

Татьяна А. Ташлыкова<sup>1</sup>, Тамара Г. Рященко<sup>2</sup>, Елена А. Лукьянова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>г. Иркутск, Россия; e-mail: tta1964@mail.ru

<sup>2</sup>Иркутский государственный технический университет, ул. Лермонтова 83, 664074 Иркутск, Россия;

e-mail: ryashenk@crust.irk.ru; lukirgtu@yandex.ru

## О ПРИРОДЕ НЕКОТОРЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИАНГАРЬЯ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

Taszlykova T. A., Riaszczenko T. G., Łukjanowa E. A. **O naturze niektórych trzęsień ziemi na obszarze przyległym do Angary (obwód irkucki, Rosja).** Na świecie obserwuje się aktywizację procesów sejsmicznych na terenach przyległych do wielkich sztucznych zbiorników wodnych. Są one również notowane od czasu powstania głębokich zbiorników wodnych na Angarze: w sąsiedztwie tych zbiorników stwierdzono około 200 takich zjawisk (w tym cechujących się dużą magnitudą), na których genezę istnieją różne punkty widzenia. W trakcie badania trzęsień ziemi na wspomnianym obszarze autorki znalazły dane na korzyść ich natury antropogenicznej (technogenicznej) – RIS (reservoir induced seismicity). Zjawiska te w wielu przypadkach powodują katastrofalne skutki i stanowią ważny współczesny problem geoeologiczny. Stwierdzono, że angarskie RIS mają wspólne cechy z trzęsieniami ziemi zanotowanymi w 1967 roku w pobliżu zbiornika Koyna w Indiach.

Szczegółowa analiza wyników badań Zbiornika Brackiego pozwoliła na określenie 0,5-metrowego interwału jego poziomów eksploatacji, który okazuje się krytyczny dla inicjacji aktywności sejsmicznej. Z tym wąskim interwałem są związane wszystkie wielkie trzęsienia ziemi na obszarach przyległych do zbiornika. Potwierdza to ich naturę technogeniczną i wyjaśnia sytuację RIS na innych wielkich zbiornikach wodnych na świecie. Podobnego podejścia do badań nie stwierdzono w żadnych źródłach zagranicznych.

Autorki dochodzą do wniosku, że RIS jest współcześnie nowym endogenicznym procesem geologicznym natury technogenicznej, który powinien być uwzględniany w badaniach.

Tashlykova T. A., Ryashchenko T. G., Lukyanova E. A. **About the nature of some earthquakes of Priangarya (Irkutsk region, Russia).** In the world in connection with the creation of reservoirs, the activation of the seismic process in the adjacent territories. With the filling of the Angara deep water reservoirs, it also changed with the registration of about 200 earthquakes, including those with a high magnitude, on the nature of which different points of view. Investigating the problem, the authors finds the data in favor of their technogenic nature (RIS – reservoir induced seismicity), which in some cases leads to disastrous consequences and represents an important geoeological problem of our time. Similar features are noted in the manifestation of RIS with earthquakes in the Koyna area (India) of 1967.

Detailed studies of the problem made it possible to reveal in the operational values of the Bratsk Reservoir a narrow 0.5-meter interval of values, where all major earthquakes hit the adjacent territory, which only confirms their technogenic nature and clarifies the situation of RIS formation in other reservoirs of the world. A similar approach in the study in foreign sources was not found anywhere.

The authors comes to the conclusion that RIS is a new endogenous geological process of contemporary times of technogenic origin, which must be taken into account.

**Ключевые слова:** магнитуда, новый техногенный процесс, RIS, водохранилища, каталог землетрясений, региональная сеть сейсмических станций

**Słowa kluczowe:** magnituda, nowy proces technogeniczny, RIS, zbiorniki wodne, katalog trzęsień ziemi, regionalna sieć stacji sejsmicznych

**Key words:** magnitude, a new technogenic process, RIS, reservoirs, a catalog of earthquakes, a regional network of seismic stations

### Аннотация

В мире. в связи с созданием водохранилищ отмечается активизация сейсмического процесса на при-

легающих территориях. С наполнением ангарских глубоководных водохранилищ также изменилась ситуация с регистрацией порядка 200 землетрясений, в том числе с высокой магнитудой, на при-

роду которой существуют разные точки зрения. Исследуя проблему, авторы находят данные в пользу их техногенной природы – RIS, которая в ряде случаев приводит к катастрофическим последствиям и представляет важную геоэкологическую проблему современности. При проведении исследований отмечаются схожие черты в проявлении RIS с землетрясениями в районе Койны (Индия) 1967 г.

