроспективе. Для оценки нарушений состояния бентоса использовали 6-балльную шкалу (табл. 1). В соответствии с предложенной шкалой «нормальному» (эталонному) состоянию биоты присвоена оценка 5. Этому состоянию в экосистеме губы Кислой соответствуют сообщества мягких илов с высоким видовым разнообразием с доминированием двустворчатых моллюсков-фильтраторов и роющих полихет, глубоко зарывающихся в грунт и структурирующих его поверхностные слои на значительную глубину. Исчезновение моллюсков-фильтраторов указывает на переход сообщества из «нормального» состояния в «хорошее» (оценка 4). «Посредственному» состоянию соответствуют сообщества, представленные личинками комаров – хирономидами и стойкими к загрязнению олигохетами (оценка 3). При «плохом» состоянии сообщества в нем встречаются только подвижные активно мигрирующие ракообразные, не зарывающиеся в грунт (оценка 2). Наконец, при «катастрофическом» состоянии (оценка 1) живые организмы в пробе отсутствуют. Возможна ситуация с улучшением «нормального» состояния сообщества – например, при вселении в него моллюсков с развитыми сифонами, зарывающихся в грунт ракообразных и др. – в этом случае возможно выставление оценки 6.

Таблица 1

Шкала оценки интенсивности нарушений состояния биоты

Сообщество мягких грунтов	Индекс изменения биоты ИИБ	Качественная оценка состояния	Оценка, баллы
	> 1	Улучшенное	6
	0,9-1,0	Норма	5
	0,75-0,9	Хорошее	4
	0,55-0,75	Посредственное	3
	0,3-0,55	Плохое	2
	< 0,3	Катастрофическое	1

По результатам экспедиций «БПУ-СЕВЕР» показано, что формирование ППТС с ПЭС является сложным многолетним процессом, в ходе которого природные факторы, действующие в бассейне ПЭС, претерпевают значительную антропогенную трансформацию [Шилин, 1998].

Кислогубская ПЭС, являющаяся памятником науки и техники России [Бернштейн, 1971], представляет собой однобассейновую установку двустороннего действия. Бассейном ПЭС является Кислая губа – фиорд длиной 3,5 км, через узкую горловину соединяющийся в своей северной части с сопредельной Ура-губой. Горловина перегорожена плотиной ПЭС. Средняя глубина губы – 12,5 м. В её центральной и вершинной частях имеются котловины с глубинами до 36 м.

До зарегулирования Кислая губа являла собой типичный для Западного Мурмана фиорд с разнообразной морской биотой [Гурьянова, 1928, 1929]. Зимой поверхность губы лишь частично покрывалась льдом. В течение 4 лет строительства ПЭС (с 1964 по 1968 г.) губа оказалась отгорожена от моря сплошной дамбой. Водообмен с морем сократился до нескольких процентов от естественного (табл. 2). Вода стекающих с сопки ручьёв образовала на поверхности пресный слой толщиной 5–7 м. Зимой вся поверхность губы замерзла. Как следствие, биота на литорали до глубины 5 м была уничтожена. Высокие градиенты плотности на границе пресных и морских вод препятствовали перемешиванию и насыщению придонных вод кислородом. В котловинах глубже 15 м бентос был отравлен накопившимся сероводородом. Уцелевшие остатки морской фауны сохранились в подавленном состоянии на глубинах от 5 до 12 м. Следы этой экологической катастрофы по сей день обнаруживаются в губе в виде залежей мертвой ракуши.

После пуска станции в 1969 г. и ее работы в проектном режиме морские условия в бассейне ПЭС были отчасти восстановлены, хотя водообмен оказался в 5 раз меньше естественного (см. табл. 2). Значительно меньшей по сравнению с исходной стала амплитуда приливов; нарушилась их цикличность. Произошло частичное восстановление биологического разнообразия за счет вселения солонатоводных видов.

В 1974 г. руководство ПЭС, не считаясь с возражениями проектной организации, перешло на двухсменный, а затем – односменный режим эксплуатации (с целью сокращения обслуживающего персонала). Из-за длительных остановок при закрытых водоводах водообмен с морем неоднократно прерывался на срок от нескольких суток до нескольких месяцев. В бассейне произошла повторная катастрофа в виде замора биоты.

