

УДК 551.241.627.814

Канд. физ.-мат. наук М.С. Хайдаров *

ВНЕШНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ БОЛЬШИХ ГЭС*ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УГРОЗА, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, САЯНО-ШУШЕНСКАЯ ГЭС, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ БЕДСТВО, АВАРИЯ, ЭПИЦЕНТР, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, АНТРОПОГЕННЫЙ, ЭНДОГЕННЫЙ*

Рассмотрен вид внешних геоэкологических угроз, связанный с геодинамическими процессами, что не входит в официальные списки главных причин разрушения больших антропогенных объектов и пока является предметом научных поисков. Большая опасность заключается в активном воздействии геодинамических процессов на грандиозные антропогенные объекты, приводящие к внезапным и обширным экологическим бедствиям. На примере разрушения Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. показано пространственно-временное соответствие геодинамических процессов с местом и временем этой аварии.

Введение

Изменение экологии, связанное с большими водохранилищами и ГЭС, носят долговременный и комплексный характер. Гидросооружения серьезно и надолго влияют на экосистемы, и это требует многолетнего комплексного мониторинга. Изменения могут носить разный характер, они влияют на уровень грунтовых вод, на видовой состав растительности, микроклимат и тому подобное. В любом случае они носят длительный характер.

Однако, есть одна динамическая особенность, заключающаяся в во внезапных экологических бедствиях – переливы воды, разрушение плотин, аварии на ГЭС. Эти опасные для жизни людей и экосистем угрозы с необратимыми последствиями рассматриваются ниже.

Причины разрушения плотин. По данным Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD) (анализируется информация по крупным плотинам), за последние 10 лет разрушены более 300 из зарегистрированных в мире 17 тысяч больших плотин. Главные причины разрушения

* КазНИИЭК, Алматы

— некомпетентность, ошибки проектирования, недооценка мощности паводков, повреждения водосброса.

Так, например, один из первых случаев возникновения техногенных сейсмических явлений при заполнении водохранилища был отмечен в 1932 году в Алжире. Тогда, при строительстве плотины высотой в 100 м на реке Уэд-Фодда, в период заполнения водохранилища стали возникать сейсмические толчки, достигавшие 7 баллов и исходившие из гипоцентра, расположенного на глубине 300 м.

В данной работе мы рассмотрим отдельный вид экологических угроз, связанный с геодинамической активностью, что не входит в вышеуказанный официальный список главных причин разрушения и пока является предметом научных поисков. Хотя давно замечено, что в районах строительства высоких плотин возникает или усиливается сейсмическая активность. В этом смысле, разрушение Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) в Российской Федерации не совсем соответствует списку ICOLD, официальные выводы, на взгляд автора, не вносят ясности. Также не было и сильного землетрясения. Выяснение глубинных причин этого экологического бедствия особенно актуально в связи с началом заполнения Бестюбинского водохранилища для Мойнакской ГЭС на реке Чарын Алматинской области в 2011 году. Тем более, что основные природные условия для этих ГЭС весьма схожи.

Обсуждаемые объекты находятся в 8-балльной (СШГЭС) и 9-балльной (Мойнакская ГЭС) зонах на активном тектоническом разломе, что хорошо выражено в глубоко изрезанном, живописном рельефе. Известно, что в этом случае существует опасность возникновения обычных экзогенных явлений – оползней, обвалов и тому подобное, что может привести к образованию волны вытеснения и переливу водных масс. Надо полагать, что все это так или иначе предусмотрено на этапе проектирования и строительства.

По мнению автора, главная опасность заключается в перманентном воздействии геодинамических процессов на большие водные объекты, особенно на искусственные водохранилища. Критическая высота плотины более 100 метров может привести к опасной индуцированной сейсмичности в виде серии землетрясений. У Бестюбинского водохранилища плотина 94 м, но общий перепад высот между водохранилищем и зданием ГЭС достигает 500 м, точно как и на СШГЭС.