При этом детальные исследования проблемы позволили выявить в эксплуатационных значениях Братского водохранилища узкий 0,5-метровый интервал значений, куда попали все крупные землетрясения на прилегающей к нему территории, что только подтверждает их техногенную природу и проясняет ситуацию формирования RIS на других водохранилищах мира. Подобного подхода в исследовании в зарубежных источниках нигде не найдено.

Авторы приходят к выводу, что RIS – это новый эндогенный геологический процесс современности техногенного происхождения, который необходимо учитывать.

## ВВЕДЕНИЕ

В XX веке в связи с развитием отдельных отраслей промышленности отмечался „бум“ по созданию водохранилищ, когда наряду с получением электроэнергии для производственных целей попутно решались вопросы по водоснабжению и борьбе с наводнениями, развитию водного транспорта, ирригации и рыбного хозяйства, рекреации и лесосплава (фот. 1). В связи с этим активное развитие получило направление науки о влиянии водохранилищ на окружающую среду.

После их создания наряду с появлением в береговой зоне нового геологического процесса экзогенной природы – абразии (фот. 2), в ряде случаев происходило и увеличение сейсмичности территории, на природу которой имелись разные точки зрения. Первые сейсмические толчки воспринимались как фоновые, так как специальных наблюдений предварительно не проводилось. Однако ученые все чаще стали констатировать их концентрацию в районах созданных водохранилищ (ГУПТА, РАСТОГИ, 1979).

В настоящее время в мире накоплено достаточное количество фактов, подтверждающих связь между созданием водохранилищ и активизацией сейсмического процесса на прилега-

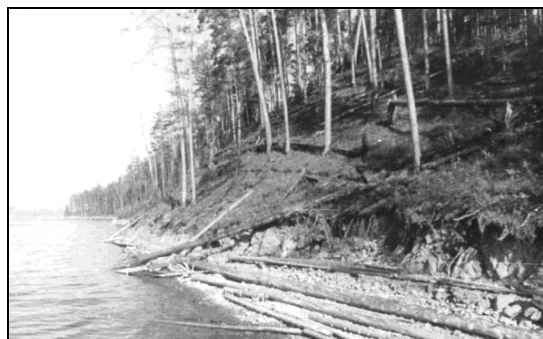


А



Б

Фот. 1. Куйбышевское (А, Россия) и Асуанское (Б – Египет) водохранилища (по: интернет)  
 Fot. 1. Zbiornik Kujbyszewski – Zb. Samarski (А – Rosja) i Zbiornik Asuański – Jez. Namera (Б, Egipt) (wg: Internet)  
 Photo 1. Kuybyshev – Samara (A, Russia) and Aswan – Lake Nasser (B, Egypt) (from: internet) water reservoirs



А



Б

Фот. 2. Абразия на Усть-Илимском (А) и Братском (Б) водохранилищах (Россия) (архив ИЗК СО АН СССР)  
 Fot. 2. Abrazja na brzegach zbiorników: Ust'-Ilimskim (А) i Brackim (Б) (Rosja) (archiwum ISZ SO AN ZSRR)  
 Photo 2. Abrasion at the Ust-Ilimsk (A) and Bratsk (B) reservoirs (Russia) (archive of IEC SB Academy of Sciences of the USSR)

ющих территориях, ранее считавшихся асейсмичными. Такие землетрясения могут иметь значительную магнитуду ( $M > 5,5-6$ ), а в некоторых случаях сопровождаются и катастрофическими разрушениями. Примеры возникших крупных землетрясений в районе плотины Койна, водохранилищ Карибы, Мид, Марафон и ряде других искусственных водоемов свидетельствуют в пользу зарождения **нового эндогенного** геологического процесса, ранее никогда не проявлявшегося: наведенных землетрясений от создания водохранилищ (RIS), входящего (как и абразия) в первую десятку опасных природных процессов, проявление которых сопровождается разной степенью катастрофических последствий. В результате, население, производственная и бытовая инфраструктура таких территорий подвержена геологическим рискам.

Необходимо отметить, что до настоящего времени термин „наведенная сейсмичность” объединяло явления двух типов: а) инициирование – воздействие на очаг уже подготовленного землетрясения (его запуск – триггер); б) возбуждение – воздействие на определенные зоны земной коры, следствием которого оказываются землетрясения, которые без такого воздействия не могли произойти. Эти землетрясения могут быть возбуждены созданием искусственного водоема (водохранилища), разработкой

месторождений нефти, газа, закачкой воды в пласт и т.д. (НИКОЛАЕВ, 1994).

