

## Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения

Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*В статье представлены результаты уточненного расчета средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения. При расчете в качестве высоты над уровнем моря и географической широты региона были использованы средневзвешенные по численности населения значения высоты над уровнем моря и географической широты основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, при этом в расчет были включены все населенные пункты с численностью населения не менее 20 тыс. чел. Охват населения субъектов РФ в проведенном расчете варьируется от 50,1 до 95,8%, не считая городов федерального значения, и в среднем составляет 62,4%; количество включенных в расчет населенных пунктов — от 1 до 63. В основу методики расчета доз положен подход, описанный в отчете НКДАР ООН 2000 г. Полученные значения доз лежат в диапазоне от 0,310 до 0,413 мЗв; для России в целом средневзвешенное по численности населения отдельных субъектов РФ значение индивидуальной годовой эффективной дозы облучения за счет космического излучения составляет 0,338 мЗв.*

**Ключевые слова:** космическое излучение, ионизирующий компонент, нейтронный компонент, космогенные радионуклиды, доза облучения, высота над уровнем моря, географическая широта, субъекты РФ.

### Введение

Доза облучения людей за счет космического излучения вблизи поверхности земли определяется воздействием трех его составляющих: ионизирующего компонента, нейтронного компонента и космогенных радионуклидов. Доза за счет ионизирующего и нейтронного компонентов космического излучения определяется географической широтой местности и ее высотой над уровнем моря [1, 2].

В рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) средняя годовая эффективная доза облучения за счет космического излучения на протяжении многих лет (с 2001 по 2015 г.) для населения всех субъектов РФ при-

нималась одинаковой и равной 0,4 мЗв в соответствии с методическими рекомендациями по заполнению формы государственного (федерального) статистического наблюдения № 4-ДОЗ<sup>1,2,3</sup>.

Впервые расчеты по оценке доз космического облучения для населения субъектов РФ были выполнены нами в процессе подготовки монографии «Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия» [3]. При расчете в качестве высоты над уровнем моря субъекта РФ было использовано среднее арифметическое значение высот основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, а в качес-

<sup>1</sup> Форма государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ: Методические рекомендации (Инструкция по заполнению формы № 4-ДОЗ). М.: Минздрав России, 2002. 15 с. [State statistical form No 4-DOZ: Guidelines (Instructions for completing the form No 4-DOZ). Moscow, Ministry of Health of Russia; 2002, 15 p. (In Russian)]

<sup>2</sup> Форма федерального государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации. Утверждены 19.04.2007 г. № 0100/4027-07-34. – 30 с. [Federal state statistical form No 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background: Guidelines (approved 19.04.2007, No 0100/4027-07-34), 30 p. (In Russian)]

<sup>3</sup> Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации МР 2.6.1.0088-14. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. 39 с. [Federal statistical form No 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background: Guidelines MR 2.6.1.0088-14. Moscow, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; 2014, 39 p. (In Russian)]

**Кононенко Дмитрий Викторович**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: d.kononenko@niirg.ru

тве широты – широта географического центра региона. Результаты этих расчетов были включены в информационные сборники «Дозы облучения населения Российской Федерации» за 2016 и 2017 гг. [4, 5].

В данной работе в расчеты были внесены существенные изменения, позволяющие более точно оценить среднюю индивидуальную годовую эффективную дозу облучения за счет космического излучения, получаемую населением, проживающим не в абстрактном географическом центре региона, а в конкретных населенных пунктах. При расчете в качестве высоты над уровнем моря и географической широты субъекта РФ были использованы средневзвешенные по численности населения значения высоты над уровнем моря и географической широты основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, при этом в расчет были включены все населенные пункты с численностью населения не менее 20 тыс. чел. Для Красноярского края, территория которого простирается примерно от 51,7° с.ш. до 81,2° с.ш., произведен отдельный расчет для северной (Таймырский, Долгано-Ненецкий районы и г. Норильск), центральной (Туруханский и Эвенкийский районы) и южной частей (остальные районы).

### Материалы и методы

Источником данных о координатах населенных пунктов и их высоте над уровнем моря послужила географическая база данных со свободным доступом GeoNames [6].

Охват населения субъектов РФ в проведенном расчете варьируется от 50,1 (Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Саха (Якутия)) до 95,8% (северная часть Красноярского края), не считая городов федерального значения, и в среднем составляет 62,4%; количество включенных в расчет населенных пунктов – от 1 (Магаданская область, не считая городов федерального значения) до 63 (Московская область).