Однако, эти сеймотектонические процессы, скорее носят эндогенный характер и не видны без геоэкологического подхода, особенно, без

геофизических методов контроля и мониторинга. Возможно, поэтому они не входят в список ICOLD. Рассмотрим их на примере совсем недавней, грандиозной аварии СШГЭС.

Геодинамические процессы на примере аварии СШГЭС

Краткая характеристика местоположения СШГЭС. Крупнейшая в России и шестая в мире гидроэлектростанция – Саяно-Шушенская, была остановлена 17 августа 2009 г., когда в машинный зал хлынула вода. Три из десяти генерирующих гидроагрегатов были полностью уничтожены, а все остальные повреждены. Восстановительные работы на ГЭС на р. Енисей, как ожидается, займут несколько лет и в лучшем случае завершатся в 2014 году. Крупнейшая в истории российской и советской гидроэнергетики авария привела к гибели 75 человек.

Не вдаваясь в технические подробности аварии этого гидросооружения, остановимся только на геодинамических процессах. По мнению российских специалистов «Группа проблем связана с реакцией пород и земной коры в районе станции на давление колоссальных масс воды и бетона. СШГЭС проектировалась с расчетом на 6...7 балльные землетрясения. В 1988 году, после Спитака, расчеты сейсмической устойчивости плотины были проведены заново. Они показали, что она не боится и 8 балльного землетрясения. Вероятность возникновения такого события оценить трудно. Есть мнение, что давление провоцирует землетрясения, но имеются и данные, что оно как раз способствует снятию напряжений в земной коре и тем самым не позволяет развиваться катастрофическому землетрясению. Мелкие же в районе плотины происходят постоянно» [3].

Ближайшее сильнейшее в этих местах за последнее время землетрясение, произошло 10 февраля 2011 года в 12:35:17 местного времени на юге Хакасии и Красноярского края. По данным геологической службы США (USGS), эпицентр землетрясения находился в 180 км к югу от Абакана на глубине 14,5 км, магнитуда составила 5,4. Точные координаты эпицентра: 52°07'55" с.ш.; 91°46'44" в.д.. Сибирский региональный центр МЧС России сообщил, что землетрясение магнитудой 6,1 произошло в Таштыпском районе Хакасии. По их оценкам, энергетический класс землетрясения – 12, интенсивность в эпицентре – 7 баллов.

Плотина СШГЭС сама по себе имеет огромный вес и меняет поле напряжений вокруг себя в первую очередь благодаря гравитационному эффекту. Давление от воды в водохранилище меняется в зависимости от паводков и различных спусков воды. Кроме того, имея арочную конструк-

цию, она оказывает дополнительное боковое воздействие. И, наконец, вся эта система находится под вибрационным воздействием мощных турбин и водных струй, падающих с высоты в несколько сот метров.

По мнению профессора В.В. Тетельмина, специалиста по плотинам и эколога, куда больше землетрясений вызывают тревогу другие процессы, происходящие в земной коре [3]. плотина «в районе водохранилища под действием нагрузки медленно погружается в вязкое вещество подстилающей мантии... На периферии этих процессов происходит компенсационное поднятие земной коры. Приблизительные расчеты показывают, что за годы эксплуатации «стрела прогиба» толщи земной коры в районе створа плотины составляет около 30 см». К этому надо прибавить и то, что «массив кристаллических сланцев под воздействием передаваемой от плотины сдвигающей нагрузки почти в 18 млн. т испытывает необратимые пластические деформации».

Заметим, что эта деформация на порядок больше чем обычно наблюдается в природе, даже в тектонически активных регионах! Кроме того, это очень важная характеристика, она свидетельствует, что крупные объекты антропогенной деятельности человека становясь новой неоднородностью земной коры неизбежно входят во взаимовлияние с нею и с литосферой. Это также подтверждает наши предположения о взаимодействии новых неоднородностей земной коры Казахстана – глубоких шахт с сеймотектоническим полем напряжений литосферы, сделанные нами в работах о взрывной эмиссии метана [4, 5]. Мы можем заключить, что плотина СШГЭС является такой же яркой неоднородностью в поле напряжений литосферы как и глубокие шахты и соответственно она концентрирует поле напряжений в своей окрестности, что вызывает, по крайней мере, множество мелких землетрясений. Но, по всей видимости, она еще и меняет региональное поле напряжений. Проверим это на эксперименте.