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

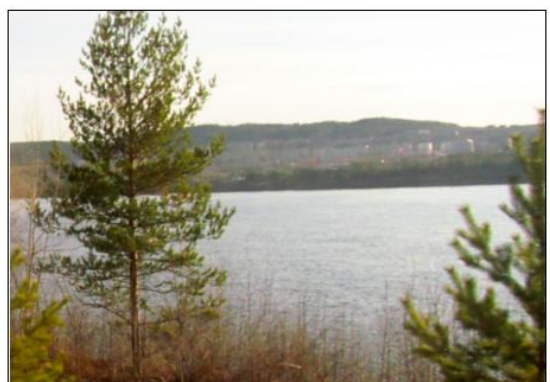
Благоприятные природные условия для создания водохранилищ имеются в континентальной части Евразии, на юге Восточной Сибири, в Приангарье (Иркутская область, Россия) (рис. 1). Образованные путем перекрытия р. Ангара высоконапорными плотинами второй и третьей ступенями каскада Братское и Усть-Илимское водохранилища принадлежат к крупнейшим глубоководным водохранилищам мира; их наполнение происходило в 60–70 гг. прошлого столетия (фот. 3А, Б). В ранжированности Братское занимает второе место среди всех антропогенных водоемов, водный объем которого равен  $169,3 \text{ км}^3$  на площади в  $5\,470 \text{ км}^2$  (САВЕЛЬЕВ, 2000). Примыкающие с севера глубоководные Усть-Илимское и Богучанское водохранилища в три раза меньше Братского. Наполнение четвертой ступени (Богучанского водохранилища – фот. 3В) произведено в 2012–2015 гг. ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Богучанское\\_водохранилище](https://ru.wikipedia.org/wiki/Богучанское_водохранилище)). Отличительной особенностью для Ангарского каскада водохранилищ стало расположение под регулирующим влиянием оз. Байкал (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение Ангарского каскада водохранилищ  
Rys. 1. Lokalizacja angarskiej kaskady zbiorników wodnych  
Fig. 1. Location of the Angara cascade of water reservoirs



А



Б



В

Фот. 3. Панорамные снимки Братского (А), Усть-Илимского (Б) и Богучанского (В) водохранилищ (А – фото из Интернета; Б и В – фот. Т. А. Ташлыкковой)

Fot. 3. Fragment Zbiornika Brackiego (А), Ust'Ilimskiego (Б) i Boguczanskiiego (В) (А – internet, Б i В – fot. Т. А. Taszlykowa)

Photo 3. Panoramic pictures of Bratsk (А), Ust-Ilim (Б) and Boguchansky (В) water reservoirs (А – photo from the Internet, Б and D – phot. by Т. А. Tashlykova)

**Цель** написания статьи заключается в выяснении возможности влияния ангарских водохранилищ на возникновение наведенных землетрясений.

**Методы исследования** заключаются в анализе и обобщении гидрологических показателей ангарских водохранилищ в сопоставлении с данными Каталога землетрясений Байкальского филиала геофизической службы (БФ ГС СО РАН) на возможность проявления RIS.

## ОРГАНИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРИАНГАРЬЕ

На территории Приангарья регистрация землетрясений стала осуществляться с 1901 г., когда в г. Иркутске начала работать первая сейсмостанция, оборудованная сначала приборами механической, а затем и гальванометрической регистрации, и ориентированная на изучение удаленных землетрясений. С момента заполнения Братского водохранилища (1961 г.) условия сейсмической регистрации улучшились с увеличением количества сейсмостанций. Начиная „с 60-х годов XX века осуществляется контроль территории южной части Сибирской платформы (южнее 60-й параллели) Байкальской региональной сетью сейсмических станций” (ГОЛЕНЕЦКИЙ, 2001), оснащенные современной цифровой аппаратурой.

## КРУПНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ Р. АНГАРА

С созданием Ангарского каскада глубоководных водохранилищ изменилась сейсмологическая обстановка территории с регистрацией порядка 200 землетрясений с разным энергетическим классом 6–13 ( $K = 6–13$ ) (рис. 2) (*Каталог землетрясений...*, 1960–2014). Однако фактов в пользу присутствия здесь наведенной сейсмичности до сих пор не было.

Первые землетрясения с  $K = 6–7$  зарегистрированы на левобережье верхней ангарской русловой части Братского водохранилища в 1968 г. – в первый год после его наполнения (на рис. 2 в районе пос. Балаганск).

Любопытна локализация первого крупного землетрясения на Братском с  $K = 10$ , которое произошло 3.02.1977 г. в ночное время на левобережье Окинской русловой части (рис. 2).

26.02.1996 г. в 09:31 ч. местного времени северо-восточнее эпицентра землетрясения 3.02.1977 г. на правобережье той же Окинской русловой акватории произошло другое крупное сейсмособытие из всего периода эксплуатации Братского водохранилища с  $K = 11,6$  (рис. 2).

