

БОГУЧАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17 января 2014 г.

с $K_p=13.3$, $M_w=4.3$, $I_0=7$ (Сибирская платформа)

А.И. Середкина², В.И. Мельникова¹, Н.А. Гилёва³, Я.Б. Радзиминович¹

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ale@crust.irk.ru

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, ale@crust.irk.ru

³Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, nagileva@crust.irk.ru

Аннотация. В работе рассматривается Богучанское землетрясение 17 января 2014 г. ($M_w=4.3$), произошедшее на Сибирской платформе в районе субширотного расположенного участка среднего течения р. Ангара. Анализируются инструментальные и макросейсмические данные о сейсмическом событии, тектонические особенности и глубинное строение коры в его очаговой области. По амплитудным спектрам поверхностных волн рассчитаны тензор сейсмического момента и глубина гипоцентра землетрясения. Показано, что концентрации и последующей разрядке тектонических напряжений в очаговой области, вероятно, способствовало наличие скоростных неоднородностей в верхней и средней частях земной коры. Полученные факты свидетельствуют о том, что, скорее всего, рассматриваемое землетрясение имело естественную природу и не связано с заполнением водохранилищ Ангарского каскада ГЭС.

Ключевые слова: землетрясение, поверхностные волны, тензор сейсмического момента, Сибирская платформа.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.28

Для цитирования: Середкина А.И., Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б. Богучанское землетрясение 17 января 2014 г. с $K_p=13.3$, $M_w=4.3$, $I_0=7$ (Сибирская платформа) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 278–287 doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.28

Введение. В последнее время значительно вырос интерес к изучению сейсмичности Сибирской платформы, традиционно считавшейся малоактивной в тектоническом отношении. Такие исследования чрезвычайно важны для оценки сейсмической опасности при строительстве экологически вредных производств, промышленных и гражданских объектов, а также при добыче полезных ископаемых. Особое значение сейсмологические данные имеют при рассмотрении территории, прилегающей к каскаду водохранилищ Ангарской системы гидроэлектростанций. Известно, что создание подобных грандиозных гидротехнических сооружений изменяет существующие природные условия и может нарушить равновесие в геологической среде [1]. Однако этот феномен наблюдается далеко не всегда и тесно связан с соответствующей геодинамической обстановкой, обусловленной, в свою очередь, совокупностью многих факторов (высотой плотины, глубинным строением, реологическими свойствами среды и т. д.). Для Сибирской платформы прямых доказательств наведенной сейсмичности пока не существует, поскольку из-за удаленности сейсмических станций ($\Delta_{\min} \sim 400$ км) здесь отсутствуют условия для детальных сейсмологических наблюдений. О неоднозначном решении этой проблемы упоминается в ряде публикаций, так или иначе затрагивающих данную тему [2, 3].

В сложившейся ситуации каждое новое ощутимое землетрясение, произошедшее на платформе, требует повышенного внимания исследователей и является источником информации о природе подобных событий. Именно к таким событиям относится Богучанское землетрясение 17 января 2014 г. в 07^h01^m ($M_w=4.3$), произошедшее в ранее асейсмичном районе среднего течения р. Ангара на Сибирской платформе, в зоне возможного влияния двух крупных водохранилищ: Усть-Илимского и Богучанского (рис. 1).

Инструментальные данные. Богучанское землетрясение произошло на Сибирской платформе вдали от региональных сетей ФИЦ ЕГС РАН. Его локализация была выполнена по данным 32 региональных сейсмических станций (рис. 2), которые преимущественно располагались южнее эпицентра. Из них 26 относятся к Байкальскому и Бурятскому филиалам ФИЦ ЕГС РАН [4, 5], три станции Якутского филиала, две – Алтае-Саянского, а самой близкой к эпицентру ($\Delta=491$ км) оказалась временная станция «Саянск», установленная Институтом земной коры СО РАН. Девять станций располагались на расстояниях 500–700 км, а максимальное эпицентральное расстояние составило 1383 км (станция «Чульман»).