На рис. 1. показана карта распределения эпицентров землетрясений для Евразии за первую половину августа 2009 г. непосредственно до момента аварии. В целом можно отметить необычно высокую глобальную сейсмическую активность.

Карты эпицентров на рис. 1. и другие были построены автором с помощью открытых баз данных Европейского Средиземноморского Сейсмологического Центра (EMSC) и/или по оперативным картам эпицентров консорциума IRIS (США). Можно отметить высокую сейсмическую активность как в азиатской, так и европейской частях, хотя речь идет всего

лишь о периоде с 1 по 17 августа 2009 года. Обычно, общий уровень активности ниже в несколько раз.

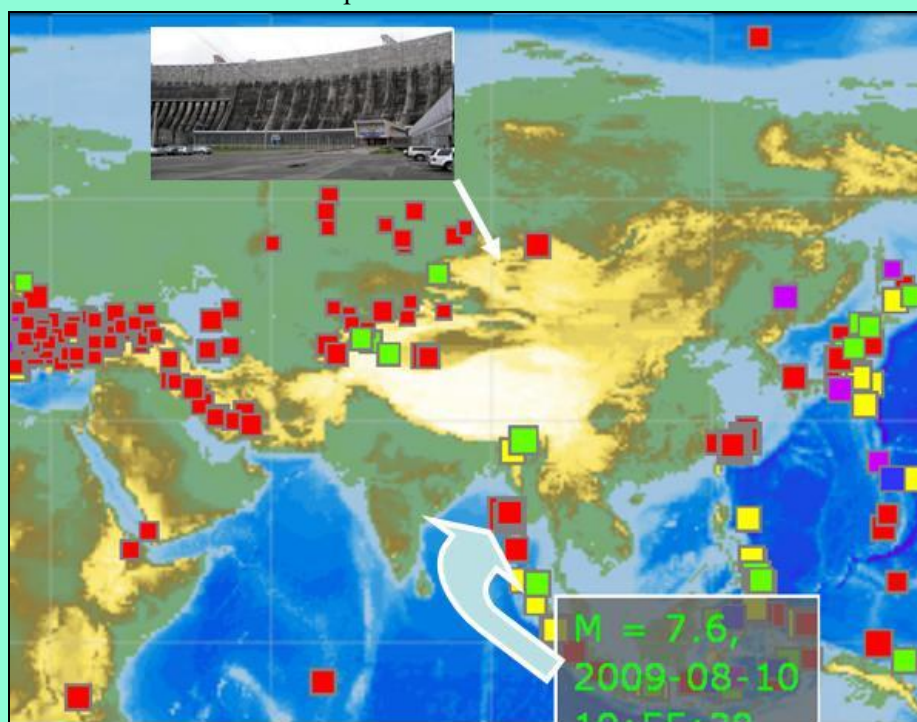


Рис. 1. Карта эпицентров за период с 1 по 17 августа по данным EMSC к моменту аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. Стрелкой показано местоположение СШГЭС с фотографией фронтальной части плотины ГЭС. Фигурной стрелкой показано наиболее сильное $M7.6$ землетрясение 10 августа 2009 года, за неделю до аварии. Размеры квадратиков пропорциональны магнитуде землетрясений (от 3 до 8), их цветом (оттенками) отражена глубина очагов землетрясений.

Еще более драматично, за тот же срок – две недели до аварии на СШГЭС – глобальная сейсмическая ситуация выглядит по данным IRIS на рис. 2. На юго-восточной окраине азиатского континента произошла целая серия землетрясений с магнитудами около 7.