9.08.2002 г в 10:31 ч. местного времени вдоль восточной стороны широтного Заярского расширения произошло подряд три толчка с разницей в 9 и 5 сек: в двух первых случаях с  $K = 10,4$ , в третьем – с  $K = 11,2$  (рис. 2).

Два других крупных землетрясения произошли в бассейне притоков второго порядка той же Окинской акватории. Так, 24.06.1995 г. южнее г. Зима зарегистрировано два ночных сейсмособытия с интервалом в 25 минут: первое из которых зафиксировано в 22:15 местного времени с  $K = 9,8$ , второе произошло юго-западнее с  $K = 8,2$ . Десятью годами позже, 15.12.2005 г. северо-западнее от этих эпицентров зарегистрировано другое крупное землетрясение с  $K = 11,5$  (рис. 2).

17 января 2014 г. в 16.01 местного времени в 110–115 км от Богучанской плотины БФ ГС СО РАН зарегистрировано самое крупное платформенное землетрясение данной территории с  $K = 13,3$  ( $M = 4,7$ ) (рис. 2). Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН вывел другую магнитуду –  $M = 5,9$  (*asf(at)gs.nsc.ru*). Кроме того, это землетрясение было зарегистрировано еще 22 региональными и удаленными станциями, в том числе сейсмоцентром NEIC в США.

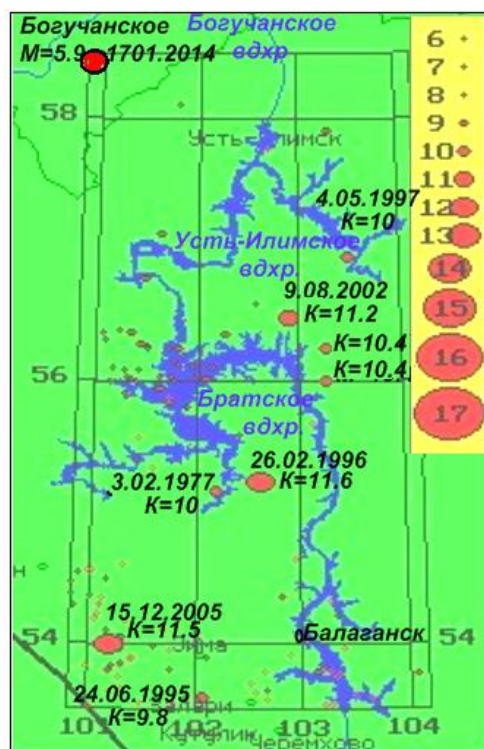


Рис. 2. Эпицентры землетрясений с разным  $K$  территории ангарских водохранилищ за период 1960–2014 гг. (по: *Каталог землетрясений...*, 1960–2014)

Rys. 2. Epicentra trzęsień ziemi z różnymi wartościami  $K$  na obszarze zbiorników angarskich w okresie 1960–2014 (wg: *Каталог землетрясений...*, 1960–2014)

Fig. 2. Epicenters of earthquakes with different  $K$  to the territory of the Angara reservoirs for the period 1960–2014 (acc. to: *Каталог землетрясений...*, 1960–2014)

## ДИСКУССИЯ

До настоящего времени о природе происходящих землетрясений в районе р. Ангара с разным энергетическим классом ( $K$ ) существовало две точки зрения: 1) землетрясения имеют тектоническое (геологическое) происхождение, т. е. являются природными процессами; 2) землетрясения связаны с промышленными взрывами, т. е. определяются техногенными воздействиями промышленного характера.

Сторонником первой гипотезы был ведущий сейсмолог ИЗК СО РАН, доктор г.-м. наук С. И. ГОЛЕНЕЦКИЙ (1999), хотя и выделял в качестве особой задачи изучение индуцированной (наведенной) сейсмичности в районах созданных ангарских водохранилищ. Накоплению довольно однородного фактического материала по сейсмическим проявлениям в южных частях Сибирской платформы способствовали результаты тридцатилетних наблюдений на сейсмических станциях. Одно из крупных землетрясений с  $K = 11,6$  (рис. 2), по мнению С. И. ГОЛЕНЕЦКОГО (1998), не имеет достаточных оснований для отнесения его к разряду наведенных в результате наполнения Братского водохранилища; предпочтительнее считать его естественным (неиндуцированным).