В 1983 г. ПЭС перешла на близкий к проектному трехсменный, круглосуточный режим работы гидроагрегата. В результате водообмен возрос до 25–30 % от естественного (см. табл. 2). Началось восстановление морских сообществ и размыв сероводородных зон в котловинах. Близкий к рекомендованному режим поддерживался при холостом пропуске воды через донный водослив (весной – также через поверхностный) с начала 1989 г., после аварии гидроагрегата. Благодаря этому в 1990-х и 2000-х годах в губе произошло постепенное восстановление нормальных морских сообществ.

Формирование Кислогубской ППТС

	Период наблюдений, годы						
	до 1964	с 1964 по 1968	с 1969 по 1973	с 1974 по 1982	с 1983 по 1991	с 1992 по 1999	с 1999 по 2004
Источник информации	Гурьянова и др., 1928, 1929	Семенов, 1991	Семенов, 1991	Семенов, 1991	Марфенин и др., 1995	Шилин, 1998; Марфенин и др., 1995	Kluikov et al., 1999
Режим эксплуатации	Естественный режим	Строительство, сдача в эксплуатацию	Проектный	Одно- и двух-сменный	Проектный трех-сменный	Холостой пропуск воды; гидроагрегат не работает	Осевая турбина снята; подготовка ортогональной турбины
Водообмен по отношению к естественному	100 %	Не более 6 %	До 20 %	2–3 %	25–30 %	30 %	До 50 %
Изменение биоценозов	Естественное состояние	Уничтожение морской фауны	Вселение солоноватоводных видов	Замор	Начало восстановления морских сообществ	Восстановление обедненных морских сообществ	Восстановление нормальных морских сообществ
ИИБ	1,0	< 0,3	0,3–0,55	< 0,3	0,55–0,75	0,75–0,9	> 0,9
Оценка, баллы	5	1	2	1	3	4	5
Состояние экосистемы	Нормальное	Катастрофическое	Плохое	Катастрофическое	Посредственное	Хорошее	Нормальное
Проводимые наблюдения	Отдельные наблюдения	Отдельные наблюдения	Отдельные наблюдения	Отдельные наблюдения	Регулярные наблюдения	Геэкологический мониторинг	Геэкологический мониторинг

До строительства ПЭС и в первые 15 лет эксплуатации мониторинг ПЭС не проводился, так как сама концепция мониторинга сформировалась лишь в середине 1970-х годов. Отдельные наблюдения в этот период были выполнены рядом авторов, составившими списки видов биоты [Семенов, 1991; Марфенин, 1995], что позволяет ретроспективно определить состояние биологических сообществ Кислой губы по сравнению с сопредельной Ура-губой как «катастрофическое» и «плохое» (оценки 1 балл и 2 балла).

Систематические обследования Кислой губы по типу мониторинга начаты с 1983 г. усилиями Мурманского морского биологического института, Полярного института рыбного хозяйства и океанографии (ПИРО), Московского государственного университета [Семенов, 1991; Марфенин, 1995; Усачев, 1998]; по времени они совпали с переводом станции на проектный трехсменный режим эксплуатации и возвращением биоты к «посредственному» состоянию (оценка 3 балла).

Во второй половине 1990-х годов экспедицией «БПУ – СЕВЕР» состояние биоты было оценено как хорошее («равновесное») [Kluikov et al., 1999]; балльная оценка – 4. В начале 2000-х годов при снятии осевой турбины и увеличении водообмена до 50 % от естественного в губе произошло восстановление нормальных морских сообществ (см. табл. 1).

Анализ совокупных наблюдений, выполненных в рассматриваемой экосистеме, позволяет определить оптимальные режимы работы гидроагрегата. Экологически наименее опасным оказывается близкий к проектному трехсменный круглосуточный режим эксплуатации, при котором проявляется тенденция к нормализации ситуации в бассейне ПЭС (см. табл. 2). Основными факторами воздействия ПЭС на прибрежную экосистему могут быть признаны:

- уменьшение приливов;
- снижение волнения;
- снижение стока пресной воды из отсеченной акватории в море;
- механическое воздействие турбины на планктон и рыб (рис. 3) [Fedorov, Shilin, 1996].