Миграция этой серии отражена черной стрелкой на рис. 2. и она показывает близмеридианальное направление с юга на север. И как будет показано на следующих картах (рис. 3, 5) она стремится к местоположению СШГЭС. И действительно, более отчетливо эта миграция видна на карте, рис. 3., где показана сейсмическая обстановка без слабых толчков – только по умеренно-сильным землетрясениям с $M \geq 5.0$ за период с 10 по 31 августа.

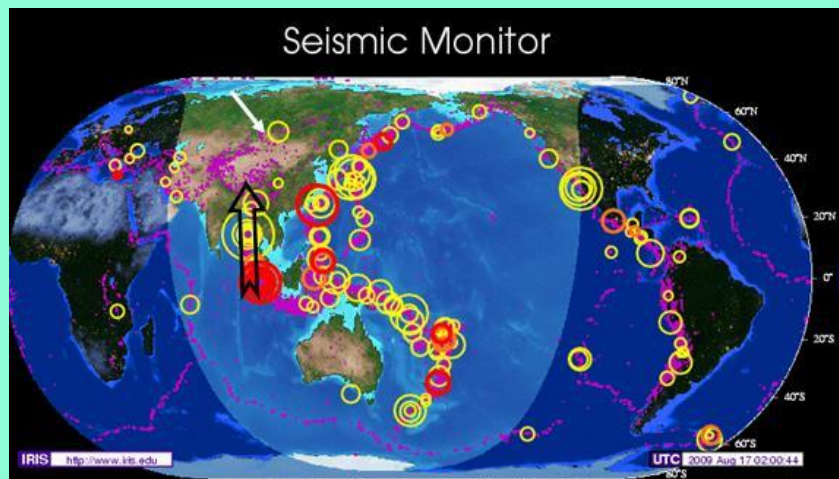


Рис. 2. Глобальная карта эпицентров по данным IRIS (США) в день аварии на СШГЭС. Диаметры кружков каждого эпицентра пропорциональны магнитуде. Максимальное землетрясение на карте М7.6, минимальное М4.0. Цветом (оттенком) показано время возникновения землетрясения – красные за последние сутки, остальные за день и за 2 недели. Белой стрелкой показано местоположение СШГЭС. Черной стрелой показано близмеридиональное направление геодинамического процесса, согласно тектонике плит и вытекающее из временной последовательности землетрясений с карты на рис. 3.

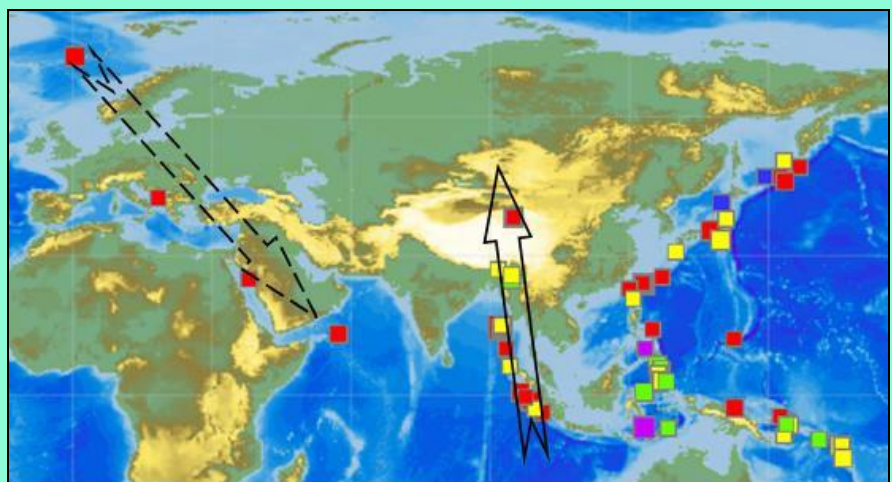


Рис. 3. Распределение эпицентров сильных и умеренных землетрясений $M \geq 5.0$ за период с 10 по 31 августа 2009 г. Демонстрационными стрелками показана миграции очагов сильных и умеренных землетрясений, вытекающие из временной последовательности землетрясений. Общая миграция очагов от Индонезии направлена почти по меридиану на север – сплошная стрела. Кончик стрелы указывает на местоположение СШГЭС. Показана также кажущаяся миграция от Исландии до Африканского рога пунктирная стрела. По данным EMSC.