В районе Усть-Илимского водохранилища с регистрацией единичных интенсивных землетрясений, по С. И. Голенецкому, также недостаточно данных для заключения о существовании RIS; по его мнению, зарегистрированные землетрясения отражают обычную жизнь Сибирской платформы, искаженную промышленными взрывами, которые происходят в дневное время. По результатам анализа Каталога землетрясений южной части Сибирской платформы, С. И. ГОЛЕНЕЦКИМ (2001) сделан вывод „об отсутствии в районах ангарских водохранилищ каких-либо признаков проявлений наведенной сейсмичности“.

Сторонником другой гипотезы был зав. лабораторией ИЗК СО РАН, кандидат г.-м. наук В. А. ПАВЛЕНОВ (1999). Ссылаясь на результаты работ Ф. Ф. АПТИКАЕВА (1969), отмечал, что с целью получения сейсмического эффекта для событий с  $K = 7–10$  необходимо взорвать от 0,2 до 20 т взрывчатых веществ (ВВ). При этом считал, что вопрос о возможных RIS в районе ангарских водохранилищ остается открытым. Представле-

ния В. А. Павленова о возможном влиянии промышленных горнотехнических взрывов на возможные проявления RIS разделили авторы обзорной статьи Ю. Б. ТРЖЦИНСКИЙ и К. Г. ЛЕВИ (2009).

Однако, интересные результаты натурального эксперимента, позволяющего увидеть отклик геологической среды на искусственный взрыв, получены группой ученых из ИДГ РАН, г. Москва (ВИНОГРАДОВ и др., 2008). Так, опытные взрывы проводились на правом скальном берегу р. Ангары на территории Красноярского железорудного месторождения, расположенного в 9,6 км на северо-восток от плотины на Братском водохранилище. Породы во взрываемых блоках были представлены трещиноватыми долеритами с плотностью 2,9–3,0 г/см<sup>3</sup>; крепость по шкале Протодяконова равна 16–18. При эксперименте одновременно было взорвано пять скважинных зарядов с сеткой 4 x 4 м; в качестве ВВ использовался аммонит, суммарная масса заряда составляла 805 кг, что в среднем соответствует массе ВВ, применяемых при работах на карьерах. Расстояние от эпицентра взрыва до сейсмопункта на плотине, который должен был зарегистрировать сейсмозрывную волну, составляло 9,35 км. В результате проведенного натурального эксперимента выяснилось, что интенсивность сейсмических колебаний на скальном берегу р. Ангара в местах выходов долеритов существенно ниже одного балла. Таким образом, влияние промышленных взрывов оказалось весьма незначительным для возникновения искусственного землетрясения.

Приведем несколько выводов, сделанных д. г.-м. наук ИЗК СО РАН К. Ж. СЕМИНСКИМ и канд. г.-м. наук Я. Б. РАДЗИМИНОВИЧ (2009): 1) происхождение большинства землетрясений на Сибирской платформе связано с единым **деструктивным процессом**, и лишь отдельные скопления дневных событий обусловлены народно-хозяйственным освоением региона; 2) нельзя полностью исключить вклад техногенного фактора в проявление сейсмичности, поскольку в восточной части района располагается одно из водохранилищ ангарского каскада и г. Усть-Илимск с комплексом промышленных коммуникаций и дорог; 3) существующие тектонические напряжения в районе ангарских водохранилищ увеличиваются за счет дополнительной нагрузки от веса воды, величина ко-

торой периодически изменяется в ходе эксплуатации гидроэлектростанций, что может свидетельствовать в пользу наведенной сейсмичности.

Проработав представленные К. Ж. СЕМИНСКИМ и Я. Б. РАДЗИМИНОВИЧ (2009) материалы, по второму пункту выводов авторам хочется особо возразить, ведь:

- Усть-Илимское водохранилище по водному объему в три раза меньше Братского,
- объем его рабочей призмы в 3–4 раза меньше Братской,
- типы регулирования стока у этих водоемов разные,
- в районе Усть-Илимского водохранилища за всю историю наблюдений не было землетрясений с  $K > 10$ , что не скажешь про территорию вокруг Братского, когда только за последние два десятилетия произошел ряд крупных землетрясений с  $K > 11$ ,
- освоенность территории (со степенью развития инфраструктуры) вокруг Братского водохранилища на несколько порядков выше, чем в районе Усть-Илимского.

В результате приведенных доводов считаем, что степень влияния на геологическую среду территории Средней Ангары глубоководного Братского водохранилища значительно весомее, нежели от Усть-Илимского.

Что касается третьего пункта выводов (СЕМИНСКИЙ, РАДЗИМИНОВИЧ, 2009), то хочется заметить, что сработка 1,5-метрового водного слоя Усть-Илимского и 3–4-метрового Братского довольно незначительны в сравнении с глубоководностью самих водоемов – всего 1,5 и 3,5% от высоты водного столба каждого. Считаем, что тектонические напряжения будут естественно меняться при изменении уровня воды в этих водоемах, но это будут достаточно небольшие величины, которые **не могут** быть причиной, вызывающей RIS, а тем более с высокой  $M$ .

