

УДК 550.3, 550.34

А.М. Жирова, Д.В. Жиров

**АНАЛИЗ СВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ РУДНИКА
РАСВУМЧОРР (ХИБИНЫ) С СОЛНЕЧНО-ЛУННЫМИ
ПРИЛИВАМИ***

Исследуется связь сейсмичности в подземном руднике «Расвумчорр» Хибинской природно-технической системы с солнечно-лунным приливным воздействием. Анализируется влияние на сейсмичность изучаемого региона, таких факторов как интервалов времени между землетрясениями и прохождением Луны через перигей, склонения и фазы Луны.

Ключевые слова: сейсмичность, солнечно-лунные приливы, перигей, апогей, сизигия, квадратура, склонение Луны

В настоящей работе исследуется связь сейсмичности в руднике «Расвумчорр» Хибинской природно-технической системы (ПТС) Кольского региона с солнечно-лунным приливным воздействием. Кольский регион представляет собой относительно спокойный в сейсмическом отношении участок кристаллического щита, не испытывающий существенного влияния со стороны знаковых геодинамических факторов. В связи с этим представляет интерес изучения сейсмичности региона в связи с различными космическими факторами. Один из первых обзоров по данной тематике выполнен в работе [1]. В ней сделан вывод о том, что современные тектонические процессы являются результатом действия двух факторов – внутренней эволюции Земли как планеты и космических воздействий. Поле упругих напряжений Земли является функцией многих переменных, каждая из которых сложным образом меняется во времени. Ключом к раскрытию этих закономерностей может служить изучение циклических, периодических и квазипериодических ритмов, связанных с солнечной активностью, лунно-солнечными приливами. Приливное воздействие Луны и Солнца способно стать спусковым механизмом, высвобождающим сейсмическую энергию в подготовленном месте [2—5]. Совместное гравитационное воздействие Луны и Солнца на тело Земли зависит от их взаимного расположения. Максимальное значение приливных сил должно достигаться при

* Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 14-17-00751 (научн. рук. – проф., д.т.н. А.А. Козырев).

расположении всех трех объектов на одной оси, т.е. в состоянии сизигии, что имеет место при новолунии (Луна и Солнце в «соединении») или при полнолунии (Луна и Солнце в «оппозиции»). По мере отклонения Луны и Солнца от линии сизигии вызываемые ими приливные силы начинают приобретать самостоятельный характер, их сумма уменьшается, а степень их противодействия друг другу растет. Противодействие достигает максимума, когда угол между направлениями на Луну и Солнце из центра Земли равен 90° , т.е. данные тела находятся в «квадрате», а Луна, соответственно, находится в фазе четверти (первой или последней). В этой конфигурации приливные силы Луны и Солнца действуют на форму тела Земли строго противоположно, соответственно действие их минимально.

В течение сидерического, или звездного месяца, равного 27,32 солнечных суткам, Луна делает полный оборот вокруг Земли, возвращаясь в одно положение. С учётом смещения Земли синодический месяц (время, протекающее между двумя полнолуниями или новолуниями) равен в среднем 29,53 суток, а периодичность фазового воздействия — соответственно 14,77 суток. Луна и Земля вращаются не по круговым, а по эллиптическим орбитам. Когда Луна находится к Земле ближе всего, в точке перигея, лунный прилив усиливается. Закономерное увеличение числа землетрясений в сизигиях и перигелии было эмпирически установлено ещё в конце XIX века А. Перре по результатам анализа распределения 23 тысяч дней с землетрясениями. Затем в XX веке оно было подтверждено рядом исследователей и названо М. С. Стовасом и Д.Н. Усенко законами А. Перре. Наибольшее значение сила приливов достигает при совпадении перигелия с сизигиями, что происходит раз в год [2, 5–6]. Данные законы оказались справедливыми и для горных ударов — динамических явлений в шахтах и рудниках [7]. По результатам исследований техногенной сейсмичности на основе каталогов горных ударов рудных и нерудных месторождений было установлено, что число горных ударов и микроударов в 4–5 раз больше в 4–5 дневном интервале времени в окрестности новолуния и полнолуния и перигея, чем в квадратурах и апогее [8–9].