Большими демонстрационными стрелами показана миграция очагов умеренных и сильных землетрясений с $M \geq 5.0$. Первая основная миграция из района Индонезийских островов до Алтайских гор (район расположения СШГЭС) ориентирована в близмеридиональном направлении и вполне соответствует движению Индийской плиты, что согласуется с основными положениями тектоники плит. Этот путь миграции очагов умеренно-сильных землетрясений действует перманентно, о чем свидетельствуют многолетние данные по глобальной и региональной сейсмичности. В частных случаях цепочек очагов могут быть непродолжительные отклонения от магистрального направления. Но показанное направление многократно доказано векторами сил, действующих в очагах землетрясений, геомагнитными полями и наконец, прямыми геодезическими замерами GPS. Назовем его условным (или демонстрационным) вектором геодинамического процесса (ГДП), так как его размер и точка приложения произвольны и только направление обосновано.

Все это дает нам основание предполагать наличие естественного ГДП, перемещающегося от периферии к центру Евразийского континента. Согласно тектонике плит медленные деформации под литосферой передаются в ее нижние слои и уже в литосфере, по-видимому, ближе к ее верхним хрупким слоям, концентрируются и приобретают линейные формы, проявляющиеся в виде цепочек землетрясений [1].

Для данной работы нет необходимости уходить в глубину геодинамических построений и моделей, достаточно знать основные характеристики ГДП, проявляющихся в текущей сейсмичности. Отметим, что рассматриваемый ГДП – это частный случай коллизии Индийской и Евразийской плит, в значительной степени определяющей геодинамику и современную сейсмичность Центральной Азии и Казахстана [1, 4, 5, 6]. Соответственно мы можем предполагать, что эта коллизия плит влияет и на частоту возникновения и интенсивность экологических бедствий и соответственно на частоту чрезвычайных ситуаций, аварий и тому подобное, вызванных как быстрыми деформациями – сейсмическими воздействиями, так и медленными деформациями земной поверхности в виде наклонов, крипа, дилатансии [1]. Кроме это, в последнее время подмечены и обоснованы так называемые суперинтенсивные деформации [2]. Таким образом, можно предполагать, что геодинамический процесс несет с собой целый комплекс деформаций, создающих экологические угрозы как на поверхности, так и в земной коре.

Еще одним проявлением ГДП является рассмотренные нами геодинамические явления, которые, кстати, хорошо видны в виде широтно протяженного облака эпицентров слабых землетрясений на рис. 1, 4. от Урала до Алтая примерно на широте СШГЭС. Мы подробно рассматривали это в разделе о взрывной эмиссии метана в угольных бассейнах [4, 5]. Нами был сделан вывод, что в основном такая эмиссия возникает в результате давления на Евразийскую плиту со стороны Тихоокеанской и Индийской плит.

