

УДК 550.340

ВАГАНОВА Наталья Владиславовна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 34 научных публикаций

МОРОЗОВ Алексей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 47 научных публикаций

ПАРАМЕТРЫ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 28 марта 2013 года

Работа посвящена первым результатам исследования землетрясения, произошедшего 28.03.2013 в Холмогорском районе Архангельской области, определены координаты эпицентра, глубина, время в очаге, магнитуда. Публикуются параметры очага землетрясения по данным мировых сейсмологических центров, а также приводятся сведения об исторической сейсмичности Архангельской области.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая сеть, параметры очага, Русская плита.

Территория Архангельской области расположена на севере Русской плиты Восточно-Европейской платформы и характеризуется крайне слабой сейсмичностью. Однако, по историческим сведениям, вблизи г. Архангельска отмечен ряд сейсмических событий с магнитудой до 6,5 (табл. 1).

С 2003 года начали проводиться инструментальные сейсмологические наблюдения на

базе Архангельской сейсмической сети, включающей на сегодняшний день 11 сейсмологических пунктов. За этот период на территории Архангельской области было зарегистрировано только одно тектоническое землетрясение 22.10.2005 (64,63° с. ш.; 40,32° в. д.; $h = 2$ км; $I_0 = 1$ балл, $M = 2,8$) [2].

Новое землетрясение в Архангельской области, на родине М.В. Ломоносова – в Холмо-

Таблица 1

СВОДНЫЙ КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РУССКОЙ ПЛИТЫ ЗА 1542–1937 ГОДЫ [1, 6, 7]

№ п/п	Дата: год, день, месяц	Время, ч:мин:с	Координаты: °с. ш.; °в. д.	Глубина, км	Магнитуда, М	Интенсивность, I ₀
1	1542 13.08	10:00:00 ± 1ч	66,40 ± 0,20; 34,00 ± 0,50	10–25	5,0 ± 0,7	(6,5) ± 0,5
2	1627 31.05	02:00:00 ± 1 ч	65,50 ± 0,50; 37,50 ± 1,00	15–40	6,5 ± 0,5	(8) ± 0,5
3	1847 16.08	06:00:00 ± 2 ч	64,50 ± 0,50; 40,30 ± 1,00	3–12	(3,0) ± 0,5	4 ± 1
4	1901 13.01	–	62,50; 34,90 ± 0,10	–	(3,0) ± 1	3–4 ± 0,5

№ п/п	Дата: год, день, месяц	Время, ч:мин:с	Координаты: °с. ш.; °в. д.	Глубина, км	Магнитуда, М	Интенсивность, Ю
5	1911 30.06	07:10:20 ± 20 с	65,80; 35,30 ± 0,20	10–25	4,5 ± 0,3	5,0 ± 0,5
6	1912 5.03	10:11:00 ± 30 с	66,00; 40,00 ± 2,00	10–25	4,0 ± 0,7	4–5 ± 1,0
7	1913 9.03	–	64,80; 34,30 ± 0,50	3–8	2,5 ± 1	3–4 ± 0,5
8	1933 11.02	20:50:00 ± 1 ч	62,00 ± 0,50; 43,00 ± 1,00	5–18	3,3 ± 0,5	4,0 ± 0,5
9	1936 23.01	06:00:00 ± 1 ч	66,20; 43,30 ± 0,50	3–12	3,5 ± 0,5	4–5 ± 0,5
10	1937 15.05 ± 5 дней	00:00:00 ± 3 ч	66,10; 37,90 ± 0,10	3–8	2,5 ± 1	4,0 ± 1

горском районе, произошло 28 марта 2013 года в 07:02:16 (время по Гринвичу). Оно было зарегистрировано сейсмическими станциями Архангельской сети, а также станциями соседних сетей и сопредельных территорий – Республик Коми и Карелии, Мурманской и Свердловской областей, Финляндии и Норвегии (рис. 1).

