

СОДЕРЖАНИЕ УРАНА И РАДИЯ-226 В ПОДЗЕМНЫХ РАССОЛАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Светлана Юрьевна Артамонова

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)373-21-61, e-mail: artam@igm.nsc.ru

Рассматриваются естественные радионуклиды ^{226}Ra , ^{238}U в подземных рассолах кембрийской осадочной толщи в районе кимберлитовой трубки «Удачная» (Сибирская платформа). Выявлено, что по мере усиления степени метаморфизации в подземных рассолах увеличивается активность изотопов ^{226}Ra . Работа выполнена с применением высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ №18-45-140020 «Особенности ядерного техногенеза на примере объекта мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл».

Ключевые слова: подземные рассолы, Сибирская платформа, геологическая среда, естественные радионуклиды, изотопы, радий.

ISOTOPES OF URAN AND RADIUM IN UNDERGROUND BRINES OF SIBERIAN PLATE

Svetlana Yu. Artamonova

V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Senior Researcher, phone: (383)373-21-61, e-mail: artam@igm.nsc.ru

Activities of natural radionuclides ^{226}Ra , ^{238}U in underground brines of Cambrian sedimentary sequence in area of “Udachnaya” kimberlite pipe (Siberian plate) are considered. Activity of radium increases with the degree of the metamorphization of the underground brines. The work is done with the help of high-resolution semiconductor gamma-spectroscopy on state assignment of IGM SB RAS and on the project No. 18-45-140020 «Features of nuclear technogenesis by the example of the object of the peaceful underground nuclear explosion «Crystal» supported by the Russian foundation for basic research.

Key words: underground brines, Siberian plate, geological environment, natural radionuclides, isotopes, radium.

Введение

На Сибирской платформе широко распространены сверхкрепкие (до 500 г/л) кальциево-хлоридные подземные рассолы, приуроченные к терригенно-карбонатным осадочным толщам позднедокембрийского–кембрийского возраста (рис. 1). В подземных рассолах содержатся ценные компоненты: в них выявлены ураганные концентрации (мг/л): Sr – до 8070, Li – до 600, Rb – до 32,5, Br – до 12,6, позволяющие рассматривать подземные рассолы в качестве гид-

роминерального сырья [1-3]. Помимо прикладного изучения, вопрос формирования подземных рассолов Сибирской платформы является одной из дискуссионных проблем современной гидрогеологии.

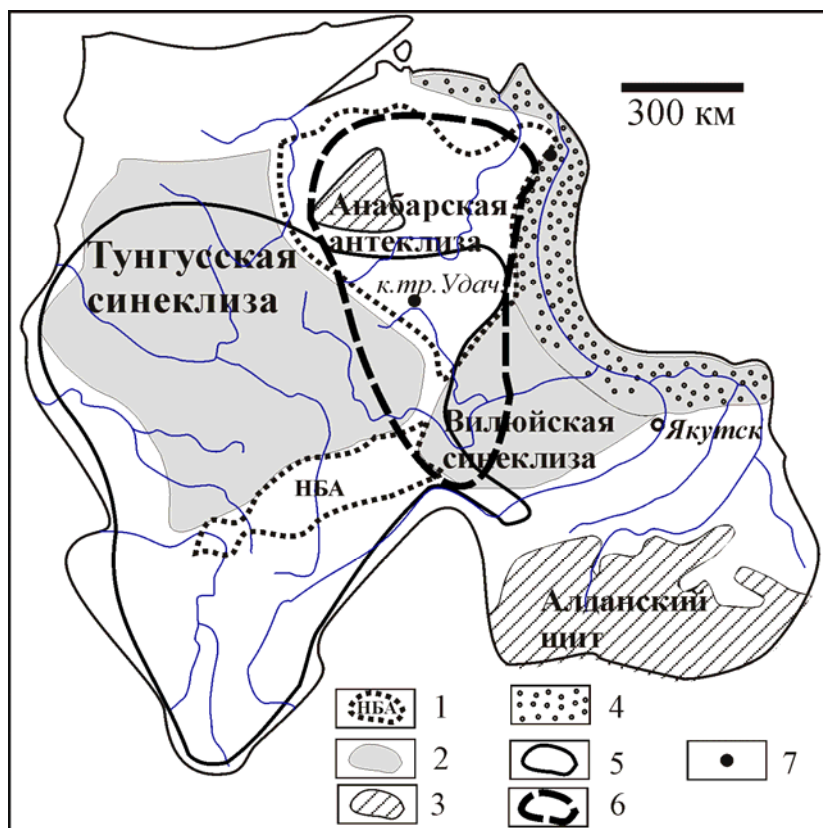


Рис. 1. Расположение района изучения на Сибирской платформе (основа – тектоническая карта [4]).