Исходные данные и методика работ

Исходными сейсмическими данными являются регистрационные каталоги сейсмической активности рудника «Расвумчорр» за период 2001–2014 гг., отфильтрованные от промышленных взрывов. Методически работа заключалась в следующем: изучаемый временной ряд сейсмичности, а именно — интервал времени с 08 апреля 2001 года по 5 августа 2014 года был разбит на интервалы времени длительностью 29 дней, равные с точностью до полусуток синодическому

месяцу. В соответствии с лунным календарем [10] были получены фазы луны. Для каждого порядкового номера лунного дня были подсчитаны количество событий и суммарная энергия (L_g Дж) за весь исследуемый интервал времени. Данные об основных явлениях в движении Луны (в частности, в перигее и апогее) взяты из литературы [11], а также из готовых таблиц расчетных моментов прохождений Луной перигея и апогея орбиты, полученных на основе полуаналитической теории движения Луны ELP 2000–82. Максимальная ошибка рассчитанных моментов времени не превосходит 17.4 с, средняя ошибка менее 4 с, ошибка расстояния от Земли не превышает 12 км в перигее и 6 км в апогее орбиты.

Результаты исследований

По результатам выполненных исследований построены графики распределения сейсмических событий (рис. 1) и суммарной выделившейся энергии (рис. 2) по дням синодических месяцев. Прежде всего, устанавливается явная закономерная связь и зависимость сейсмических событий от лунно-солнечного приливного фактора. С учётом размера выборки (более 98 тысяч данных) график без системного управляющего фактора должен был бы стать сглаженным, а фактически — наблюдаются значимые вариации количества событий (до 18 %) и суммарной выделившейся энергии (до 50 единиц L_g Дж).

Максимальный пик сейсмических событий (по количеству), как и предполагалось, приходится на новолуние (~ 3650), а спад — на 1-ю (~ 3270) и 3-ю (~ 3180) четверти (см. рис. 1). В период полнолуния количество событий также растёт, но образует пик (~3600) лишь 1–2 дня спустя, не достигая максимальных значений новолуния. Это в определенной мере подтверждает результаты некоторых исследователей, согласно которым в сизигии наибольшие приливы и отливы проявляются в новолуние, поскольку в это время гравитационные силы Луны и Солнца складываются и действуют в одном направлении [7]. Неожиданными оказались положительные пики сейсмических событий, приходящиеся на 6–7-ой (~3650) — за 2–3 дня до 1-й четверти, на 13-й (~3610) и на 24-й — день спустя после 3-й четверти (см. рис. 1). Ожидаемый характер размещения минимальных экстремумов графика наблюдается только в 3-ей четверти (~3160). Другой минимум событий пришёлся на 8-й день (~3260) — за один день до 1-й четверти, после чего график стал быстро расти (до 3430). Кроме того, появились ещё два минимума: на 4-й день после новолуния (3100) и за 2–3 дня до полнолуния (~3170).

Таким образом, график распределения количества сейсмических событий в зависимости от фазы Луны (номера лунного дня) выявил ряд закономерностей поведения, несовпадающий с предсказанным шаблоном.

В графике распределения суммарной энергии сейсмических событий в зависимости от номера лунного дня экстремумы также заняли положение, отличное от ожидаемого. Так, все четыре выделенных пика оказались смещены относительно фаз Луны и приходятся на: 6-ой день после новолуния; 11-ый лунный день после 1-ой четверти; 20-ый день до 3-ей четверти и 26-й день до новолуния. Причём, максимальное выделение энергии наблюдается у экстремумов вблизи четвертей: 2–3 дня после 1-ой ($LgE \sim 750$ единиц) и за 3 дня до 3-ей ($LgE \sim 745$ единиц). Минимальные экстремумы тяготеют к четвертям (за 1–2 дня до четверти), а также отмечаются за 1–2 дня до полнолуния и новолуния.

Совместный анализ обоих графиков показывает следующие закономерности: — пики на 5–6 лунный день обусловлены возрастанием сейсмичности со средневзвешенной энергией единичного события; — в период новолуния и полнолуния возрастает количество фоновой сейсмичности с одновременным падением средней энергии единичного события; — возрастание энергии единичного события характерно для экстремумов вблизи четвертей: 3 дня после 1-й, а также за 3 дня и 3 дня после 3-ей четверти. В целом характер сейсмичности в руднике Расвумчорр описывается следующим образом: начиная с новолуния, в течение 2–3 дней идёт опережающий рост событий повышенной энергии, → наибольшее рассогласование между графиками наблюдается на 4-й лунный день (самые высокоэнергетические события), → к 6-му лунному дню возрастает количество событий и пики выделяемой энергии и количества событий совпадают на 6–7 день, → далее оба графика совместно резко падают к 8-му лунному дню, после которого энергия единичных событий снова растёт опережающими темпами, достигая пика на 11 день, а количество событий достигает своего пика на 13-й день, когда энергия событий заметно снижается, → после 14–15-го лунного дня графики совместно резко растут к полнолунию, после которого происходит обратное (по отношению к первым 2-м фазам) смещение — количество событий образует пик на 17–18-й день, а выделившаяся энергия — на 19–20-й на фоне снижения числа событий, → далее оба графика снижаются достигая минимумов около 3-й четверти, → затем наблюдается совместный рост с опережением графика количества событий на 1–2 дня: график достигает положительного экстремума на 24-й лунный день, а график выделившейся энергии — на 26-й на фоне промежуточного минимума количества событий (возрастание вклада высокоэнергетических событий), → далее графики развиваются рассогласованно: количество событий к новолунию резко возрастает, а выделившаяся энергия — падает.