Определение основных параметров очага землетрясения (координат эпицентра, глубины, времени, магнитуды) проводилось сотрудниками лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук (ИЭПС УрО РАН) с привлечением данных 12 сейсмических станций, в т. ч. 6 – Архангельской сети: ARH, TMC, SLV, KLM, LSH, AMD, близлежащих станций JOF, SUF, MSF (Финляндия), SOKR (Уральский сектор Геофизической службы РАН), SPITS (Норвегия), LVZ (Global Seismograph Network GSN – IRIS/IDA). Самая ближайшая станция ARH входит в Архангельскую сеть и находится на расстоянии около 80 км от эпицентра. Обработка проводилась с применением разного программного обеспечения, скоростных моделей и методических подходов. В качестве основных программных средств обработки использовались программный комплекс WSG и HYPO71 [4]. Применялись скоростные модели Varents и NORP. Региональный годограф NORP (North of Russian Plate) вычислен сотрудниками

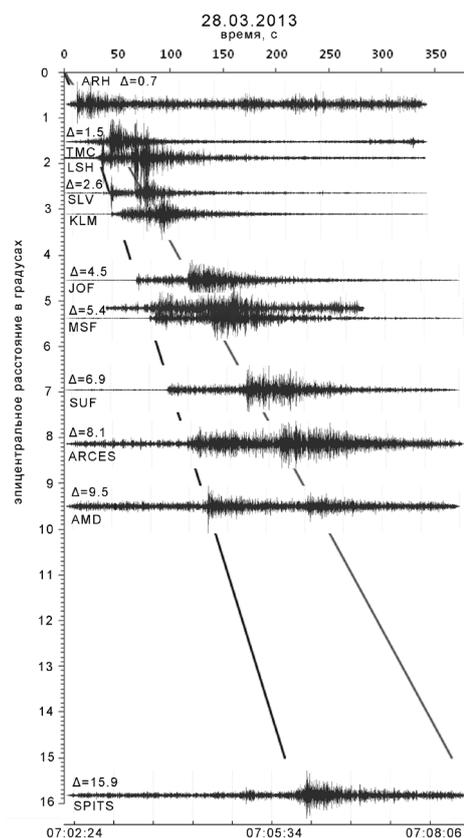


Рис. 1. Изображение фрагментов записи сейсмического события 28.03.2013 сейсмическими станциями, удаленными на различные расстояния

лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН по данным обменных волн от телесеismicических землетрясений и учитывает региональные особенности глубинного строения земной коры и верхней мантии севера Русской плиты [5]. Локация эпицентра осуществлялась методами засечек и минимизации невязок; время в очаге – по графику Вадати. В результате предварительной обработки были получены несколько вариантов гипоцентров, из которых далее выбирался наиболее предпочтительный, содержащий минимальные временные невязки и ошиб-

ки. Временные невязки определялись путем сравнения экспериментальных времен прихода Р-волн с теоретическими по решению прямой кинематической задачи.

Параллельно параметры очага землетрясения определялись сотрудниками Геофизической службы РАН (ГС РАН) и Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН), а также в сейсмологическом Центре NORSAR. Положение эпицентра землетрясения по данным различных сейсмологических центров приведено на *рис. 2*, параметры гипоцентра – в *табл. 2*.