Из практики также известно, что созданные водохранилища (разных объемов и занимаемой площади) представляют собой природные лаборатории, в которых можно наблюдать и изучать развитие как унаследованных геологических процессов, так и вновь появившихся только за более короткий промежуток времени, нежели если бы они развивались в естественных природных условиях.

Около 10 лет назад встал вопрос о возобновлении строительства Богучанской плотины,

а значит, предстояло наполнить IV-ю ступень Ангарского каскада водохранилищ. Таким образом, в настоящее время в нашей стране осуществился натурный эксперимент. На разных управленческих уровнях в регионе актуальным был вопрос: будут ли возникать землетрясения в связи с наполнением Богучанского водохранилища? Такой вопрос был задан и автору, который выступал с докладом на IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике (10–12 октября 2011 г., г. Иркутск), на что последовал утвердительный ответ (ТАШЛЫКОВА, 2011). Однако, эта научная позиция не совпала с мнением ведущих сотрудников ИЗК СО РАН.

По данным *asf(at)gs.nsjc.ru* оказалось, что только за январь 2014 г. в Нижнем Приангарье (в районе наполняющегося Богучанского водохранилища) произошло 15 землетрясений, два из которых достаточно сильные; среди них дневное с  $M = 5.9$  от 17.01.2014 г., ставшее самым сильным за всю историю территории р. Ангара (рис. 2).

По мнению А. И. СЕРЕДКИНОЙ с соавторами (2014) это „землетрясение 17.01.2014 г. имело естественную природу... Благодаря совместной инверсии амплитудных спектров поверхностных волн и знаков первых выступлений продольных волн на региональных станциях была уточнена глубина гипоцентра землетрясения  $h = 6$  км”.

Проанализировав представленные материалы (СЕРЕДКИНА с соавторами, 2014), нами обнаружены аргументы в пользу техногенной природы этого самого сильного за все время наблюдений в Приангарье землетрясения. В частности А. И. СЕРЕДКИНА и др. (2014) отмечают, что имели место „в очаге сдвиговые смещения, сопровождавшиеся небольшой сбросовой компонентой...”. По нашему мнению, этот важный факт, как и ряд других (например, вычисленная БФ ГС СО РАН глубина очага землетрясения  $h = 6$  км, а по данным Каталога NEIC  $h = 12,8$  км) с учетом зимней сработки водоема, выступают одними из важных аргументов в пользу того, что такие землетрясения являются наведенными от создания водохранилищ.

По мнению гл. науч. сотр. ИЗК СО РАН, д.г.-м.н. В. В. Ружич (2014) „сейсмическое событие 17.01.2014 г. с  $M = 4,7$  было вызвано близким к завершению наполнения Богучанского водохранилища... Оно считается наведенным, т. е.

спровоцированным техногенными действиями”. Эту точку зрения В. В. Ружича мы разделяем и полностью поддерживаем, аргументируя.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные собственные исследования о влиянии ангарских водохранилищ на изменение сейсмологической ситуации территории нами выполнялись с позиции анализа функционирования водно-хозяйственного комплекса (ВХК). Этот подход отличается от выше описанных представлений о причинах активизации сейсмичности в районах искусственных водоемов и осуществлен в несколько этапов. Во-первых, был проанализирован Каталог землетрясений БФ ГС СО РАН за период 1960–2009 гг. территории Средней Ангары с особым акцентом на детальное изучение толчков на прилегающей к водоемам территории, во-вторых, сопоставлены эти землетрясения с ходом уровней ангарских водоемов в многолетнем и годовом планах, в-третьих, проанализированы такие землетрясения с учетом режимов их эксплуатации. Полученные результаты позволили найти весомые аргументы в пользу техногенной природы ряда произошедших землетрясений вопреки ранее существующим версиям и сформировать свою точку зрения на причины возникновения RIS (ТАШЛЫКОВА, 2012).

Так, в процессе исследований нами было установлено, что крупные землетрясения 24.06.1995 и 9.08.2002 гг. (рис. 2) произошли в период летнего наполнения Братского водохранилища, другие крупные землетрясения 3.02.1977, 26.02.1996 и 15.12.2005 гг. – в фазу его зимней сработки. Особо акцентируем, что данные годы в Прибайкалье были отмечены как многоводные, что для нас частично проясняет картину формирования RIS. Уточняем, что и землетрясение с  $M = 5,9$  в районе Богучанского водохранилища также произошло в фазе частичной зимней сработки его уровня (рис. 2).