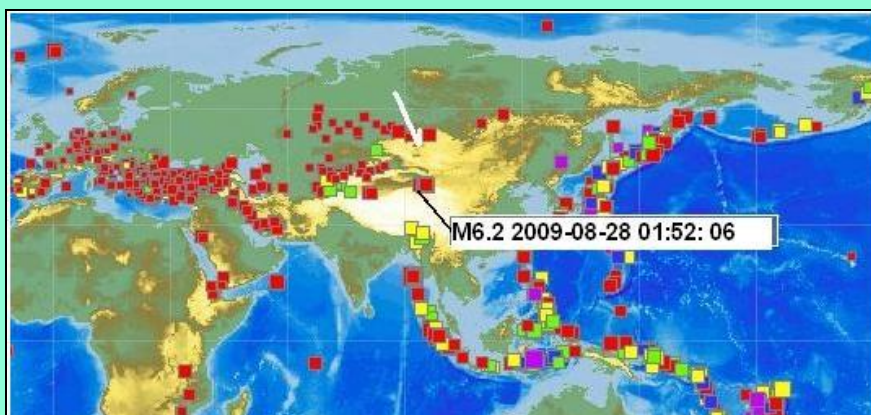


Рис. 4. Карта эпицентров всех зарегистрированных сейсмических событий за август 2009 г. Полосы эпицентров свидетельствуют об активной реакции литосферы на геодинамические воздействия. Белой стрелкой показано местоположение СШГЭС. Отмечено также ближайшее к СШГЭС сильное землетрясение 28 августа 2009 года магнитудой 6.2, произошедшее уже после аварии. Видимо, ГДП продолжался и после аварии.

Интересно отражение еще одного предполагаемого нами условного ГДП от Исландии через всю Европу и Аравийскую плиту до Африканского рога, показанное на рис. 3. фигурной стрелой с пунктирной линией. Основанием для этого послужили времена возникновения этих четырех относительно сильных для Европы землетрясений с магнитудами около 5. Причем отметим, что первое землетрясение (в Исландии) имело магнитуду 6.0, что является несчастным явлением и свидетельствует о большой активности Срединно-Атлантического хребта в этот период времени.

В целом, получается, что Евразийская плита подвергалась в августе 2009 г. сжатию со всех сторон. Важно также отметить, что все эти воздействия иногда проявляются в земной коре в виде экологических бедствий. Например, на Карагандинском угольном бассейне они проявляются в виде выбросов метана на угольных шахтах [4, 5]. В данном рассматрива-

емом случае, по нашему мнению, они способствовали разрушению СШГЭС. То есть большие антропогенные объекты, иногда вызывают собственные разрушения через механизм концентрации тектонических напряжений действующих в литосфере.

Мы не утверждаем, что конкретно некое землетрясение способствовало разрушению СШГЭС 17 августа 2009 года – такого землетрясения не было. Детальные сведения по данным казахстанской сейсмической сети Центра данных ИГИ НЯЦ РК свидетельствуют о повышении уровня местной (слабой) сейсмичности в районе СШГЭС в период аварии и приведены на рис. 5. Условный вектор ГДП, выделенный нами на рис. 3. перенесем на карту эпицентров в более крупном масштабе, где показаны эпицентры слабых землетрясений по данным Центра данных ИГИ НЯЦ РК, рис. 5. Видно, что направление ГДП сохраняется и для слабых землетрясений непосредственно перед аварией. Хотя район СШГЭС (звездочка на карте) находится уже на краю чувствительности казахстанской сейсмической сети, тем не менее, эти и другие данные подтверждают, что сильного землетрясения вблизи СШГЭС не было.