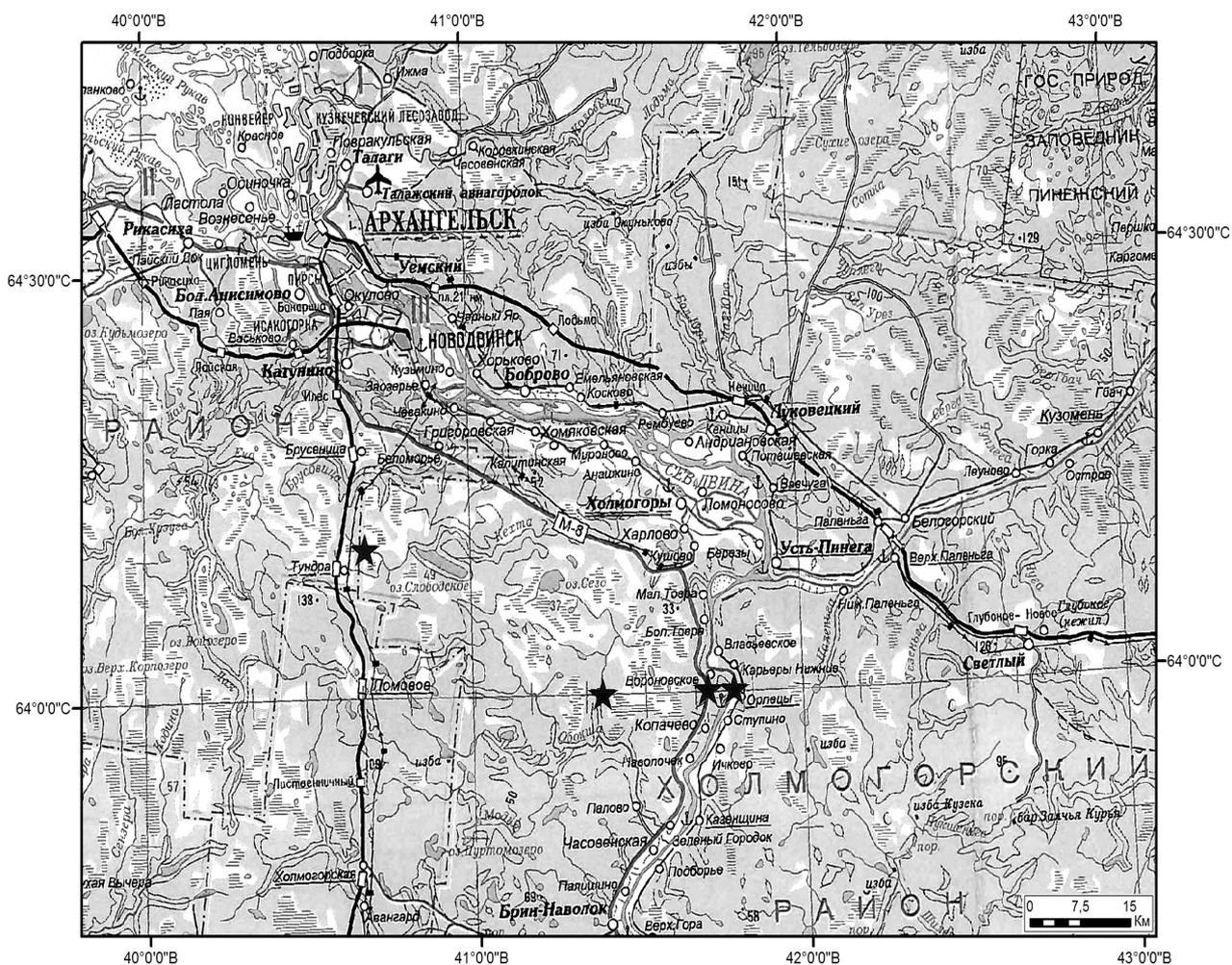


Рис. 2. Положение эпицентра землетрясения по данным различных сейсмологических центров (эпицентры указаны звездочками)

ПАРАМЕТРЫ ГИПОЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 28.03.2013
ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ

Обрабатывающий центр	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.	Глубина, км	Время в очаге	Магнитуда
ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск	64,00	41,39	1,12	07:02:14,7	3,1
ГС РАН, г. Обнинск (www.ceme.gsras.ru)	64,00	41,71	5	07:02:14,9	–
ИФЗ РАН, Москва	64,00	41,79	18,7	07:02:15,9	–
NORSAR, Норвегия (www.norsardata.no)	64,178	40,672	0	07:02:18,36	ML = 3,06