Условные обозначения: 1 – антеклизы, 2 – синеклизы, 3 – щиты, 4 – Предверхоаянский прогиб, 5 – зона распространения подземных рассолов, 6 – Якутская алмазная провинция, 7 – район изучения

Кроме того, содержание ряда радиоактивных элементов в высокоминерализованных кальциево-хлоридных подземных рассолах Сибирской платформы продолжает оставаться открытым вопросом.

Целью работы было впервые определить содержание естественных радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U в подземных рассолах кембрийской осадочной толщи с применением метода высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии. Для достижения цели выбран район кимберлитовой трубки «Удачная», прорывающей примерно двухкилометровую толщу терригенно-карбонатных пород кембрийского возраста, содержащей классические насыщенные высокоминерализованные подземные рассолы, характерные для Сибирской платформы. Район выбран в связи с его геологической и гидрогеологической изученностью, наличием сети наблюдательных гидрогеологических скважин, из которых проведен пробоотбор подземных рассолов.

Методы и материалы

Отбор подземных рассолов проведен из 10 наблюдательных скважин с глубины 155 – 900 м верхнекембрийского водоносного горизонта (6 проб), I среднекембрийского водоносного комплекса (8 проб), II среднекембрийского горизонта (4 пробы), а также 10 проб подземных рассолов из зумпфов со дна карьера и рудника кимберлитовой трубки «Удачная» с глубины от 325 до 930 м.

Пробы отфильтровывались через бумажный фильтр «белая лента», затем подвергались высушиванию до соли путем выпаривания. Определение содержаний естественных радионуклидов в соли проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием колодезного HPGe детектора с низкофоновым криостатом EGPC 192- P21/SHF 00-30A-CLF-FA фирмы EURISYS MEASURES (Франция) (аналитик – Мельгунов М.С.) [5]. Нижний предел обнаружения активностей указанных радионуклидов составляет 0,02 Бк при массе навески 10 г и времени измерения 12 часов. Аналитическая ошибка единичного измерения при тех же начальных условиях зависит от абсолютной величины удельных активностей определяемых радионуклидов. Относительная погрешность определения ^{226}Ra составила $< 10\%$, ^{238}U – $< 30\%$.

Содержание основных катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , сумма Na^+ и K^+ определено в лаборатории Мирнинской ГРЭ АК «АЛРОСА» путем проведения параллельного отбора подземных рассолов с последующим анализом.

Результаты

В 25 пробах подземных рассолов присутствует ^{226}Ra с объемной активностью от 2,3 до 54 Бк/л (рис. 2). Изотопы ^{238}U обнаружены только в 8 из 25 изученных проб, при этом активность ^{238}U составила десятые доли Бк/л, в одной пробе – 1,2 Бк/л. Минерализация подземных рассолов составила от 108 до 467 г/л, а содержание катионов достигает (г/л): Ca^{2+} – 105, Na^+ – 43, K^+ – 25, Mg^{2+} – 21.

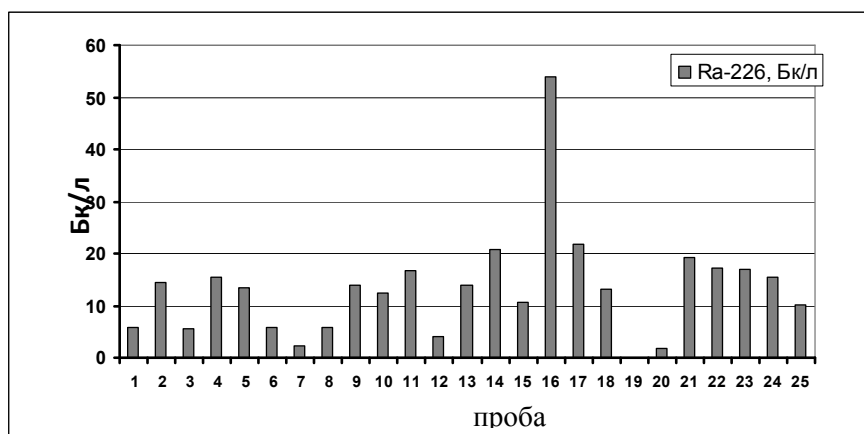


Рис. 2. Объемная активность ^{226}Ra (Бк/л) в подземных рассолах (по горизонтали – номера проб)

Обсуждение

Район изучения расположен в зоне сочленения Оленекского и Верхневилюйского криоартезианских бассейнов Сибирской платформы. Геологическая среда сложена из кембрийских терригенно-карбонатных пород общей мощностью около 2200 м, согласно перекрывающих маломощные (до 190 м) доломиты эдиакария, которые несогласно залегают на кристаллическом фундаменте архея. Отложения представлены в основном известняками и доломитами и их глинистыми, мергелистыми разностями горизонтального или моноклиналиного залегания с падением в юго-западном направлении до 10-12° [6].