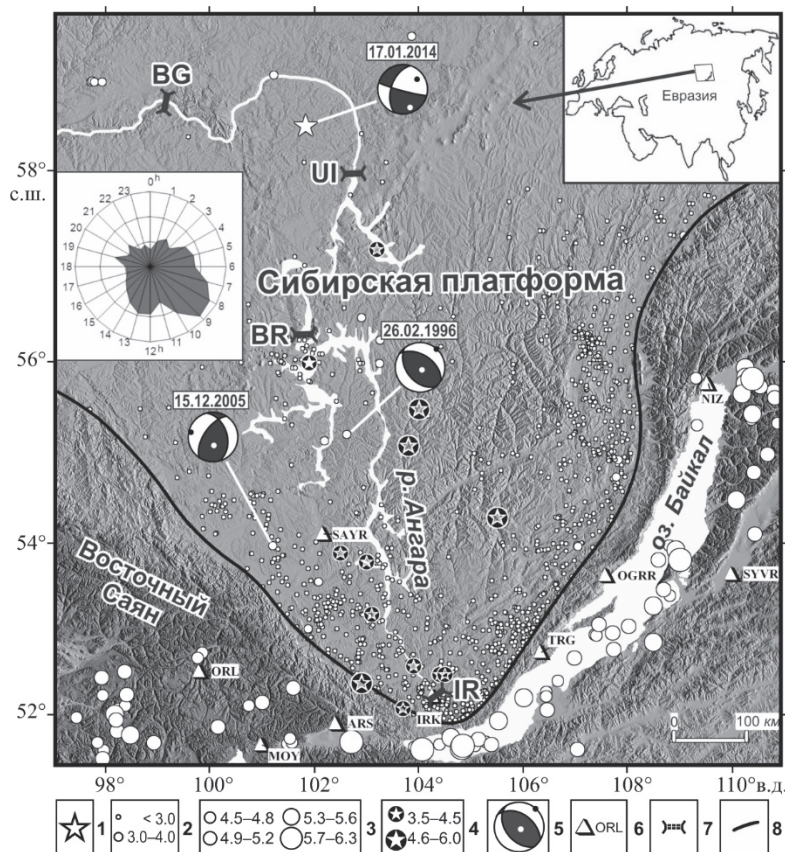


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Сибирской платформы ($M \geq 1$) и Саяно-Байкальского сейсмического пояса ($M \geq 4.5$)

1 – эпицентр Богучанского землетрясения 17 января 2014 г.; 2, 3 – эпицентры землетрясений инструментального периода наблюдений (1965–2013 гг.); 4 – эпицентры исторических землетрясений; 5 – механизм очага в проекции нижней полушеры (выходы осей сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками) с датой сейсмического события (число, месяц, год); 6 – региональная сейсмическая станция (аббревиатура соответствует международному коду); 7 – гидроэлектростанция Ангарского каскада: BG – Богучанская, UI – Усть-Илимская, BR – Братская, IR – Иркутская; 8 – условная граница Сибирской платформы. На врезке слева показано распределение числа платформенных землетрясений по часам суток; на врезке справа – местоположение рассматриваемого района на Евразийском континенте.

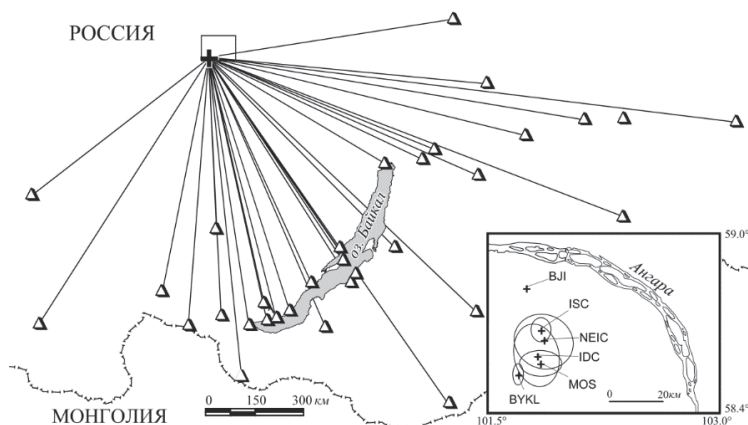


Рис. 2. Положение эпицентра Богучанского землетрясения 17 января 2014 г.

относительно региональных сейсмических станций, данные которых использовались при обработке материалов наблюдений; на врезке – решения эпицентра главного толчка и эллипсы горизонтальных ошибок по данным разных агентств (табл. 1)

Основные параметры землетрясения по материалам различных сейсмологических агентств представлены в табл. 1, из которой следует, что решения неплохо согласуются между собой (разброс в положении эпицентра не превышает 20 км) (рис. 2). Только локализация агентства ВЛ

отличается значительно. Наименьшие ошибки локализации получены в агентстве ВУКЛ [6]. Определения глубины очага ненадежны, по данным разных агентств глубина варьируется от 4 до 30 км.

Таблица 1. Основные параметры Богучанского землетрясения 17 января 2014 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ВУКЛ	07 01 26.80	0.66	58.530	0.027	101.690	0.040	6*	–	$K_p=(13.3\pm 0.2)/21$, $M_w=4.3^*/6$	[6]
MOS	07 01 26.00	1.34	58.5680	0.071	101.8320	0.081	19	–	$M_S=3.5/6$, $MPSP=4.7/25$	[7]
NEIC	07 01 28.01	2.18	58.6467	0.099	101.8549	0.166	14.4	3.9	$m_b=4.6/61$	[8]
IDC	07 01 30.02	2.84	58.5928	0.074	101.8120	0.196	29.5	22.8	$m_b=4.0/28$, $M_S=3.5/16$	[8]
ISC	07 01 27.08	0.29	58.6797	0.033	101.8356	0.075	10f	–	$M_S=3.7/21$, $m_b=4.5/71$	[8]
ВЛ	07 01 23.30	–	58.8200	–	101.7400	–	4	–	$m_b=4.5/47$	[8]

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к настоящему ежегоднику.

* – значения параметров рассчитаны по амплитудным спектрам поверхностных волн.