Показано, что управление ППТС с ПЭС возможно путем учета и контроля всех выявленных каналов воздействия. Очевидно, что в будущем при строительстве ПЭС в полуизолированных морских заливах, вызывающем сокращение амплитуды приливов и увеличение продолжительности осушки, следует ожидать уменьшения биомассы донных организмов и замедления продукционных процессов в литоральной зоне.

В целом воздействие Кислогубской ПЭС на прибрежную экосистему может быть оценено как локальное в пространстве, долговременное по продолжительности и меняющееся по интенсивности. В настоящее время данное воздействие является незначительным по степени и неопасным в целом. Современная экологическая ситуация в бассейне Кислогубской ПЭС может быть оценена как неопасная; состояние экосистемы – нормальное (естественное). Вместе с тем, на отдельных этапах формирования ППТС могут возникать экологически опасные ситуации, чреватые катастрофическими последствиями для прибрежных экосистем.

Особенность экологической ситуации в настоящее время и в ожидаемом будущем заключается в реальной практической возможности контролировать все каналы воздействия на ППТС. Основным способом регулирования является поддержание проектного режима эксплуатации гидроагрегата, основанного на трехсменной круглосуточной работе.

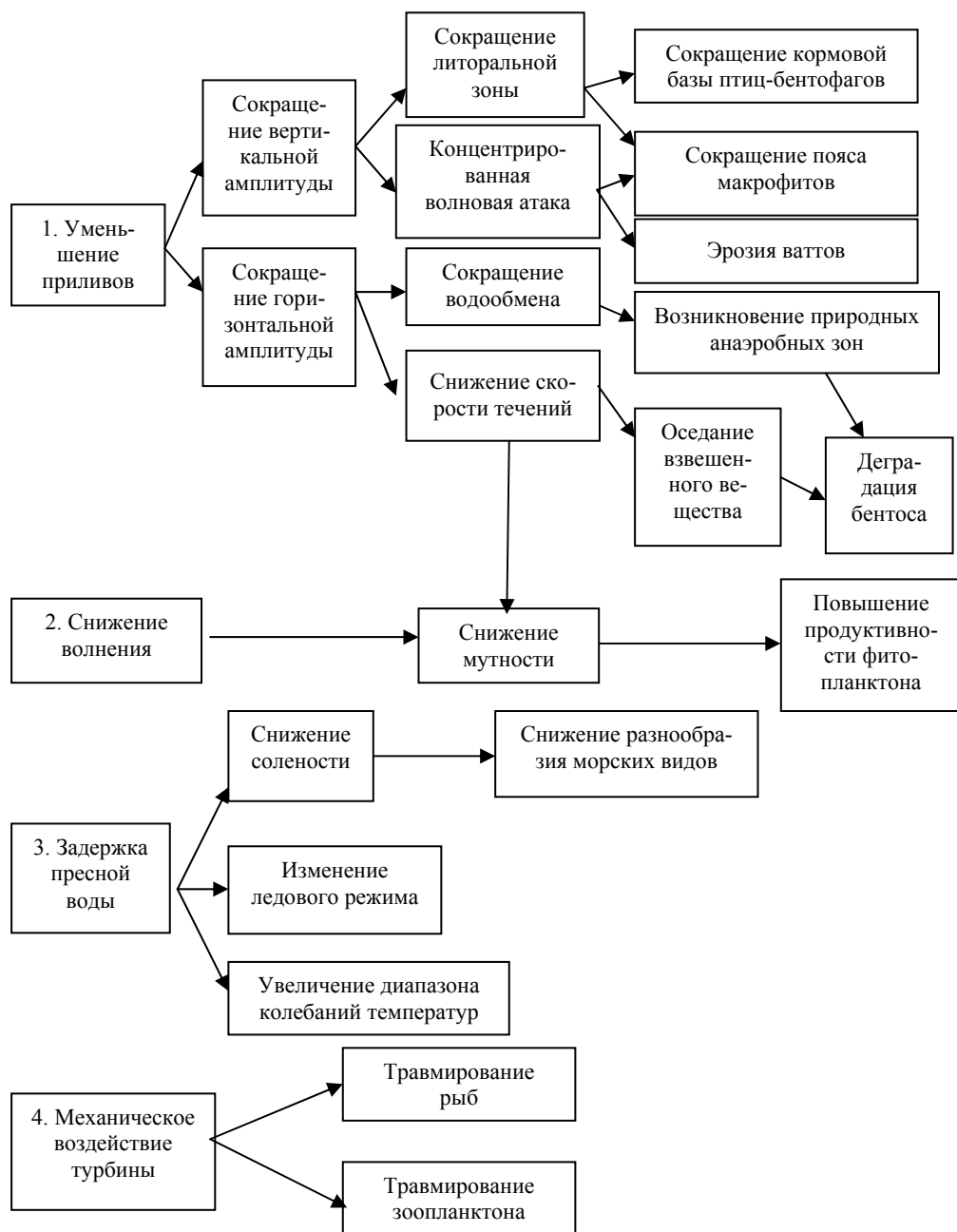


Рис. 3. Факторы антропогенного воздействия в Кислой губе

Дополнительным способом является возможная инженерная поддержка экосистемы бассейна ПЭС – нетравматический пропуск планктона через гидро-

агрегаты ПЭС; снабжение плотины ПЭС селективными водосливами для пресной поверхностной воды; искусственный даунвеллинг в котловинах.

Обращает на себя внимание, что за более чем 35 лет работы ПЭС систематические наблюдения за состоянием Кислой губы проводились на протяжении 16 лет, а регулярный мониторинг осуществлялся лишь 8 лет. В настоящее время на ПЭС впервые в мире устанавливается экспериментальная ортогональная турбина мощностью 1,5 мВт, изготовленная в 2006 г. на заводе «Севмаш». Глава РАО «ЕС России» Анатолий Чубайс после посещения Кислой губы заявил прессе, что «в России есть фантастические возможности для строительства приливных электростанций». Однако профессор РГГМУ **А.