Верхнюю часть разреза мощностью 100-300 м составляют многолетнемерзлые породы, в них вода находится в виде льда. Ниже залегают морозные породы с отрицательной температурой и сухие, еще ниже – водоносные горизонты. Верхнекембрийский водоносный горизонт сформирован на глубинах от +100 до +180 абс.м с общей мощностью от 2 до 30 м, со средней минерализацией около 90 г/л. I среднекембрийский водоносный горизонт вскрывается на глубинах от -220 до -600 абс. м, средняя мощность ~ 250 м, минерализация вод – до 300 г/л. II среднекембрийский горизонт расположен на глубинах от -700 до -1120 абс.м, минерализация рассолов – до 500 г/л. Два среднекембрийских водоносных горизонта отличаются высокой водообильностью, напор над кровлей по разным данным составляет 310-350 м, местами до 1270 м. Нижнекембрийский водоносный горизонт вскрыт на глубине от -1100 до -1537 абс.м. Ниже по разрезу выделяют верхнепротерозойский водоносный горизонт [6, 7].

Формирование кальциево-хлоридных рассолов впервые теоретически было обосновано Шварцевым С.Л.: в масштабе геологического времени в результате длительного взаимодействия системы «рассол-порода» происходило растворение известняков и ангидритов, отложение доломита с выходом углекислого газа и сероводорода [8, 9]. В результате в рассолы поступал кальций при одновременном выводе магния в форме доломита. Таким образом, состав захороненной морской маточной рапы, первично преимущественно натриево-хлоридный, становился кальциево-хлоридным с очень высокой минерализацией.

Проведенные исследования подтвердили, что с глубиной изменяется катионный состав подземных рассолов: увеличивается доля Ca^{2+} с 40 до 66 мг-экв.% при уменьшении доли Mg^{2+} от 40 до 20 мг-экв.% при примерном сохранении доли Na^+ на уровне 20 мг-экв.% (рис. 3). Эти изменения указывают на то, что по мере увеличения глубины залегания усиливается степень метаморфизации подземных рассолов. Чем ниже залегание водоносного горизонта, тем он древнее, и тем дольше шли процессы взаимодействия в системе «рассол – порода», и в эти рассолы поступило больше растворенного вещества: соединений кальция и других элементов, близких к кальцию по физико-химическим свойствам.

Диапазон минерализации рассолов увеличивается с 59,5 до 467 г/л (рис. 4, а). При исключении из выборки 4-х проб, отобранных из зумпфов карь-

ера и рудника кимберлитовой трубки «Удачная» из-за возможного влияния на их состав поверхностных вод, выявляется высокая положительная корреляционная зависимость минерализации рассолов от глубины залегания водоносных горизонтов и подземных рассолов с коэффициентом корреляции 0,87.

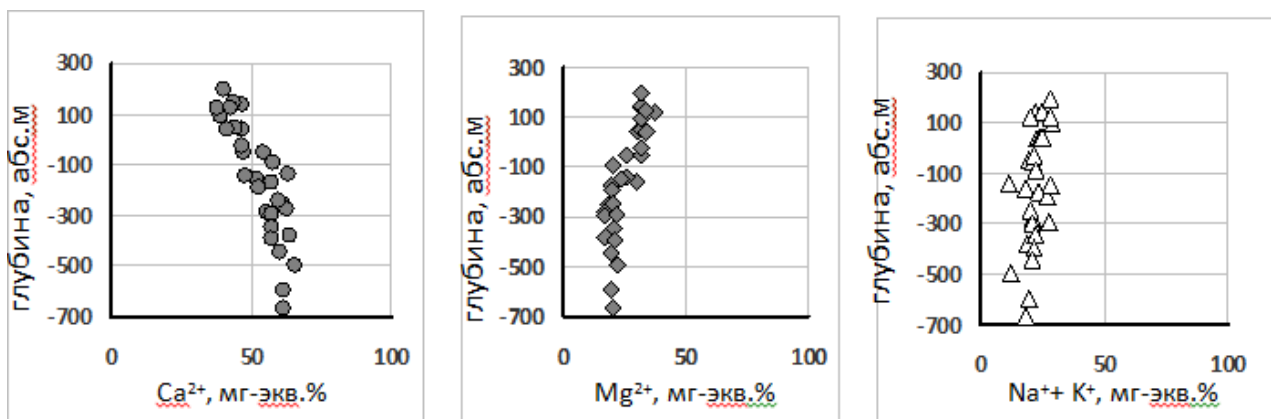


Рис. 3. Изменение катионного состава подземных рассолов (%-экв.) кембрийского осадочного комплекса по глубине отбора (район кимберлитовой трубки «Удачная»)