В качестве исходных данных для расчета тензора сейсмического момента (ТСМ) землетрясения 17 января 2014 г. использовались записи поверхностных волн, зарегистрированных на каналах LHZ и LHT шести цифровых широкополосных сейсмических станций сетей IRIS на эпицентральных расстояниях 2278–4448 км (рис. 3 а). Диапазон периодов колебаний, в котором выделялась фундаментальная мода волн Рэля и Лява, составлял 30–60 с. Вычисление ТСМ проводилось методом [9–11] с учетом дополнительной информации о знаках первых вступлений *P*-волн на региональных станциях.

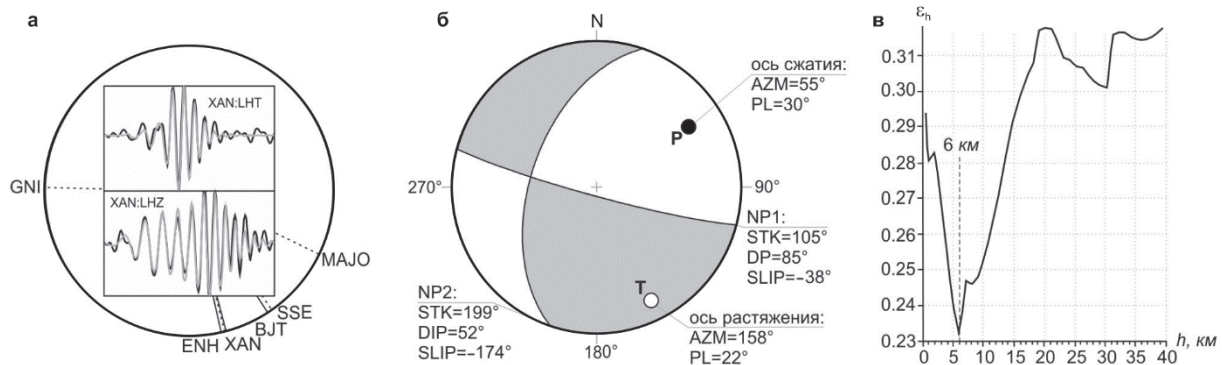


Рис. 3. а) – азимутальное распределение сейсмических станций (с международными кодами), используемых для расчета амплитудных спектров поверхностных волн (сплошные и пунктирные линии проведены к станциям, для которых выделены волны Рэля и Лява соответственно), с примером фильтрации записей станции XAN ($AZM=165.84^\circ$, $\Delta=2754$ км);
б) – механизм очага землетрясения в проекции нижней полусферы;
в) – зависимость частной функции нормированной невязки (ϵ_h) от глубины очага

В результате инверсии было получено решение механизма очага со следующими параметрами плоскостей разрыва (STK , DP , $SLIP$) для $NP1$: 105° , 85° , -38° и $NP2$: 199° , 52° , -174° (рис. 3 б). Глубина гипоцентра составила $h=6$ км (рис. 3 в), скалярный сейсмический момент $M_0=3.4 \cdot 10^{15}$ Н·м, моментная магнитуда $M_w=4.3$ и значение функции нормированной невязки $\epsilon=0.231$. Детали процедуры обработки исходных данных и подробное обсуждение качества полученного решения приведены в [12].

Макросейсмические данные. Эпицентр Богучанского землетрясения расположен в практически ненаселенном районе, в связи с чем макросейсмические сведения непосредственно из эпицентральной области отсутствуют. Ощутимые сотрясения наблюдались в населенных пунктах, удаленных от эпицентра на расстояние от 50 до 300 км. Информация о макросейсмических проявлениях была собрана главным образом с помощью почтовой рассылки опросных

листов; небольшая часть данных (десять отзывов) была получена с помощью интерактивной анкеты, размещенной на интернет-сайте БФ ФИЦ ЕГС РАН.

Наибольшая интенсивность сотрясений – 4–5 баллов по шкале MSK-64 [13] – отмечена в г. Усть-Илимск. Согласно имеющимся данным, в помещениях наблюдались следующие эффекты: скрип полов и стен, дрожание мебели, дребезжание посуды и оконных стекол, смещение с места незакрепленных предметов. Землетрясение охарактеризовано одними очевидцами как «легкое дрожание», другими – как «сильный короткий удар или толчок». Реакцию людей можно определить как испуг.

С интенсивностью 3–4 балла землетрясение ощущалось в г. Козинск, пос. Тагара, рп. Радичев и г. Братск. В этих населенных пунктах землетрясение характеризуется в основном как «легкое дрожание»; наиболее распространенные эффекты – колебание висячих предметов и дребезжание посуды, в некоторых случаях отмечено дрожание мебели. Реакция очевидцев преимущественно спокойная, в некоторых случаях – испуг.

В пос. Согра и с. Подъеланка землетрясение ощущалось в виде легкого дрожания; в пос. Эдучанка очевидцы описывают его как «ощутимое, но очень слабое». Интенсивность сотрясений в этих населенных пунктах может быть оценена в 3 балла.

Наиболее удаленным от эпицентра населенным пунктом, в котором были отмечены ощутимые колебания, является г. Усть-Кут ($\Delta=306$ км, $I=2$ балла).