В. Некрасов** в своем последнем интервью журналистке Татьяне Хмельник («Невское время» от 10.02.2007 г.) предупредил, что полагаться на «неизменность» и «вечность» прилива – крайне опрометчиво. «Да, приливы будут и после строительства приливной электростанции – но останутся ли они такими же? Не изменятся ли их высота и частота? Может так случиться, что был прилив десять метров, а станет двенадцать или восемь; был два раза в сутки, а станет один. А станция проектируется из расчета прежних данных, и в новых условиях она может стать нерентабельной. Гигантские деньги, затраченные на постройку, окажутся выброшенными на ветер. Прежде чем ввязываться в такое колоссальное строительство, нужно все просчитать! Ошибки и недоработки проекта не должны привести к краху всего дела – идеи использования человечеством приливной энергии». В этом же интервью А.В. Некрасов отметил, что в Норвегии уже принята в эксплуатацию ПЭС, работающая по совершенно другому принципу – без плотины. Гидроагрегат представляет собой донную установку, размещаемую в узком проливе с сильными приливными течениями, которые крутят лопасти «подводного ветряка». Причем лопасти могут разворачиваться и в противоположную сторону – смотря куда идет течение. Подобные станции, по мнению А.В. Некрасова, «совершенно реально разместить в Курильских проливах – при этом не требуется вычислять высоту прилива, а экологический ущерб будет минимальный, потому что отсутствует основной источник риска – плотина, отсекающая часть акватории».

Не вызывает сомнения, что возвращение Кислогубской ППТС в эксплуатационный режим требует восстановления системы мониторинга и постоянного слежения за факторами антропогенного воздействия на экосистему бассейна ПЭС. Комплексный экологический мониторинг должен быть обязательным элементом управления ППТС с ПЭС в качестве источника информации для принятия решений по обеспечению экологической безопасности прибрежной зоны. Апробированные методы мониторинга ППТС с ПЭС могут быть перенесены на более крупные акватории, планируемые под развитие приливной энергетики.