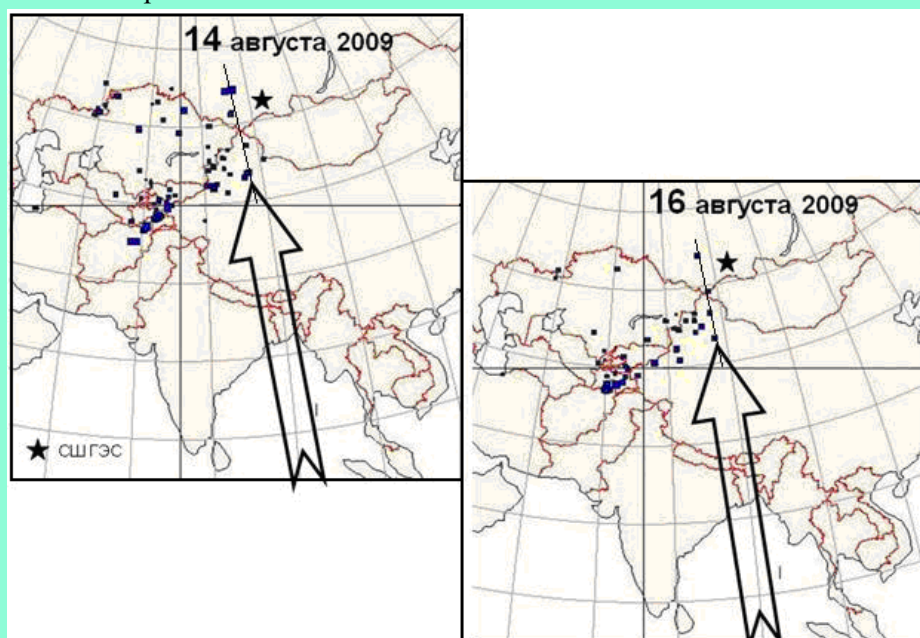


Рис. 5. Карта эпицентров слабых землетрясений за 14 и 16 августа 2009 г. по данным Казахстанского Национального центра данных ИГИ НЯЦ РК. Черные квадратики – эпицентры землетрясений, размер которых пропорционален магнитуде в диапазоне от ≤ 1 до 5. Звездочка – место Саяно-Шушенской ГЭС. Большая стрела – условный ГДП, тонкая линия – его продолжение в поле эпицентров слабых землетрясений.

Важно отметить, что наш условный вектор, подмеченный на уровне умеренных и сильных землетрясений $M > 5.0$, находит подтверждение и на уровне слабых землетрясений $M = 1 \dots 5$. Действительно, на рис. 5. видно, что условный вектор ГДП имеет продолжение (показано тонкой линией) в виде цепочки эпицентров слабых землетрясений. Эта линия проходит западнее СШГЭС на расстоянии примерно 400 км. Мы предполагаем, что основная деформация земной коры имела место на этой линии и только относительно небольшая ее часть достигла района плотины.

Таким образом, предположение автора о ГДП подтверждается в очень широком энергетическом диапазоне магнитуд землетрясений и согласуется по времени. Время жизни ГДП в данном случае занимает примерно 1 месяц при охвате площади литосферы примерно 5×5 тыс. км. Эти пространственно-временные параметры, конечно, необходимо уточнить при дальнейших исследованиях.

Важно отметить собственно геодинамические процессы, так как только они обладают энергией достаточной для разрушения подобных грандиозных объектов. Эта энергия не обязательно проявляется в виде землетрясений. Прежде всего, это медленные деформации. Например, в сейсмологии давно известен эффект наклонов земной поверхности перед сильными землетрясениями. Также часто наблюдались медленные деформации в виде сжатия и растяжений. Наконец, отмечены так называемые суперинтенсивные деформации в зонах разломов, на самих разломах, даже в сейсмически неактивных районах. Они достигают значений первых сантиметров за очень короткие промежутки времени. То есть могут иметь место разнообразные медленные деформации литосферы. И здесь очень важны данные приведенные исследователем этой аварии – профессором В.В Тетельминым о наблюдающемся суммарном прогибе земной коры под СШГЭС величиной 30 см [3]. То есть можно с большой уверенностью предполагать наличие аномального наклона земной коры и считать местоположение СШГЭС новым (антропогенным) концентратором напряжений земной коры в масштабах региона Азии.

Будучи таковым концентратором, СШГЭС привлекала, и будет привлекать литосферные тектонические напряжения, о чем свидетельствуют многочисленные землетрясения. Возможно, что к 17 августа 2009 г. деформации и наклоны земной коры превысили допустимые нор-

мы этих величин для генераторов ГЭС, которые, как известно, отличаются строгими требованиями.