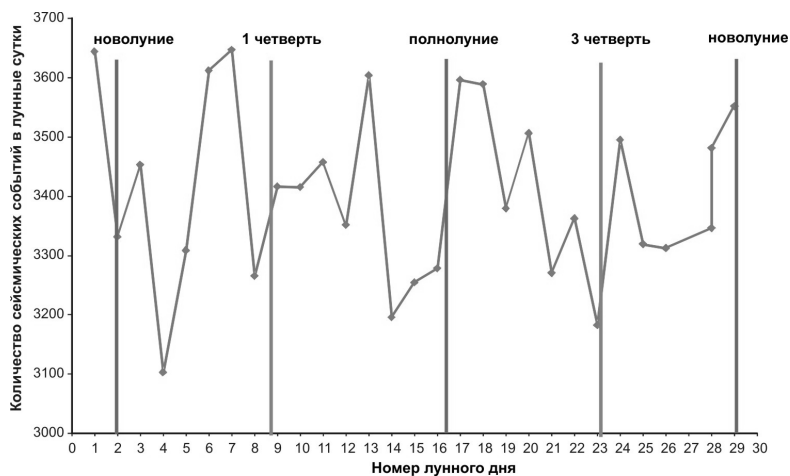


Рис. 1. График распределения количества сейсмических событий в зависимости от номера лунного дня (общая сумма за анализируемый период)

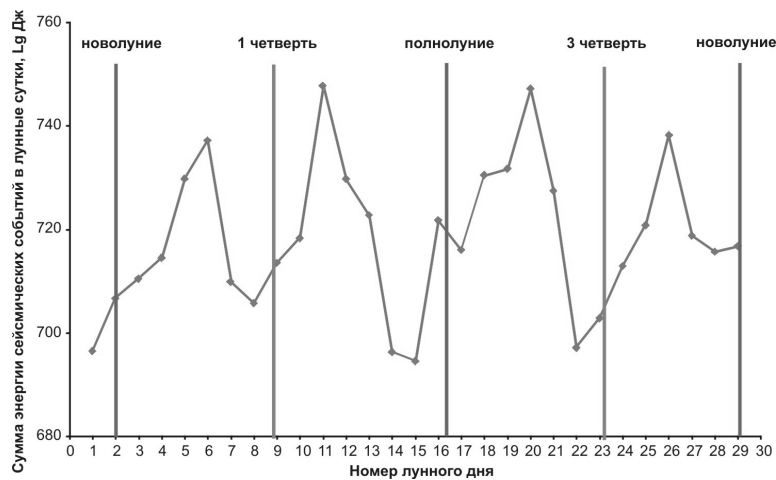


Рис. 2. График распределения суммарной энергии сейсмических событий в зависимости от номера лунного дня

Таким образом, в период от новолуния через первую четверть к полнолуннию отмечается опережение графика выделившейся энергии (тип А — сначала идут относительно редкие высокоэнергетические события, а затем — большое количество слабоэнергетических аф-

тершоков), а в период от полнолуния через 3-ю четверть к новолунию мы наблюдаем обратную тенденцию (тип В — сначала идёт большое количество относительно слабых форшоков, а затем — высокоэнергетические события). Эта выявленная закономерность полезна с точки зрения составления генерализованного прогноза и критериев принятия решений по данным сейсмомониторинга геомеханического пространства рудника Расвумчорр.