Особенностью землетрясения 17 января 2014 г. можно считать неравномерность распределения интенсивности макросейсмических проявлений в пределах зоны осязтимости. Несколько более высокие значения интенсивности сотрясений отмечены в относительно крупных населенных пунктах, что, возможно, обусловлено наличием многоэтажной застройки. В то же время землетрясение не ощущалось во многих пунктах, расположенных на сопоставимых или существенно меньших эпицентральных расстояниях. Отчасти это можно объяснить тем, что небольшие сельские населенные пункты застроены преимущественно деревянными одноэтажными домами, в которых слабые сейсмические сотрясения могли остаться незамеченными. Для сравнения следует отметить, что при землетрясении 26 февраля 1996 г. с эпицентром в районе Братского водохранилища пространственное распределение макросейсмических эффектов было существенно более равномерным [3].

Макросейсмические данные о Богучанском землетрясении приведены в табл. 2, схема типа «пункты–баллы» представлена на рис. 4.

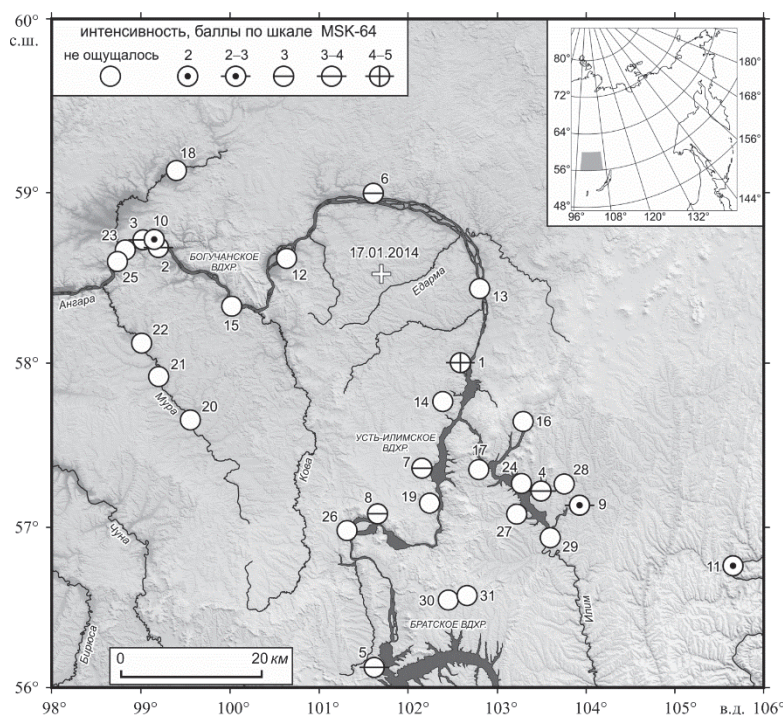


Рис. 4. Карта «пункты–баллы» для Богучанского землетрясения (номера пунктов соответствуют таковым в табл. 2)

Таблица 2. Макросейсмические сведения о Богучанском землетрясении 17 января 2014 г.

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E
4–5 баллов				
1	г. Усть-Илимск	–	58.00	102.58
3–4 балла				
2	г. Кодинск	146	58.69	99.18
3	пос. Тагара	156	58.73	99.02
4	рп. Радищев	180	57.22	103.49
5	г. Братск	266	56.13	101.61
3 балла				
6	пос. Согра	50	58.98	101.63
7	пос. Эдучанка	132	57.36	102.15
8	с. Подьеланка	160	57.09	101.65
2–3 балла				
9	рп. Новая Игирма	203	57.14	103.92
2 балла				
10	Богучанская ГЭС	148	58.70	99.15
11	г. Усть-Кут	306	56.77	105.65
Не ощущалось				
12	пос. Недокура	62	58.62	100.63
13	с. Кеуль	65	58.44	102.80

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E
14	пос. Бадарминск	94	57.77	102.39
15	пос. Болтурино	100	58.34	100.01
16	пос. Тубинский	136	57.65	103.29
17	пос. Дальний	146	57.36	102.79
18	с. Яркино	148	59.13	99.39
19	с. Ершово	156	57.15	102.24
20	с. Червянка	159	57.66	99.55
21	д. Бидея	161	57.92	99.19
22	с. Ирба	163	58.12	99.00
23	с. Заледеево	167	58.67	98.82
24	пос. Брусничный	168	57.27	103.27
25	пос. Говорково	172	58.60	98.73
26	пос. Седаново	173	56.98	101.31
27	пос. Заморский	184	57.08	103.22
28	рп. Рудногорск	185	57.27	103.75
29	пос. Березняки	210	56.94	103.59
30	пос. Кежемский	224	56.55	102.45
31	пос. Мамырь	224	56.58	102.66

Тектоническая позиция очага. Структурно-тектоническое строение всей древней Сибирской платформы в целом определяется наличием фундамента раннедокембрийской консолидации и платформенного чехла, сложенного образованиями широкого временного диапазона (от позднего докембрия до неоген-четвертичного этапа осадконакопления). Кроме крупных тектонических блоков – террейнов и коллизионных зон, являвшихся главными элементами структуры фундамента платформы, здесь присутствуют также блоки более низкого масштабного уровня [14].