В соответствии с [7] годовая мощность эффективной дозы ионизирующего компонента космического излучения имеет весьма слабую широтную зависимость и для широт от 30° с.ш. до 90° с.ш. на уровне моря  $E_{\gamma}(0)$  равна 236 мкЗв/год (с учетом среднего коэффициента ослабления излучения межэтажными перекрытиями зданий, равного 0,8, и доли времени нахождения людей в поме-

щениях, равной 0,8). Зависимость мощности этой дозы от высоты над уровнем моря описывается следующим выражением [1, 2, 7]:

$$E_{\gamma}(h) = E_{\gamma}(0) \cdot [0,21 \cdot e^{-1,649 \cdot h} + 0,79 \cdot e^{0,4528 \cdot h}], \text{ мкЗв/год (1)}$$

где  $h$  – высота над уровнем моря, км.

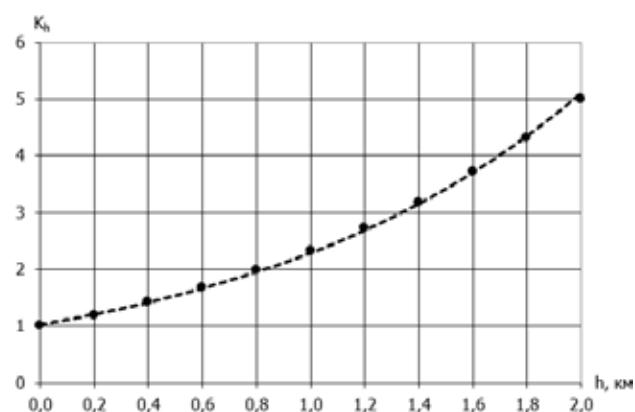
Для нейтронного компонента космического излучения широтная зависимость мощности дозы на уровне моря  $E_n(0)$  более заметна (табл. 1).

Зависимость мощности этой дозы от высоты над уровнем моря также весьма значительна (табл. 2). Высотный коэффициент  $K_h$  представляет собой отношение мощности дозы на высоте  $h$  к мощности дозы на уровне моря:  $K_h = E_n(h)/E_n(0)$ .

Для повышения точности расчетов была построена аппроксимирующая кривая этой зависимости (рис.) и получено ее уравнение (величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,999$ ):

$$K_h = 1,0253 \cdot e^{0,8027 \cdot h} \quad (2)$$

где  $h$  – высота над уровнем моря, км.



**Рис.** График зависимости высотного коэффициента  $K_h$  для нейтронного компонента космического излучения от высоты над уровнем моря

[Fig. Plot of the altitudinal dependence of the  $K_h$  coefficient of the neutron component of cosmic radiation]

Третьей составляющей дозы за счет космического излучения является доза от космогенных радионуклидов –  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  и  $^{22}\text{Na}$ , важнейшим дозообразующим из

**Широтная зависимость годовой мощности дозы нейтронного компонента космического излучения**

Таблица 1

[Table 1]

**Latitudinal dependence of the annual dose rate of the neutron component of cosmic radiation]**

Широта, ° с.ш. [Latitude, ° N]	80–90	70–80	60–70	50–60	40–50	30–40
$E_n(0)$ , мкЗв/год [μSv/year]	81	81	80	74	57	39

Таблица 2

**Зависимость высотного коэффициента  $K_h$  для нейтронного компонента космического излучения от высоты над уровнем моря**

[Table 2]

**Altitudinal dependence of the  $K_h$  coefficient of the neutron component of cosmic radiation]**

Высота, км [Altitude, km]	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$K_h$	1	1,19	1,42	1,68	1,98	2,32	2,72	3,18	3,71	4,31	4,99

которых является  $^{14}\text{C}$ . Эта составляющая индивидуальной годовой эффективной дозы является константой и принимается равной среднемировому значению данного показателя – 12 мкЗв [1,2].

### Результаты и обсуждение

В таблице 3 приведены результаты расчета средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения

населения субъектов РФ за счет космического излучения. Полученные значения доз лежат в диапазоне от 0,310 (Астраханская область) до 0,413 мЗв (Республика Тыва и Забайкальский край); для России в целом средневзвешенное по численности населения отдельных субъектов РФ значение этой дозы составляет 0,338 мЗв.