Вопрос о корреляционной связи между сейсмической активностью и лунно-солнечными приливами и их возможном триггерном эффекте целесообразно рассмотреть не только на основе анализа пиков сейсмической активизации и фаз луны синодического месяца, но также расположения Луны на орбите. При этом приливообразующая сила Луны в течение лунного месяца непрерывно изменяется, достигая максимума в перигее и минимума в апогее (в перигее приливообразующая сила примерно на 40 % больше, чем в апогее) [4]. Наибольшего значения приливообразующая сила достигает при совпадении перигея лунной орбиты с новолунием или полнолунием. В вопросе гравитационного воздействия Луны и Солнца помимо влияния периодов сизигия и перигея также немаловажную роль играет склонение Луны в течение месяца. Величина приливной силы есть функция склонения и геоцентрического расстояния Луны (или Солнца) [12]. Т.е. приливное воздействие Луны связано как с изменением фаз Луны (фазовое), так и с изменением склонения Луны. При этом происходит постепенное изменение характеристик приливных колебаний, наблюдающихся от суток к суткам с полумесячной периодичностью. С увеличением склонения Луны, как правило, увеличиваются приливное воздействие. И, наоборот, при склонении Луны, равном нулю, величины приливов наименьшие [13]. Приливное неравенство (т.е. отклонение величины от средних значений для данной местности) определяется только величиной склонения и не зависит от его знака.

С учётом вышесказанного для изучаемого района был выполнен анализ возможной корреляционной связи между величиной склонения Луны и сейсмичностью за период с 2001 по 2014 гг. В результате установлено, что при больших значениях склонения наблюдается большее количество событий (рис. 3) и их повышенная энергия. При анализе диаграммы необходимо учитывать не только количество событий, происходящих в сутки (т.е. значения по вертикальной оси), но и количество самих суток, в которые происходили события, т.к. сейсмические события происходили не ежедневно (т.е. области сгущения и разряжения точек на диаграммах). В результате установлено, что в полосе $\pm 20^\circ \div \pm 30^\circ$ склонения наблюдается

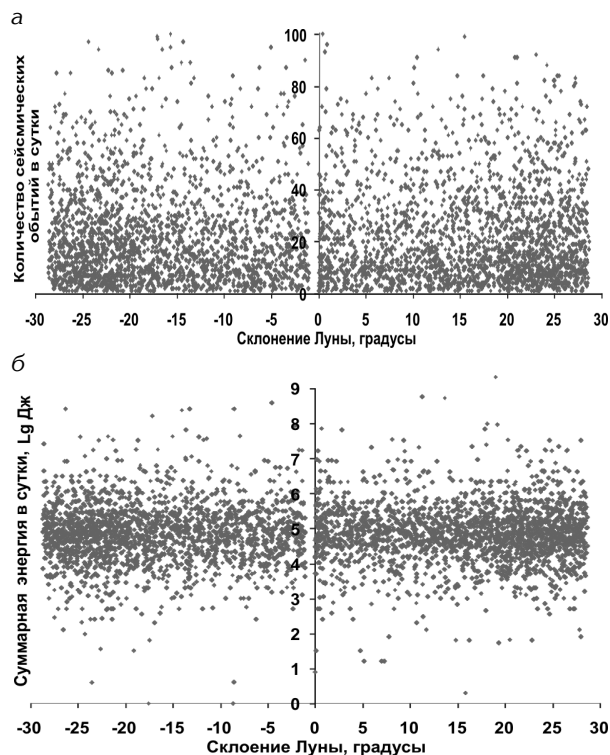


Рис. 3. Диаграмма зависимости от склонения Луны: а – количества сейсмических событий в сутки; б – энергии сейсмических событий в сутки

на 15523 сейсмических события больше, чем в полосе $0^\circ \div \pm 30^\circ$. При этом энергия этих событий также больше на 3255 единиц (Lg Дж). Если учитывать также и расстояние от Луны до Земли, то установлено, что при максимальных значениях склонения (в полосе $\pm 20^\circ \div \pm 30^\circ$) и минимальном расстоянии от Луны (т.е. в перигее) наблюдается 9345 сейсмических события, а при минимальных значениях склонения (в полосе $0^\circ \div \pm 30^\circ$) и максимальной удаленности Луны (т.е. в апогее) – 6551 события.

Заключение

Результаты выполненных исследований показали явную закономерную связь и зависимость сейсмических событий от лунно-солнечных приливов. Их влияние в рассмотренном районе существенно превышает влияние других космических факторов, таких как, например, геомагнитные возмущения [14].