В геологическом разрезе зоны Ангарских водохранилищ выделяется три структурных этажа: палеозойский, мезозойский и кайнозойский. В докайнозойской структуре Сибирской платформы район землетрясения приурочен к Ангаро-Вилуйскому внутриплатформенному прогибу. Эта область попадает в южную часть Тунгусской синеклизы, в платформенном чехле которой широко распространена мезозойская трапповая формация, включающая в себя эффузивные и интрузивные траппы, туфогенные образования, зоны контактово-измененных пород [2]. По данным геологической съемки масштаба 1:200000, в данном районе имеется довольно большое количество локальных, мозаично расположенных разломов небольшой протяженности (рис. 5).

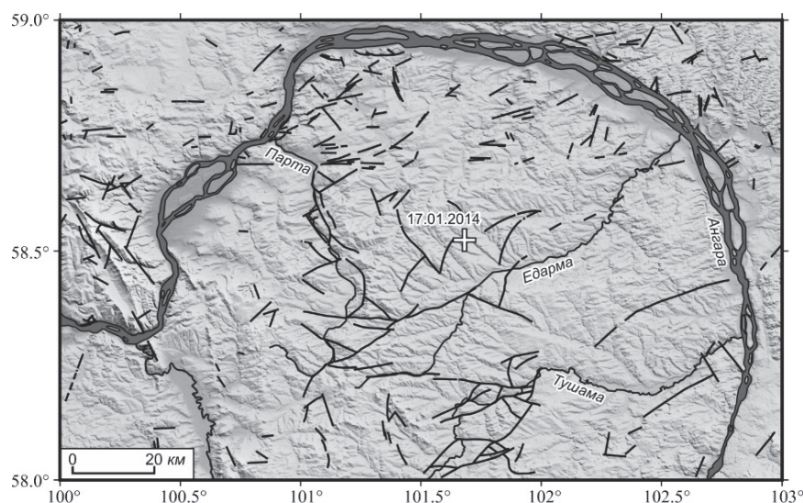


Рис. 5. Карта разломов исследуемой территории по данным геологической съемки масштаба 1:200000

Результаты геофизических исследований структуры земной коры рассматриваемой части Сибирской платформы являются достаточно противоречивыми, что может быть обусловлено как

общей неоднозначностью решения обратных задач, так и применением различных методов интерпретации данных ГСЗ. Так в работах, посвященных анализу данных сверхдлинных сейсмических профилей с ядерными взрывами и химическими источниками [15, 16], мощность земной коры варьируется в пределах от 40 до 43 км, в то время как по [17] она составляет около 46 км. Также расходятся данные о толщине осадочного слоя в эпицентральной зоне землетрясения: от ~6 км [16, 17] до 10 км [15].

Существенные различия отмечаются и в скоростной структуре коры. Так, В.Д. Суворов с соавторами [17] в районе эпицентра рассматриваемого землетрясения выделяет на глубинах от 6 до 12 км высокоскоростную неоднородность со скоростями продольных волн (P -волн) до 7.0 км/с. В то же время в разрезе, рассчитанном в [15], столь значительных скоростных аномалий не наблюдается, а скорости в том же диапазоне глубин варьируются от 5.8 до 6.5 км/с. Наиболее сглаженная модель с плавным нарастанием скорости с глубиной и отсутствием горизонтальных вариаций скоростей получена в [16]. Во всех исследованиях граничные мантийные скорости P -волн составляют 8.1–8.2 км/с.

Таким образом, результаты геофизических исследований эпицентральной области рассматриваемого землетрясения показывают, что земная кора данного района характеризуется существенными неоднородностями как по горизонтали, так и по вертикали.

История сейсмичности в очаговой зоне. Район локализации Богучанского землетрясения практически асейсмичен, при этом и вся территория Сибирской платформы в целом мало активна (рис. 1). В первую очередь это обусловлено историей геологического развития и глубинной структурой земной коры и верхней мантии Сибирской платформы. На современном этапе тектогенеза земная кора здесь активизирована неравномерно в пространстве и времени, что сказывается на фрагментарном характере сейсмического процесса [18]. Определенную роль в отсутствии детальной сейсмологической информации играют и условия регистрации землетрясений – на платформе практически нет сейсмических станций, а все платформенные события записываются региональными станциями соседних высокосейсмичных районов Байкальской рифтовой зоны, Алтае-Саянской области и Красноярского края. Приблизительная оценка представительности землетрясений на всей Сибирской платформе показала, что здесь без заметных пропусков регистрируются события с $M \geq 3.3$. Большая их часть концентрируется в краевых частях платформы, что может быть связано с геодинамическим влиянием тектонически активного Саяно-Байкальского подвижного пояса.

При анализе сейсмичности платформы возникает еще одна проблема, связанная с загрязнением каталогов землетрясений производственными взрывами, о которых обычно нет надежной информации. На врезке к рис. 1 (слева) представлено распределение численности сейсмических событий (в зависимости от часа суток), произошедших внутри территории платформы за период 1965–2013 гг. Из распределения видно, что большинство событий (~66 %) зарегистрировано в дневное время (8–9 часов по Гринвичу). Поскольку именно в этот период возможны взрывные работы, то велика вероятность принадлежности этих событий к взрывам.