Далее, был проведен детальный анализ полученных в ходе исследований материалов по глубоководному Братскому водохранилищу, который позволил выявить в его эксплуатационных отметках 0,5-метровый интервал, оказавшийся критическим для инициации сейсмической активности. Так, в этот интервал попали землетрясения с разным  $K$ , в том числе **все круп-**

ные с  $K > 11$ : 26.02.1996, 09.08.2002, 15.12.2005 гг. (рис. 3; 2), что однозначно подтверждает их техногенную природу. Подобного подхода в исследовании в зарубежных источниках нигде не найдено.

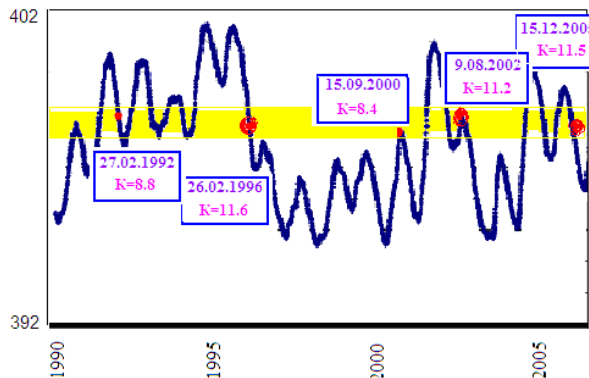


Рис. 3. Землетрясения в проекции функционирования Братского водохранилища

Rys. 3. Trzęsienia ziemi w czasie funkcjonowania Zbiornika Brackiego

Fig. 3. Earthquakes in the projection of the functioning of the Bratsk water reservoir

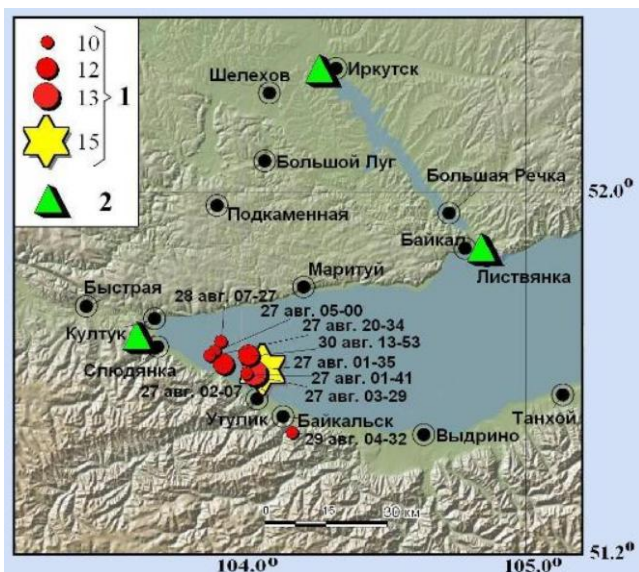


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Южного Байкала за период 27–30 августа 2008 года (по: *Каталог землетрясений...*, 1960–2014)

Rys. 4. Mapa epicentrow trzęsień ziemi południowego Bajkału w okresie 27–30 sierpnia 2008 roku (wg: *Katatalog ziemtrząszeń...*, 1960–2014)

Fig. 4. Map of earthquake epicenters of Southern Baikal for the period of August 27–30, 2008 (after: *Katatalog ziemtrząszeń...*, 1960–2014)

Анализируя материалы по крупным землетрясениям в районе плотины Койна в сентябре и декабре 1967 г. (ГУПТА, РАСТОГИ, 1979), отме-

чаем, что эти ситуации схожи с характером проявления землетрясений 9.08.2002 и 26.02.1996 гг. в районе Братского водохранилища (рис. 2), а также Култукского с  $M = 6,3$  на оз. Байкал 27.08.2008 г. (рис. 4), при их характере проявления мы находим общие черты.

Для нас пока открытым остается вопрос: почему на Богучанском водохранилище, которое более чем в три раза меньше глубоководного Братского и глубиной на момент заполнения только 56 м, произошло такое мощное землетрясение с  $M = 5,9$ ? Считаем, что у данного толчка есть схожие черты с ситуацией, разворачивавшейся в районе плотины Койна осенью-зимой 1967 г.