Определена общая закономерность развития сейсмичности в течение лунного цикла: в период от новолуния через 1-ю четверть к полнолунию отмечается опережение графика выделившейся энергии (тип А — сначала идут относительно редкие высокоэнергетические события, а затем — большое количество слабознергетических афтершоков), а в период от полнолуния через 3-ю четверть к новолунию мы наблюдаем обратную тенденцию (тип В — сначала идёт большое количество относительно слабых форшоков, а затем — высокоэнергетические события). То есть, при пересечении сизигиев происходит резкая смена динамического режима сейсмичности. Эта выявленная закономерность полезна с точки зрения составления генерализованного прогноза и критериев принятия решений по данным сейсмомониторинга геомеханического пространства рудника Расвумчорр.

Установлена и показана зависимость сейсмичности от изменения величины склонения Луны в течение месяца: как и ожидалось, с ростом значения модуля склонения Луны наблюдалось увеличение количества и энергии сейсмических событий из-за увеличения приливной силы в этот период. И, наоборот, при минимальных значениях склонения — наименьший сейсмический отклик.

Детализация и выявление связей между сейсмичностью природно-технических систем региона и космическими факторами (в первую очередь — солнечно-лунными приливами) будут продолжены с использованием инструментов 3D и 4D моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30–76
2. Стейси Ф.Д. Можно ли предсказать землетрясения? — Предсказание землетрясений (с англ.), Мир, М., 1968, с. 21–32.
3. Личков Б.Л. Природные воды Земли и литосфера. // Записки ГО, №19, АН СССР, М., Л., 1960
4. Тамразян Г.П. Землетрясения в Приказбекском районе и упругие приливы // Известия академии наук СССР. Серия геофизическая. — 1956. — №7. — С.840–843.
5. Тамразян Г.П. Цикличность — отражение развития Земли. // Природа, №1, 1964, С. 107–110.
6. Логвиненко Н.В. Периодические процессы в геологии, Недра, Л., 1976.
7. Саукова М.Ф., Толегенулы Б., Карайдар Е.Н., Дастанулы Н., Жанбосынова А.С. Геотектонические и геодинамические факторы миграции флюидов // Вестник № 1. — 2013.

8. Белов Н.И. Анализ роли космических возмущающих факторов реализации горных ударов и землетрясений // В сб. «Комплексная разработка рудных месторождений и вопросы геомеханики в сложных и особо сложных условиях». – Апатиты. – 1995. – С.63–71.


9. Seleno-Helio-Geophysical Factors in the realisation of the Ruck Bursts and Earthquakes / E.A. Kasatkina, O.L.Shumilov, O.M.Raspopov, N.I.Belov // 43rd Arctic Science conference Programm and Proceeding, September 8–12, Valdez, Alaska, Session 1, 1992. — P.142.

10. Климишин И.А. Календарь и хронология. 2-е изд., перераб. и доп. — М., «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. — 1985. — 320 с.

11. Астрономические явления до 2050 года. //Под редакцией Козловского А.Н. Серия «Астробибlioтека». – АстроКА, 2012. –292 стр. с изображениями. Выложено на <http://www.astronet.ru>

12. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Синхронизация вариаций атмосферной циркуляции колебаниями лунно-солнечных приливов и подбор аналогов для долгосрочных прогнозов погоды /Труды Гидрометцентра России. Выпуск 344. — Москва. 2010. — С. 238–251.

13. Стехновский Д. И., Зубков А. Е., Петровский Ю. С. Навигационная гидрометеорология — М.: Транспорт, 1971. — 304 с.

14. Zhirova A.M., Vinogradov A.N., Zhirov D.V., Vinogradov Yu.A., Baranov S.V. Seismicity of the natural-technical systems in mining areas of the Murmansk region (NW Russia). // Proceeding of Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013 (VEESD 2013), 28–30 August 2013, Vienna, Austria, Paper No. 324. P.1–10. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Жирова А.М. – кандидат технических наук, научный сотрудник,
anzhelaz@geoksc.apatity.ru,

Жиров Д.В. – научный сотрудник, начальник отдела, zhirov@geoksc.apatity.ru,
Геологический институт КНЦ РАН.



UDC 550.3, 550.34

ANALYSIS OF INTERRELATION BETWEEN SEISMICITY IN THE RASVUM-CHORR MINE (THE Khibiny Mountains) AND SOLAR-LUNAR TIDES

Zhirova A.M., researcher, PhD (Eng.), anzhelaz@geoksc.apatity.ru, Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia,

Zhirov D.V., researcher, head of department, zhirov@geoksc.apatity.ru, Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia.