Отметим, что за период с 1962 г. по 1996 г. на Сибирской платформе вообще значимых событий ($M \geq 4$) не было, поэтому к редким по своему местоположению и сейсмическим проявлениям можно отнести землетрясение 26 февраля 1996 г. с $m_b=4.2$, произошедшее вблизи Братского водохранилища [3]. Механизм его очага, определенный по знакам первых вступлений P -волн [19], показал взбросовые смещения в плоскостях разрывов северо-западного простирания (в северных румбах). Далее, вплоть до рассматриваемого события 17 января 2014 г., произошло еще несколько землетрясений с $M \sim 4$, в основном, вблизи пограничных с БРЗ территорий Сибирской платформы. В очаге одного из них (15 декабря 2005 г. с $M=4.2$) реализовались сдвигово-взбросовые (не рифтовые) подвижки (рис. 1).

Обсуждение. Изучение природы редких землетрясений, рассеянных на Сибирской платформе, затруднено тем, что их достаточно сложно увязать с конкретными геологическими структурами. Причиной тому являются погрешности определения скоростных моделей среды и пространственных координат землетрясений, а также неравномерная и недостаточно детальная геологическая изученность территории. Кроме того, как указано выше, при исследовании платформенных землетрясений часто возникает вполне закономерный вопрос о наведенной (индуцированной) сейсмичности, которая может быть спровоцирована техногенными воздействиями на природные объекты, в том числе заполнением и эксплуатацией крупных водохранилищ Ангарского каскада ГЭС.

Рассмотрим геолого-геофизические предпосылки появления в районе среднего течения р. Ангара на Сибирской платформе единственного за период инструментальных наблюдений (1962–2014 гг.) землетрясения 17 января 2014 г. с $M_w=4.3$. Несмотря на некоторую несогласованность скоростных моделей коры, полученных разными авторами [15–17], нельзя игнорировать тот факт, что на всех разрезах очаг землетрясения приурочен к областям с резким изменением скоростных характеристик среды. С геологической точки зрения основанием для этого могут быть высокоскоростные трапповые интрузии, неравномерно распространенные в чехле Сибирской платформы и создающие плотностные неоднородности в коре [20]. При соответствующих условиях, в том числе и неравномерной литостатической нагрузке, которая может влиять на реологические свойства среды и прочность горных пород, такие неоднородности, вероятно, способствуют появлению сейсмических событий. Похожие закономерности при возникновении сильных землетрясений ранее неоднократно отмечались во многих регионах мира (см. обзор в [21]).

Слабая интенсивность тектонических движений на Сибирской платформе и низкая сейсмическая активность создают определенные трудности в оценке особенностей напряженно-деформированного состояния земной коры этого района. Единичные определения фокальных механизмов землетрясений (рис. 1) не решают этой проблемы. Механизм очага рассматриваемого землетрясения 17 января 2014 г., так же, как и механизмы других платформенных сейсмических событий, отражает конкретную сеймотектоническую ситуацию в локальном объеме земной коры. В его очаге сдвиговые смещения, сопровождавшиеся небольшой сбросовой компонентой, реализовались в плоскостях разрывов запад–северо-западного или субмеридионального простираний. Из рис. 5 видно, что в кровле кристаллического фундамента данного района существуют мелкомасштабные разломы аналогичной ориентации. По всей вероятности, разломная тектоника и плотностные неоднородности среды в области очага землетрясения создали особые, по сравнению с окружающей средой, условия для генерации и последующей разрядки здесь тектонических напряжений.

Вопрос о возможной связи исследуемого землетрясения с заполнением Богучанского водохранилища и влиянием Усть-Илимского водохранилища рассмотрен в работе [12], в которой показано, что эпицентр данного сейсмического события расположен за пределами областей, подверженных их влиянию. Косвенным свидетельством в пользу естественной природы рассматриваемого землетрясения является тот факт, что согласно линейментно-доменной-фокальной модели зон ВОЗ источников землетрясений [22], принятой для новой редакции карт общего сейсмического районирования ОСР-2012, эпицентральная область данного события характеризуется магнитудным потенциалом $M_{\max}=4.5$, а максимальная интенсивность сотрясений для района Усть-Илимского водохранилища составляет 5 баллов с периодом повторяемости до 1000 лет и 6 баллов с периодом повторяемости до 2500 лет. Следовательно, землетрясение 17 января 2014 г. ($m_b=4.6$, $M_w=4.3$) не превысило предусмотренных картой ОСР-2012 пределов ни по наблюдаемой интенсивности сотрясений (4–5 баллов по шкале MSK-64), ни по значению магнитуды.