В ГС РАН кандидатом физико-математических наук И.П. Габсатаровой был рассчитан механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений продольных волн. Параметры первых вступлений были определены по 13-ти станциям, из них на семи зарегистрированы волны сжатия, на шести – волны разрежения. Обе нодальные плоскости простираются близшироко, одна NP2 залегает достаточно круто ($Dip = 58$), другая NP1 – более полого ($Dip = 32$) (рис. 3). Тип движения по обеим плоскостям – взброс. Взброс – одна из форм разрывных тектонических смещений горных пород, возникающая при их горизонтальном сжатии. При взбросе движение пород происходит по трещине, наклоненной к горизонту под углом свыше 45° . При этом породы висячего бока, лежащие выше поверхности смещения, передвигаются

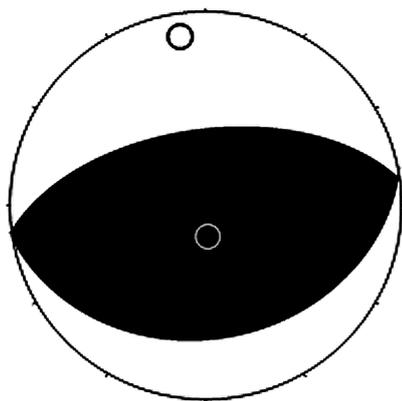


Рис. 3. Механизм очага землетрясения 28.03.2013 в 07 ч 02 мин (черным цветом показана область сжатия)

по ней вверх, а породы лежащего бока (находящиеся под этой поверхностью) испытывают относительное перемещение вниз. Данное землетрясение возникло под действием напряжений сжатия, ориентированных на север.

Сотрудниками лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН было также проведено исследование по изучению возможного макросейсмического эффекта от землетрясения. Для этого в ближайших к эпицентру населенных пунктах Холмогорского района Архангельской области был проведен опрос местного населения. Для проведения опроса применялись стандартные анкеты, используемые при макросейсмических исследованиях. Однако каких-либо сведений о макросейсмических эффектах, а именно воздействия на людей, здания, предметы и представителей фауны, получено не было. Все это позволяет считать произошедшее землетрясение не ощутимым на поверхности и дает основание для присвоения землетрясению значения интенсивности 1 балл по шкале МСК-64.

Как уже отмечалось выше, на платформенных территориях тектонические землетрясения регистрируются редко, в отличие от техногенных сейсмических событий (промышленных взрывов). Поэтому в силу своей уникальности у исследователей всегда возникают сомнения в правильности определения природы таких событий. Объясняется это тем, что ошибочное определение природы может повлечь за со-

бой ряд негативных последствий. Во-первых, исказить наши представления о современной сейсмической активности исследуемой территории. Во-вторых, обесценить результаты дальнейших исследований в области наук о Земле, основанных на сейсмических каталогах с неверными данными по землетрясениям.

Для Архангельской сейсмической сети задача идентификации природы сейсмического события решалась на основе опыта, накопленного сотрудниками Кольского филиала ГС РАН (г. Апатиты) [3]. Применяется совокупность критериев, таких как:

- отношение средних амплитуд волн P и S;
- характер изменение спектра во времени;
- сравнение обобщенных огибающих записей промышленных взрывов и анализируемого события;
- значение магнитуды M;
- наличие или отсутствие карьера в районе, куда падает эпицентр события;
- время (UTC) и день недели регистрации анализируемого события.

Отношение средних амплитуд волн P/S строилось в программе PSRatio [8]. На графиках (рис. 4) отображены значения параметра P/S сейсмического события 28.03.2013 вместе

с параметрами промышленных взрывов из ближайших к эпицентру промышленных карьеров Архангельской области «Савинский ЦЗ» и «СОБР», а также с одним ближайшим от станции KLM карьером в Республике Карелии.

Сравнение параметров P/S наглядно показывает, что для анализируемого сейсмического события значения P/S не попадают в диапазон возможных значений для промышленных взрывов. Это, в свою очередь, свидетельствует о тектонической природе сейсмического события.

По результатам проведенного исследования по совокупности всех критериев с большой долей вероятности можно говорить о тектонической природе события в Архангельской области, произошедшего 28.03.2013, и рассматривать его как землетрясение.