К регионам с низкими значениями доз за счет космического излучения относятся также Краснодарский

Таблица 3

**Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения**

[Table 3]

**Average individual annual effective doses to the population of regions of Russia from exposure to the cosmic radiation]**

Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]	Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]
1	Республика Адыгея [The Republic of Adygea]	0,321	42	Кемеровская область [Kemerovo Oblast]	0,346
2	Республика Башкортостан [The Republic of Bashkortostan]	0,342	43	Кировская область [Kirov Oblast]	0,341
3	Республика Бурятия [The Republic of Buryatia]	0,391	44	Костромская область [Kostroma Oblast]	0,336
4	Республика Алтай [The Altai Republic]	0,383	45	Курганская область [Kurgan Oblast]	0,334
5	Республика Дагестан [The Republic of Dagestan]	0,317	46	Курская область [Kursk Oblast]	0,346
6	Республика Ингушетия [The Republic of Ingushetia]	0,350	47	Ленинградская область [Leningrad Oblast]	0,331
7	Кабардино-Балкарская Республика [The Kabardino-Balkar Republic]	0,351	48	Липецкая область [Lipetsk Oblast]	0,341
8	Республика Калмыкия [The Republic of Kalmykia]	0,315	49	Магаданская область [Magadan Oblast]	0,332
9	Карачаево-Черкесская Республика [The Karachay-Cherkess Republic]	0,388	50	Московская область [Moscow Oblast]	0,341
10	Республика Карелия [The Republic of Karelia]	0,341	51	Мурманская область [Murmansk Oblast]	0,343
11	Республика Коми [The Komi Republic]	0,344	52	Нижегородская область [Nizhny Novgorod Oblast]	0,338
12	Республика Марий Эл [The Mari El Republic]	0,334	53	Новгородская область [Novgorod Oblast]	0,331
13	Республика Мордовия [The Republic of Mordovia]	0,342	54	Новосибирская область [Novosibirsk Oblast]	0,341
14	Республика Саха (Якутия) [The Republic of Sakha (Yakutia)]	0,359	55	Омская область [Omsk Oblast]	0,334
15	Республика Северная Осетия (Алания) [The Republic of North Ossetia – Alania]	0,373	56	Оренбургская область [Orenburg Oblast]	0,339
16	Республика Татарстан [The Republic of Tatarstan]	0,335	57	Орловская область [Oryol Oblast]	0,341
17	Республика Тыва [The Tyva Republic]	0,413	58	Пензенская область [Penza Oblast]	0,342
18	Удмуртская Республика [The Udmurt Republic]	0,340	59	Пермский край [Perm Krai]	0,340
19	Республика Хакасия [The Republic of Khakasia]	0,352	60	Псковская область [Pskov Oblast]	0,333
20	Чеченская Республика [The Chechen Republic]	0,321	61	Ростовская область [Rostov Oblast]	0,315

Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]	Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]
21	Чувашская Республика (Чувашия) [The Chuvash Republic]	0,336	62	Рязанская область [Ryazan Oblast]	0,336
22	Алтайский край [Altai Krai]	0,343	63	Самарская область [Samara Oblast]	0,335
23	Краснодарский край [Krasnodar Krai]	0,313	64	Саратовская область [Saratov Oblast]	0,333
24	Красноярский край (север) [Krasnoyarsk Krai, Northern part]	0,333	65	Сахалинская область [Sakhalin Oblast]	0,313
24	Красноярский край (центр) [Krasnoyarsk Krai, Central part]	0,344	66	Свердловская область [Sverdlovsk Oblast]	0,349
24	Красноярский край (юг) [Krasnoyarsk Krai, Southern part]	0,348	67	Смоленская область [Smolensk Oblast]	0,349
24	Красноярский край* [Krasnoyarsk Krai*]	0,347	68	Тамбовская область [Tambov Oblast]	0,338
25	Приморский край [Primorsky Krai]	0,314	69	Тверская область [Tver Oblast]	0,339
26	Ставропольский край [Stavropol Krai]	0,353	70	Томская область [Tomsk Oblast]	0,336
27	Хабаровский край [Khabarovsk Krai]	0,314	71	Тульская область [Tula Oblast]	0,344
28	Амурская область [Amur Oblast]	0,343	72	Тюменская область [Tyumen Oblast]	0,334
29	Архангельская область [Arkhangelsk Oblast]	0,336	73	Ульяновская область [Ulyanovsk Oblast]	0,341
30	Астраханская область [Astrakhan Oblast]	0,310	74	Челябинская область [Chelyabinsk Oblast]	0,354
31	Белгородская область [Belgorod Oblast]	0,340	75	Забайкальский край [Zabaykalsky Krai]	0,413
32	Брянская область [Bryansk Oblast]	0,345	76	Ярославская область [Yaroslavl Oblast]	0,336
33	Владимирская область [Vladimir Oblast]	0,339	77	Москва [Moscow]	0,339
34	Волгоградская область [Volgograd Oblast]	0,314	78	Санкт-Петербург [Saint-Petersburg]	0,329
35	Вологодская область [Vologda Oblast]	0,338	79	Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Oblast]	0,317
36	Воронежская область [Voronezh Oblast]	0,339	83	Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous Okrug]	0,335
37	Ивановская область [Ivanovo Oblast]	0,337	86	Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra]	0,338
38	Иркутская область [Irkutsk Oblast]	0,374	87	Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous Okrug]	0,340
39	Калининградская область [Kaliningrad Oblast]	0,328	89	Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]	0,338
40	Калужская область [Kaluga Oblast]	0,344	91	Республика Крым [The Republic of Crimea]	0,317
41	Камчатский край [Kamchatka Krai]	0,337	92	Севастополь [Sevastopol]	0,315