Заключение. В результате проведенного исследования было установлено, что очаг Богучанского землетрясения 17 января 2014 г. с $M_w=4.3$ приурочен к границе верхнепротерозойского осадочного комплекса и кровли докембрийского фундамента Сибирской платформы, о чем свидетельствуют глубина гипоцентра и мощность осадочного слоя. Механизм очага показал, что при землетрясении в кристаллическом фундаменте активизировались мелкомасштабные разломы запад–северо-западного или север–северо-восточного простираний. Концентрации и последующей разрядке здесь тектонических напряжений, вероятно, способствовало наличие скоростных неоднородностей в средней части земной коры. Полученные факты свидетельствуют о том, что, скорее всего, рассматриваемое землетрясение имело естественную природу и не связано с заполнением водохранилищ Ангарского каскада ГЭС.

Л и т е р а т у р а

1. Gupta H.K. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India // *Earth Science Reviews*. – 2002. – V. 58. – № 3. – P. 279–310. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00063-6
2. Тржцинский Ю.Б., Лещиков Ф.Н. Инженерно-геологические условия побережий Ангарских водохранилищ // *Проблемные вопросы геологии и геофизики Восточной Сибири*. – Иркутск, 1978. – С. 80–87.

3. Голенецкий С.И. Редкое землетрясение на юге Сибирской платформы // Доклады АН. – 1998. – Т. 363. – № 3. – С. 392–395.
4. Гилёва Н.А., Кобелева Е.А., Масальский О.К. (отв. сост.). Сейсмические станции Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код сети ВУКЛ) в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
5. Тубанов Ц.А., Санжиева Д.П.-Д. (отв. сост.). Сейсмические станции Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код сети ВУГSR) в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
6. Гилёва Н.А., Хайдурова Е.В. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Дреннова Г.Ф., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Хороших М.Б., Курилко Г.В., Дворникова В.И., Павлова Л.В., Архипенко Н.С., Терешина Е.Н., Зиброва Е.С., Борисова О.А., Федюшкина Я.И., Папкина А.А., Галактионова Н.Н. Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p>7.5$ за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
7. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2014. (2020) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
8. International Seismological Centre (2020). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
10. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponnier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R. Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophysical Journal International. – 2001. – V. 144. – № 1. – P. 206–220.
11. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 103–114. doi:10.7868/S0002333714030090.
12. Seredkina A., Melnikova V., Gileva N., Radziminovich Y. The $M_w=4.3$ January 17, 2014, earthquake: very rare seismic event on the Siberian platform // Journal of Seismology. – 2015. – V. 19. – № 3. – P. 685–694. doi: 10.1007/s10950-015-9487-y
13. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. Розен О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. – 2003. – № 3. – С. 3–21.
15. Егоркин А.В. Строение земной коры по сейсмическим геотраверсам // Глубинное строение территории СССР / Ред. В.П. Белоусов, Н.И. Павленкова, Г.Н. Квятковская. – М.: Наука, 1991. – С. 118–135.
16. Pavlenkova G.A., Priestley K., Cipar J. 2D model of the crust and uppermost mantle along rift profile, Siberian craton // Tectonophysics. – 2002. – V. 355. – P. 171–186.
17. Suvorov V.D., Mishenkina Z.M., Petrick G.N., Sheludko I.F., Seleznev V.S., Solovyov V.M. Structure of the crust in the Baikal rift zone and adjacent areas from Deep Seismic Sounding data // Tectonophysics. – 2002. – V. 351. – P. 61–74.
18. Семинский К.Ж., Гладков А.С., Вахромеев А.Г., Черемных А.В., Бобров А.А., Когут Е.И. Разломы и сейсмичность юга Сибирской платформы: особенности проявления на разных масштабных уровнях // Литосфера. – 2008. – № 4. – С. 3–21.
19. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 11. – С. 1598–1607.
20. Феоктистов Г.Д. Петрология и условия формирования трапповых силлов. – Новосибирск. – Наука, СО, 1978. – 166 с.
21. Seredkina A.I., Melnikova V.I., Radziminovich Y.B., Gileva N.A. Seismicity of the Erguna Region (North-eastern China): Evidence for Local Stress Redistribution // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2020. – V. 110. – № 2. – P. 803–815. doi:10.1785/0120190182
22. Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-2012 // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2013. – Т. 4. – № 4. – С. 5–20.

BOGUCHAN EARTHQUAKE on JANUARY 17, 2014**with $K_p=13.3$, $M_w=4.3$, $I_0=7$ (Siberian Platform)****A.I. Seredkina², V.I. Melnikova¹, N.A. Gileva³, Ya.B. Radziminovich¹**¹*Institute of the Earth's crust of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, ale@crust.irk.ru*²*Pushkov Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation**of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ale@crust.irk.ru*³*Baikal branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, nagileva@crust.irk.ru*

Abstract. We consider the Boguchan January 17, 2014 earthquake ($M_w=4.3$) occurred on the Siberian Platform in the area of the sublongitudinal part of the Angara River. Instrumental and macroseismic data on this seismic event, tectonic features and deep structure of the crust within its source area are analyzed. Seismic moment tensor and hypocentral depth of the earthquake are calculated from its surface wave amplitude spectra. It has been shown that the concentration and relaxation of the tectonic stress in the source area are likely to be conditioned by velocity heterogeneities in the upper and middle crust. The obtained facts evidence that the study earthquake, most probably, is not connected with filling of the Angara cascade of water reservoirs.