В ходе работ по программе «Балтийский Плавающий Университет» (подраздел «СЕВЕР»), выполнявшихся под руководством начальника экспедиции до-

центра РГГМУ [Е.Ю. Ключкова], была также показана возможность использования ПЭС в качестве уникального учебно-тренировочного полигона для обучения студентов в соответствии с принципом ЮНЕСКО «Обучение через исследование» (*Training through the Research*) (Kluikov et al., 1999). Инфраструктура ПЭС идеально подходит для проведения тренингов, организации курсов повышения квалификации и реализации программ непрерывного экологического образования. Фактически по результатам работ «Плавучего Университета» в Кислой губе можно прогнозировать развитие в XXI веке на базе ПЭС комплексных экологических образовательных центров подготовки специалистов по организации и проведению мониторинга прибрежных зон морей и океанов.



[Е.Ю. Ключков]

Литература

1. Бернштейн Н.А. Кислогубская приливная электростанция // Гидротехническое строительство, 1971, № 2, с. 4–8.
2. Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Кольского залива. Ч. 1 // Тр. Ленингр. об-ва естествоиспыт., 1928, т. 58, вып. 2, с. 89–143.
3. Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Кольского залива. Ч. 2 // Тр. Ленингр. об-ва естествоиспыт., 1929, т. 59, вып. 2, с. 47–152.
4. Зархи М.И. Гидротехнические сооружения гидроэлектрических станций Кольской энергетической системы и их эксплуатация. – СПб.: изд. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1994, с. 138–150.
5. Ключков Е.Ю., Лукьянов С.В., Шилин М.Б. Экологический мониторинг морских природно-технических систем // Рациональное использование прибрежной зоны северных морей: Мат. докл. 1-го Междунар. семинара. – Кандалакша, 1996, с. 51–55.

6. Клюйков Е.Ю., Лукьянов С.В., Шилин М.Б., Хаймина О.В. Контроль экологической ситуации в бассейне Кислогубской приливной электростанции (Баренцево море) // Тез. или докл. 10-й Межд. конф. по промысловой океанологии. – М.: Изд. ВНИРО, 1997, с. 65.
7. Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М., Усачев И.Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. – М.: изд. МГУ им. Ломоносова, 1995. – 125 с.
8. Семенов В.Н. Виды антропогенного воздействия на морские экосистемы и некоторые способы их выявления. – Апатиты, 1991. – 240 с.
9. Усачев И.Н., Марфенин Н.Н. Экологическая безопасность приливных электростанций // Гидротехническое строительство, 1998, № 12, с. 19–24.
10. Шилин М.Б. Экологический мониторинг в бассейне Кислогубской приливной электростанции (Баренцево море) // Труды СПб ГТУ, 1998, № 475, с. 63–67.
11. Шилин М.Б., Федоров М.П., Клюйков Е.Ю., Лукьянов С.В., Погребов В.Б. Оценка экологической ситуации в бассейне Кислогубской приливной электростанции // Гидротехническое строительство, 1998, т. 12, с. 25–30.
12. Fedorov M.P., Shilin M.B. Control of ecological situation in the basin of the tidal power station (Kislaya bay, Barents sea) // Ecohydraulics: Proc. of the 2nd Intern. Symposium on Habitat Hydraulics. Vol. A. – Quebec: INRS/IAHR, 1996, p. 145–154.
13. . Kluikov Ye.Yu., Lukyanov S.V., Shilin M.B., Khaimina O.V., Borovkov V.A., Isaev N.A. The impact of the Kislogubskaya tidal Power Plant on the Ecology of Kislaya Bay with Reference to the Socio-economic Development of the Murman Coast of the Barents Sea // Baltic Floating University Research Bulletin / UNESCO, 1996, № 2, p. 42–53.
14. . Kluikov Ye.Yu., Lukyanov S.V., Shilin M.B., Khaimina O.V. The Kislaya Bay of the Barents Sea as a Laboratory for Studying Variability of Oceanographical Characteristics in Coastal Ecosystems // Baltic Floating University Research Bulletin / UNESCO, 1999, № 3, p. 81–84.