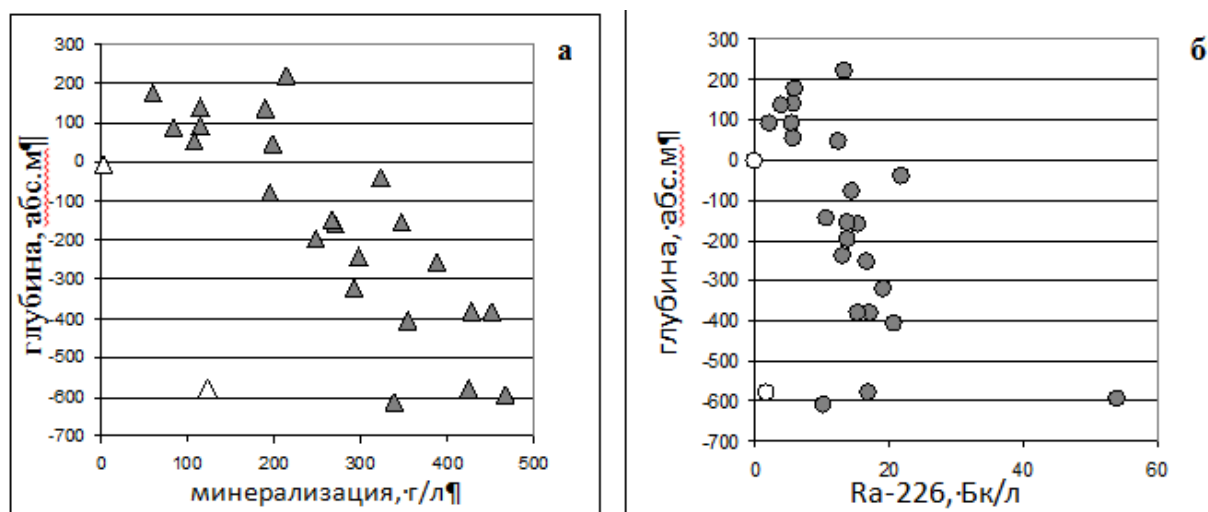


Рис. 4. Изменение минерализации подземных рассолов (а) и объемной активности ^{226}Ra (б) в подземных рассолах.

Белым цветом показаны пробы, отобранные из зумпфов карьера и рудника кимберлитовой трубки «Удачная», разбавленные пресными (метеорными) водами

В зумпфах идет сбор и накопление рассолов, стекающих по стенкам карьера и рудника, для их последующего удаления из горных выработок путем откачки насосной системой. В связи с открытостью зумпфов, по мнению автора, две из 4-х проб, отобранных из зумпфов, оказались разбавленными, по-видимому, пресными метеорными водами: в пробе из зумпфа, расположенного на глубине 325 м (или –5 абс.м) у стены карьера, общая минерализация соста-

вила 3,68 г/л, а в пробе из зумпфа в руднике, расположенного на глубине 900 м (–320 абс.м) – 123 г/л (рис. 4, а).

С помощью высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии в пробах подземных рассолов определены активности ^{226}Ra от 2,3 Бк/л до 54 Бк/л (рис. 4, б). Выявлено, что в подземных рассолах при увеличении минерализации и содержания Ca^{2+} растет активность ^{226}Ra с коэффициентом корреляции 0,79 и 0,82, соответственно (рис. 5, а).