\* – средневзвешенное по численности населения северной, центральной и южной частей края значение  
[\* – average value weighted over the population of the Northern, Central and Southern parts of the region]

край и Сахалинская область (0,313 мЗв), с высокими – Республика Бурятия (0,391 мЗв), Карачаево-Черкесская Республика (0,388 мЗв), Республика Алтай (0,383 мЗв).

Полученные значения средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения планируется включить в информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 г.».

## Литература

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations; 2000, 654 p.
2. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. New York: United Nations; 2010, 241 p.
3. Романович, И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко [и др.]; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с.
4. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник / А.Н. Барковский, Н.К. Барышков, Г.Я. Брук, Б.Ф. Воробьев, Т.А. Кормановская, Л.В. Репин, И.К. Романович, Т.Н. Титова, В.С. Степанов, А.Г. Цовьянов, А.Г. Сивенков, В.Е. Журавлева. – СПб., 2017. – 78 с.
5. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году: информационный сборник / А.Н. Барковский, Руслан Р. Ахматдинов, Рустам Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.М. Библин, А.А. Братилова, Б.Ф. Воробьев, Т.А. Кормановская, И.К. Романович, Т.Н. Титова, В.Е. Журавлева, А.Г. Сивенков, А.Г. Цовьянов. – СПб., 2018. – 69 с.
6. База данных географических названий GeoNames: <http://www.geonames.org> (дата обращения: 15.05.2019)
7. Крисюк, Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк // АНРИ. – 2002. – № 1 (28). – С. 4–13.

Поступила: 15.05.2019 г.

**Кононенко Дмитрий Викторович** – научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: d.kononenko@niirg.ru

**Кормановская Татьяна Анатольевна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83

## Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation

Dmitry V. Kononenko, Tatyana A. Kormanovskaya

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

*The paper presents the results of a refined calculation of the average individual annual effective doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. The population-weighted average values of the altitude and latitude of the main settlements, which are home to at least 50 percent of the population of the region, were used as the altitude and latitude of the region. In addition, all settlements with a population of at least 20 thousand people were included in the calculation. Coverage of the population of the regions of Russia in the calculation varies from 50.1 to 95.8 percent (excluding three cities of Federal importance with 100 percent coverage) with the average value of 62.4 percent. The number of settlements included in the calculation in different regions ranges from 1 to 63. The methodology of the dose calculation is based on*

**Dmitry V. Kononenko**

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: radon-and-life@yandex.ru

*the approach described in the UNSCEAR 2000 Report. The obtained dose values for different regions range from 0.310 to 0.413 mSv. For Russia as a whole country, the population-weighted average individual annual effective dose from exposure to the cosmic radiation is 0.338 mSv.*

**Key words:** *cosmic radiation, directly ionizing component, neutron component, cosmogenic radionuclides, effective dose, altitude, latitude, regions of Russia.*

## References

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations; 2000, 654 p.
2. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. New York: United Nations; 2010, 241 p.
3. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. St.Petersburg6 FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaev, 2018, 432 p. (in Russian)
4. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Bruk G.Ya., Vorobiev B.F., Kormanovskaya T.A., Repin L.V., Romanovich I.K., Titova T.N., Stepanov V.S., Tsovyarov A.G., Sivenkov A.G., Zhuravleva V.E. Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2017: information collection. St.Petersburg, 2017, 78 p. (in Russian)
5. Barkovsky A.N., Akhmatdinov Ruslan R., Akhmatdinov Rustam R., Baryshkov N.K., Biblin A.M., Bratilova A.A., Vorobiev B.F., Kormanovskaya T.A., Romanovich I.K., Titova T.N., Zhuravleva V.E., Sivenkov A.G., Tsovyarov A.G. Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2017: information collection. St.Petersburg, 2018, 69 p. (in Russian)
6. The GeoNames geographical database. – Available on: <http://www.geonames.org> (Accessed: 15.05.2019)
7. Krisyuk E.M. Levels and effects of public exposure. ANRI, 2002;1(28):4–13. (in Russian)

Received: May 15, 2019

**For correspondence: Dmitry V. Kononenko** – Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: [d.kononenko@niirg.ru](mailto:d.kononenko@niirg.ru) ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1392-1226>

**Tatyana A. Kormanovskaya** – PhD in Biology, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A. Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 78-83. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83**