## ВЫВОДЫ

Анализ землетрясений, возникших после наполнения ангарских глубоководных водохранилищ, позволил констатировать следующее:

1. проявление сейсмичности на территории вокруг Братского водохранилища началось с его верхней ангарской мелководной части, что частично противоречит характеру проявления RIS на других глубоководных водоемах мира,
2. большинство землетрясений происходят в Окинской акватории Братского водохранилища,
3. ряд эпицентров землетрясений локализуется под ложем глубоководного Братского, где исключаются промышленные взрывы (рис. 2),
4. ряд возникших крупных землетрясений Приангарья связан с завершающим этапом наполнения чаш Усть-Илимского (землетрясение 3.02.1977 г.), Богучанского водохранилищ (толчок 17.01.2014 г.).
5. гидродинамическая нагрузка в совокупности с геологическими условиями территории и водностью года выступают в качестве важных факторов, запускающих механизм RIS,
6. отличительной чертой RIS от тектонических землетрясений является присутствие сбросовой компоненты (прослеживающейся при Богучанском землетрясении 17.01.2014 г., Култукском 27.08.2008 г. на Байкале, а также в районе Койна 1967 г. и др.),
7. эпицентры землетрясений, на примере территории вокруг Братского водохранилища, очерчивают зону его влияния на геологическую среду, которая может простирается свы-



- ше 100 км от его береговой линии (что проясняет ситуацию наряду с другими водохранилищами мира в пользу присутствия там тоже RIS в противовес доминирующей точке зрения тектонической их природы),
8. выявленный 0,5-метровый интервал в эксплуатационных отметках Братского водохранилища со всеми попавшими туда крупными землетрясениями, только подтверждает существование нового эндогенного геологического процесса техногенной природы – RIS, которая есть реальность и с которой надо считаться для снижения геологических рисков территорий и жизни людей.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аптикаев Ф. Ф., 1969: Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах. Наука, Москва: 104 с.
- Виноградов Е. А., Гончаров А. Н., Куликов В. И. и др., 2008: Техногенные колебания плотины Братской ГЭС. В: Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы: Сборник научных трудов ИДГ РАН. ГЕОС, Москва: 81–88.
- Голенецкий С. И., 1998: Редкое землетрясение на юге Сибирской платформы. Доклады Академии наук, 363, 3: 392–395.
- Голенецкий С. И., 1999: Сводка макросейсмических данных о землетрясениях на юге Сибирской платформы. Геология и геофизика, 40, 8: 1245–1250.
- Голенецкий С. И., 2001: Землетрясения юга Сибирской платформы по инструментальным сейсмологическим наблюдениям. Вулканология и сейсмология, 6: 68–77.
- Гупта Х., Растоги Б., 1979: Плотины и землетрясения. Мир, Москва: 253 с.
- Каталог землетрясений БФ ГС СО РАН 1960–2014 гг.
- Николаев А. В., 1994: Проблемы наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность. Наука, Москва: 5–15.
- Павленов В. А., 1999: Проблемы сейсмической безопасности каскада ГЭС на р. Ангаре. Исток. Водохозяйственная газета, 4–5 (10–11).
- Ружич В. В., 2014: Связано ли землетрясение с затоплением Богучанского водохранилища? Вестник Иркутского научного центра СО РАН, 101: 8–9.
- Савельев В. А., 2000: Современные проблемы и будущее гидроэнергетики Сибири. Наука, Новосибирск: 200 с.
- Семинский К. Ж., Радзиминович Я. Б., 2007: Сейсмичность юга Сибирской платформы: пространственно-временная характеристика и генезис. Физика Земли, 9: 18–30.
- Середкина А. И., Мельникова В. И., Гилева Н. А., Радзиминович Я. Б., 2014: Геолого-геофизические предпосылки формирования очага землетрясения 14 января 2014 г. на Сибирской платформе. В: Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания, 12. ИЗК СО РАН, Иркутск: 264–266.
- Ташлыкова Т. А.: 2011: Наведенная сейсмичность ангарского каскада: миф или реальность? В: IX Росс.-Монг. конф по астр. и геофизике (г. Иркутск, 10–12 октября 2011 г.): тезисы докладов. ИСЗФ, Иркутск: с. 24.
- Ташлыкова Т. А., 2012: Доказательства факта присутствия наведенной сейсмичности в районе эксплуатирующихся глубоководных водохранилищ ангарского каскада. В: Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Труды IX Росс.-Монг. конф. „Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона” (г. Иркутск, 10–12 октября 2011 г.). Вып. 7. Иркутск^ 74–81.
- Тржцинский Ю. Б., Леви К. Г., 2009: Водохранилища Ангарского каскада ГЭС и проблема наведенной сейсмичности. Геозология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1: 71–79.
- asf(at)gs.nsc.ru.
- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Богучанское\\_водохранилище](https://ru.wikipedia.org/wiki/Богучанское_водохранилище).

Поступила в редакцию: 12 мая 2018

Wpłynął do redakcji: 12 maja 2018

Received: 12 May 2018