Keywords: earthquake, surface waves, seismic moment tensor, Siberian Platform.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.28

For citation: Seredkina, A.I., Melnikova, V.I., Gileva, N.A., & Radziminovich, Ya.B. (2020). [Boguchan earthquake on January 17, 2014 with $K_p=13.3$, $M_w=4.3$, $I_0=7$ (Siberian Platform)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 278–287. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.28

R e f e r e n c e s

1. Gupta, H.K. (2002). A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth Science Review*, 58(3), 279–310. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00063-6.
2. Trzhtsin'skiy, Y.B., & Leshchikov, F.N. (1978). [Geotechnical conditions of the Angara reservoirs coasts]. In *Problemye voprosy geologii i geofiziki Vostochnoi Sibiri* [Problematic issues of geology and geophysics in Eastern Siberia] (pp. 80–87). Irkutsk, Russia. (In Russ.).
3. Golenetskii, S.I. (1998). A rare earthquake in the south of the Siberian platform. *Doklady Earth Sciences*, 363A(9), 1257–1260.
4. Gileva, N.A., Kobeleva, E.A., & Masalskii, O.K. (2020). [Seismic stations of the Baikal Branch of GS RAS (network code BYKL) in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
5. Tubanov, Ts.A., & Sanjjeva, D.P.-D. (2020). [Seismic stations of the Buryatian Branch of the of GS RAS (network code BURS) in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
6. Gileva, N.A., Haydurova, E.V., Leontyeva, L.R., Anisimova, L.V., Hamidulina, O.A., Menshikova, Yu.A., Drennova, G.F., Tiguntseva, G.V., Andrusenko, N.A., Horoshih, M.B., Kurilko, G.V., Dvornikova, V.I., Pavlova, L.V., Arhipenko, N.S., Tereshina, E.N., Zibrova, E.S., Borisova, O.A., Fedyushkina, Ya.I., Papkova, A.A., & Galaktionova, N.N. (2020). [Catalog of the earthquakes of Baikal and Transbaikalia for 2014 with the $K_p>7.5$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
7. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2014 (2020). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
8. International Seismological Centre (2020). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. Bukchin, B.G. (1990). Determination of source parameters from surface wave records allowing for uncertainties in the properties of medium. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Solid Earth*, 25, 723–728.
10. Lasserre, C., Bukchin, B., Bernard, P., Tapponnier, P., Gaudemer, Y., Mostinsky, A., & Dailu, R. (2001). Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China). *Geophysical Journal International*, 144(1), 206–220.

11. Seredkina, A.I., & Melnikova, V.I. (2014). Seismic moment tensor of Pribaikalye earthquakes from the surface-wave amplitude spectra. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 50(3), 403–414. doi: 0.1134/S1069351314030094
12. Seredkina, A., Melnikova, V., Gileva, N., & Radziminovich, Y. (2015). The M_w 4.3 January 17, 2014, earthquake: very rare seismic event on the Siberian platform. *Journal of Seismology*, 19(3), 685–694. doi: 10.1007/s10950-015-9487-y.
13. Medvedev, S.V. Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seymicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
14. Rosen, O.M. (2003). The Siberian craton: tectonic zonation and stages of evolution. *Geotectonics*, 37(3), 175–192.
15. Egorkin, A.V. [Crustal structure from seismic geotraverses]. In *Glubinnoe stroenie territorii SSSR* [Deep structure of the USSR territory] (pp. 118–135). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
16. Pavlenkova, G.A., Priestley, K., & Cipar, J. (2002). 2D model of the crust and uppermost mantle along rift profile, Siberian craton. *Tectonophysics*, 355, 171–186.
17. Suvorov, V.D., Mishenkina, Z.M., Petrick, G.N., Sheludko, I.F., Seleznev, V.S., & Solovyov, V.M. (2002). Structure of the crust in the Baikal rift zone and adjacent areas from Deep Seismic Sounding data. *Tectonophysics*, 351, 61–74.
18. Seminsky, K.Z., Gladkov, A.S., Vakhromeev, A.G., Cheremnykh, A.V., Bobrov, A.A., & Kogut, E.I. (2008). [Faults and seismicity of the south of Siberian platform: features of display at different scale levels]. *Litosfera* [Lithosphere], 4, 3–21 (In Russ.).
19. Melnikova, V.I., & Radziminovich, N.A. (1998). Focal mechanism of earthquakes in the Baikal region over the period 1991–1996. *Russian Geology and Geophysics*, 39(11), 1598–1607.
20. Feoktistov, G.D. (1978). *Petrologiia i usloviia formirovaniia trappovykh sillov* [Petrology and conditions of trap sills formation]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 166 p. (In Russ.).
21. Seredkina, A.I., Melnikova, V.I., Radziminovich, Y.B., & Gileva, N.A. (2020). Seismicity of the Erguna Region (Northeastern China): Evidence for Local Stress Redistribution. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(2), 803–815. doi:10.1785/0120190182
22. Ulomov, V.I. (2013). General seismic zoning of the territory of Russian Federation: GSZ-2012. *Seismic Instruments*, 50(4), 290–304. doi: 10.3103/S0747923914040070