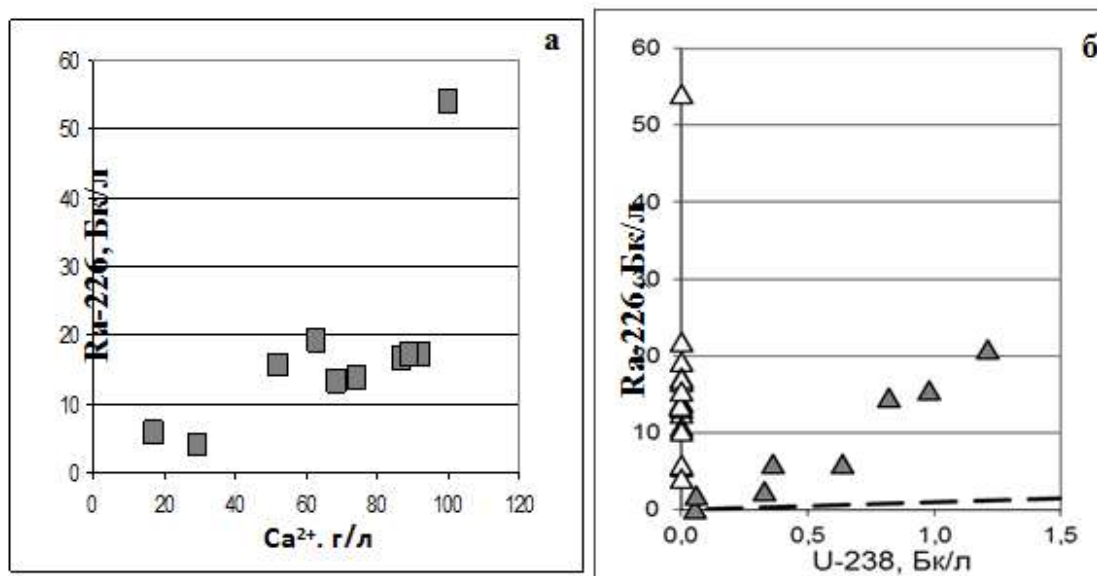


Рис. 5. Взаимосвязь активности ^{226}Ra (Бк/л) с содержанием Ca^{2+} (г/л) (а) и с активностью ^{238}U (Бк/л) (б) в подземных рассолах кембрийского осадочного комплекса (район кимберлитовой трубки «Удачная»).

Пунктиром показана равновесная прямая $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}=1$, белыми треугольниками – пробы с активностью ^{238}U ниже предела обнаружения

В пробах отсутствует равновесие между ^{238}U и ^{226}Ra , что указывает на обогащение рассолов радием-226, который родственен по физико-химическим свойствам кальцию и поступает вместе с ним в подземные рассолы. По мере усиления степени метаморфизации рассолов увеличиваются содержание кальция и активность ^{226}Ra .

Заключение

Впервые определено содержание естественных радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U в подмерзлотных подземных рассолах кембрийской осадочной толщи в районе кимберлитовой трубки «Удачная» (Сибирская платформа) с использованием высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии.

В подземных рассолах выявлено очень малое содержание ^{238}U – всего десятые доли Бк/л, только в единичной пробе – 1.2 Бк/л.

По мере усиления степени метаморфизации подземных рассолов и роста содержания кальция в них в рассолах увеличивается активность ^{226}Ra . В единичной пробе подземных рассолов определена объемная активность ^{226}Ra в 54 Бк/л, при плотности рассола 1,28 г/мл это соответствует удельной активности в 42,2 Бк/кг, близкой к критерию жидких РАО, равному 49 Бк/кг [10]. Сделана рекомендация по детальному изучению активности радия-226 и радона-222 в подземных рассолах.

Автор благодарит Мирнинскую ГРЭ АК «АЛРОСА» за поддержку и за помощь в экспедиционных работах. Аналитические работы проведены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ №18-45-140020 «Особенности ядерного техногенеза на примере объекта мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлоридных кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их промышленного освоения // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 8–9. – С. 30–32.
2. Литиевые подземные воды Иркутской области и Западной Якутии / С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, А.Г. Вахромеев, А.Г. Владимиров, Н.И. Волкова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – №1. – С.27-33.
3. Вахромеев А.Г. Поисковые гидрогеологические критерии локализации месторождений редкометалльных промышленных рассолов Сибирской платформы // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2008. – Вып.7(33). – С. 30-41.
4. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
5. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан)/ М.С. Мельгунов, В.М. Гавшин, Ф.В. Сухоруков, И.А. Калугин, В.А. Бобров, J. Klerkx // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – №6. – С.869-880.
6. Микуленко К.И., Чомчоев А.И., Готовцев С.П. Геолого-географические условия проведения и последствия подземных ядерных взрывов на территории Республика Саха (Якутия). – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – 196 с.
7. Алексеев С.В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. – 319 с.
8. Шварцев С.Л. Источники кальция, стронция и бария крепких и сверхкрепких рассолов хлоридно-кальциевого типа (в связи с формированием последних) // Геология и геофизика. – 1973. – № 6. – С.23-30.
9. Особенности геохимической эволюции хлоридных кальциевых рассолов Оленекского криоартезианского бассейна в позднем кайнозое / С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, С.Л. Шварцев, Н.С. Трифонов, Е.С. Сидкина // Геохимия. – 2017. – №5. – С.429-444.
10. О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

© С. Ю. Артамонова, 2019