Таким образом, были получены основные параметры очага землетрясения, зарегистрированного в Архангельской области 28.03.13. Землетрясение представляет исключительный интерес для изучения геодинамических процессов и современных тектонических движений севера Русской плиты и Восточно-Европейской платформы в целом. Представленная статья является первой из целого цикла работ, которые будут посвящены землетрясению 28.03.13.

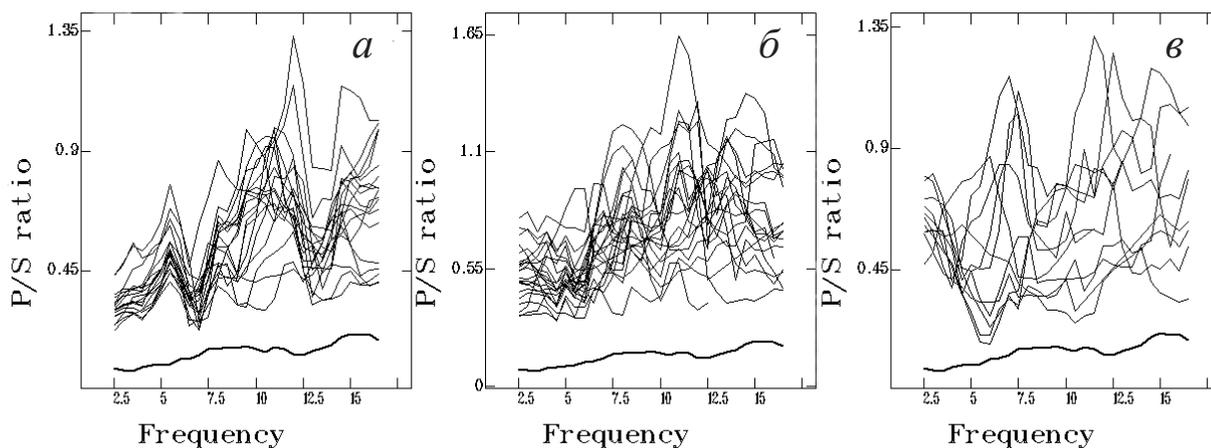


Рис. 4. Сравнение отношений средних амплитуд волн P и S сейсмического события 28.03.13 (жирная линия) и промышленных взрывов (тонкие линии) из карьеров: а – Карелии; б – «СОБР»; в – «Савинский ЦЗ»

Список литературы

1. Горшков Г.П. О сейсмичности восточной части Балтийского щита // Тр. Сейсмолог. ин-та АН СССР. Вып. 119. М., 1947. С. 86–96.
2. Землетрясения России в 2005 году. Обнинск, 2007. С. 96.
3. Кольский филиал Геофизической службы РАН. URL: <http://www.krsc.ru>.
4. Критерии идентификации взрывов и землетрясений для корректной оценки уровня сейсмической опасности промышленных объектов и прилегающих территорий (на примере Кольской АЭС) / В.Э. Асминг, Е.О. Кременецкая, З.А. Евтюгина, Ю.А. Виноградов // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / под ред. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург, 2011. С. 91–102.
5. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы сейсмических волн для Севера Русской плиты по данным Архангельской сейсмической сети // Разведка и охрана недр. 2011. № 12. С. 48–51.
6. Никонов А.А. Землетрясения Севера Европейской России (новая версия каталога на основе первичных материалов) // Геодинамика и техногенез: материалы Всерос. совещания. Ярославль, 2000. С. 118–119.
7. Никонов А.А. Макросейсмическая характеристика землетрясений XX века в восточной части Балтийского щита // Белорус. сейсмолог. бюл. 1992. Вып. 2. С. 96–144.
8. Asming V.E., Kremenetskaya E.O. Observed Characteristics of Regional Seismic Phases and Implications for P/S Discrimination in the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2002. № 159.
9. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYPO71 (Revised): A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude, and First Motion pattern of Local Earthquakes // U.S. Geol. Surv. Open-file Report 75–311. 1975. 114 p.