В первом приближении можно полагать, что в первой половине августа деформация условного ГДП была больше (ближайшее сильное землетрясение: 10 августа 2009 года М 7.6, рис. 1.), чем после аварии, когда произошло ближайшее сильное землетрясение 28 августа всего лишь М 6.2., рис. 4. Все это наводит на мысль, что в августе земная кора в районе СШГЭС испытала существенную деформацию, которая, видимо, имела медленный характер и к 17 августа она достигла максимума, а затем постепенно уменьшилась. Например, можно предположить, что это были медленные наклоны, которые 17 числа достигли максимума вследствие чего основания, жестко закрепленные на фундаменте тела плотины, отошли от гироскопически стабильных осей вращающихся генераторов СШГЭС на недопустимо большую величину, чем технический допуск, что и привело к массовым разрушениям. Однако, данное предположение, конечно, нуждается в дополнительной технической аргументации и расчетах.

В любом случае, очевидна синхронность во времени и пространстве собственно аварии СШГЭС и геодинамического процесса выявленного нами по данным о сейсмичности.

Заключение

Внешние экологические угрозы (за исключением атмосферных, водных и других трансграничных влияний) в основном связаны с геодинамическими аспектами нашей преимущественно сухопутной территории в центре Евразийского континента. Было показано, что эндогенные внешние экологические угрозы привносятся в центр Азиатского континента извне. В первую очередь это касается территории Республики Казахстан. Для самых больших антропогенных объектов нашей территории – глубоких угольных шахт Карагандинского угольного бассейна – основная внешняя угроза это геодинамическое воздействие Тихоокеанской и Индийской плит [2, 3]. В данной работе автор показал на примере аварии СШГЭС, что эти же глобальные геодинамические процессы проявили себя как внешние эндогенные угрозы.

В то же время, рассматривая глобальные процессы, мы наметили пути их мониторинга через простой и быстрый анализ геодинамических процессов. В целом, мы стремились показать, что только привлечение новых научных подходов и эффективных методов способно привнести яс-

ность в понимание причин экологических угроз. Также наш подход открывает возможности предупреждения внешних экологических угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарагаш И.А., Хайдаров М.С. Модель развития сейсмотектонического процесса в зоне тектонического разлома перед сильным землетрясением // Межведомственный геофизический комитет при президиуме АН СССР, Результаты исследований по международным геофизическим проектам // Сейсмологические исследования. – 1989. – № 11. – С. 88-97.
2. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. – М.: Наука, 1989. – 199 с.
3. Тетельмин В.В. Воздействие строительства крупных гидроузлов на изостатическое состояние земной коры // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 11. – С 46-50.
4. Тулекбаев Е.Т., Хайдаров М.С. Сейсмоэкология подземных угольных месторождений Центрального Казахстана / в сб. Труды первой международной научно-практической конференции «Современное состояние и проблемы инженерной экологии, биотехнологии и устойчивого развития». – Алматы: КазНТУ, 2010. – С. 321-326.
5. Тулекбаев Е.Т., Хайдаров М.С., Геодинамические явления и глобальная температура атмосферы Земли // Гидрометеорология и Экология. – 2010. – № 4. – С. 67-76.
6. Хайдаров М.С. Очаговые спектры землетрясений Северного Тянь-Шаня и пространственно-временные вариации угловой частоты: Дис. ... канд. физ.-мат. наук / Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР. – М., 1986. – 149 с.

Поступила 05.02.2013

Физ.-мат. ғылымд. канд. М.С. Хайдаров

ІРІ ГЭС СЫРТҚЫ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАТЕРЛЕРІ

Үлкен антропогендік объектілердің қирауының басты себептерінің ресми тізіміне кірмейтін геодинамикалық үдерістермен байланысты сыртқы экологиялық қатерлер түрі қарастырылды және ол әлі ғылыми ізденістер тақырыбы болып табылады. Геодинамикалық үдерістердің орасан зор антропогендік объектілерге қарқынды әсер етуі үлкен қауіп төндіруі кенет және ауқымды экологиялық апаттарға әкеліп соғады. 2009 ж. Саян-Шушинск ГЭС қирау мысалында геодинамикалық үдерістердің осы

апат орны мен уақытымен кеңістіктік-уақыттық сәйкестік көрсетілген.