The paper studies interrelation between seismicity in the Rasvumchorr underground mine located at the Khibiny natural-engineering system and solar-lunar tidal influence. Influence of such factors as time intervals between earthquakes and the Moon's passing through perigee, descent and phases of the Moon on seismicity of the region under question is analyzed.

Key words: seismicity, solar-lunar tides, perigee, apogee, syzygy, quadrature, Moon's descent

REFERENCES

1. Kropotkin P.N. *Vozmozhnaja rol' kosmicheskikh faktorov v geotektonike* (The possible role of cosmic factors in geotectonics) // *Geotektonika*. 1970. No 2. pp. 30–76.
2. Stejsi F.D. *Mozhno li predskazat' zemletrjasenija? – Predskazanie zemletrjasenij* (Can we predict earthquakes? – Prediction of earthquakes) (s angl.), Mir, Moscow, 1968, pp. 21–32.
3. Lichkov B.L. *Prirodnye vody Zemli i litosfera* (Natural water of the Earth and lithosphere). Zapiski GO, №19, AN SSSR, Moscow, L., 1960.
4. Tamrazjan G.P. *Zemletrjasenija v Prikazbeksdom rajone i uprugie prilivy* (Earthquake in Pricsbactrim area and elastic tides) // *Izvestija akademii nauk SSSR. Serija geofizicheskaja*, 1956. No 7. pp. 840–843.
5. Tamrazjan G.P. *Ciklichnost' – otrazhenie razvitiya Zemli* (Circularity is a reflection of the development of the Earth). *Priroda*, No 1, 1964, pp. 107–110.
6. Logvinenko N.V. *Periodicheskie processy v geologii* (Periodic processes in Geology), Nedra, L., 1976.
7. Saukova M.F., Tolegenuly B., Karajdar E.N., Dastanuly N., Zhanbosynova A.S. *Geotektonicheskie i geodinamicheskie faktory migracii fljuidov* (Geotectonic and geodynamic factors of the migration of fluids) // *Vestnik* No 1, 2013.
8. Belov N.I. *Analiz roli kosmicheskikh vozmushhajushhih faktorov realizacii gornyh udarov i zemletrjasenij* (Analysis of the role of space disturbing factors for the realization of rockbursts and earthquakes) // V sb. «Kompleksnaja razrabotka rudnyh mestorozhdenij i voprosy geomehaniki v slozhnyh i osobo slozhnyh uslovijah». Apatity, 1995. pp. 63–71.
9. *Seleno-Helio-Geophysical Factors in the realisation of the Ruck Bursts and Earthquakes* (Seleno-Helio-Geophysical Factors in the realisation of the Ruck Bursts and Earthquakes) / E.A. Kasatkina, O.L. Shumilov, O.M. Raspopov, N.I. Belov // 43rd Arctic Science conference Programm and Proceeding, September 8–12, Valdez, Alaska, Session 1, 1992. – P.142.
10. Klimishin I.A. *Kalendar' i hronologija* (Calendar and chronology). 2-e izd., pererab. i dop. Moscow, «Nauka». Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1985, 320 p.
11. *Astronomicheskie javlenija do 2050 goda* (Astronomical phenomena by 2050) // Pod redakciej Kozlovskogo A.N. Serija «Astrobiblioteka». AstroKA, 2012. 292 p. Vylazhenno na <http://www.astronet.ru>
12. Sidorenkov N.S., Sumerova K.A. *Sinhronizacija variacij atmosfernoj cirkuljacii kolebanijami lunno-solnechnyh prilivov i podbor analogov dlja dolgosrochnyh prognozov pogody* (Synchronization of variations of the atmospheric circulation fluctuations of lunar-solar tides and the selection of analogues for long-term weather forecasts) / *Trudy Gidrometcentra Rossii*. Vypus 344. Moscow. 2010. pp. 238–251.
13. Stehnovskij D. I., Zubkov A. E., Petrovskij Ju. S. *Navigacionnaja gidrometeorologija* (Navigational Hydrometeorology). Moscow: Transport, 1971. 304 p.
14. Zhirova A.M., Vinogradov A.N., Zhirov D.V., Vinogradov Yu.A., Baranov S.V. *Seismicity of the natural-technical systems in mining areas of the Murmansk region (NW Russia)* (Seismicity of the natural-technical systems in mining areas of the Murmansk region (NW Russia)) // Proceeding of Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013 (VEESD 2013), 28–30 August 2013, Vienna, Austria, Paper No. 324. pp. 1–10.