References

1. Gorshkov G.P. O seysmichnosti vostochnoy chasti Baltiyskogo shchita [Seismicity in the Eastern Part of the Baltic Shield]. *Trudy Seysmologicheskogo instituta*, 1947, iss. 119, pp. 86–96.
2. *Zemletryaseniya Rossii v 2005 godu* [Earthquakes in Russia in 2005]. Obninsk, 2007, p. 96.
3. *Kola Branch of Geophysical Survey of RAS*. Available at: <http://www.krsc.ru>.
4. Asming V.E., Kremenetskaya E.O., Evtyugina Z.A., Vinogradov Yu.A. Kriterii identifikatsii vzryvov i zemletryasenyi dlya korrektnoy otsenki urovnya seysmicheskoy opasnosti promyshlennykh ob'ektov i prilgayushchikh territoriy (na primere Kol'skoy AES) [Criteria for Explosion and Earthquake Identification and for Accurate Assessment of the Level of Seismic Hazard on Industrial Facilities and Adjacent Areas (Exemplified by the Kola Nuclear Power Plant)]. *Seysmologicheskie issledovaniya v arkticheskikh i priarkticheskikh regionakh* [Seismological Research in Arctic and Subarctic Regions]. Yekaterinburg, 2011, pp. 91–102.
5. Morozov A.N., Vaganova N.V. Godografy seysmicheskikh voln dlya Severa Russkoy plity po dannym Arkhangel'skoy seysmicheskoy seti [Locuses of Seismic Waves for the North of Russian Plate According to the Arkhangelsk Seismic Network]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2011, no. 12, pp. 48–51.
6. Nikonov A.A. Zemletryaseniya Severa Evropeyskoy Rossii (novaya versiya kataloga na osnove pervichnykh materialov) [Earthquakes in the North of the European Part of Russia (a New Version of the Catalogue on the Basis of Initial Materials)]. *Geodinamika i tekhnogenez: materialy Vseros. soveshchaniya* [Geodynamics and Technogenesis: Proc. All-Russian Meeting]. Yaroslavl, 2000, pp. 118–119.
7. Nikonov A.A. Makroseysmicheskaya kharakteristika zemletryasenyi XX veka v vostochnoy chasti Baltiyskogo shchita [Macroseismic Characteristics of the Twentieth-Century Earthquakes in the Eastern Part of the Baltic Shield]. *Belorusskiy seysmologicheskiy byulleten'*, 1992, iss. 2, pp. 96–144.
8. Asming V.E., Kremenetskaya E.O. Observed Characteristics of Regional Seismic Phases and Implications for P/S Discrimination in the European Arctic. *Pure Appl. Geophys.*, 2002, no. 159.
9. Lee, W.H.K., Lahr J. C. *HYPO71 (Revised): A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude, and First Motion Pattern of Local Earthquakes*. U.S. Geol. Surv. Open-file Report 75-311. 1975. 114 p.

Vaganova Natalya Vladislavovna

Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

Morozov Aleksey Nikolaevich

Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

FOCUS OF THE EARTHQUAKE THAT OCCURRED IN THE ARKHANGELSK REGION ON 28 MARCH 2013

The paper is devoted to the earthquake that occurred on the 28th of March 2013 in the Kholmogorsky district of the Arkhangelsk Region. It determines the coordinates of the epicentre, depth, time in the focus, and magnitude. Parameters of the earthquake according to the international seismological centres are published; information on the history of seismicity in the Arkhangelsk Region is provided.

Keywords: *earthquake, seismic network, source parameters, East European Craton.*

Контактная информация:

Ваганова Наталья Владиславовна

адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

e-mail: nvag@yandex.ru

Морозов Алексей Николаевич

адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

e-mail: morozovalexe@yandex.ru

Рецензент – *Кутинов Ю.Г.*, доктор геолого-минералогических наук, директор Центра космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск)