

## Формирование радиационного фактора при использовании подземных вод в промышленности

Э.П. Лисаченко

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

*Природная радиоактивность подземных вод и особенности промышленных технологий их использования и/или переработки определяют образование отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов и формирование радиационного фактора в сфере производства. Приводятся данные о его значимости на отдельных производственных участках в металлургии, на ТЭС, в теплоэнергетике, при получении йода из подземных вод.*

Ключевые слова: подземные воды, природные радионуклиды, радиационный фактор, промышленные технологии.

Радиологическая значимость использования подземных вод для работающих и населения стала рассматриваться относительно недавно в связи с выявлением в нефтегазовой отрасли радиационного фактора, потребовавшего решения проблем радиационной безопасности. В остальных отраслях, использующих и/или перерабатывающих подземные воды, систематические радиационные исследования до последнего времени не проводились. Между тем, по данным государственного мониторинга состояния недр (2008 г.), на территории Российской Федерации доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет 45%, а в Центральном и Южном федеральных округах превышает 50% (рис. 1).

Только для питьевых подземных вод радиационный контроль является обязательным. В то же время на промышленных объектах, перерабатывающих и/или использующих подземные воды, возможно формирование радиационного фактора, требующего количественной оценки, а при необходимости – радиационного контроля [2].

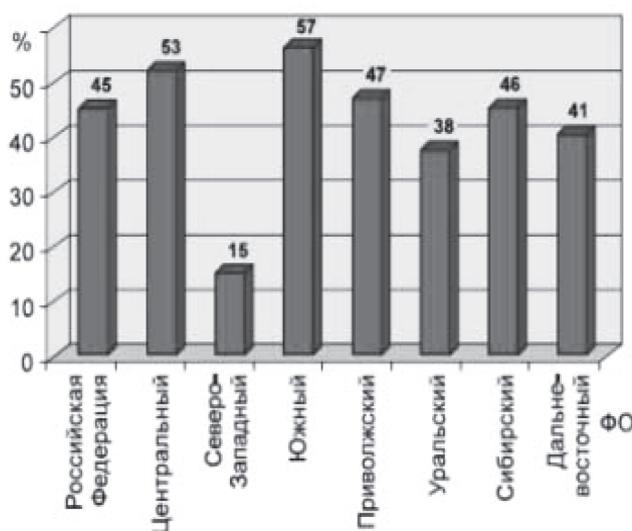


Рис. 1. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении в территориальных округах Российской Федерации [1]

Обогащение подземных вод природными радионуклидами – геохимическая закономерность, связанная с процессами их растворения и выщелачивания из вмещающих горных пород. Содержание природных радионуклидов в подземных водах определяется формой их нахождения в горных породах и составом последних, характером водообмена, длительностью соприкосновения воды с породами и другими факторами. Вследствие этого различия концентраций радионуклидов в подземных водах могут составлять несколько порядков [3–5]. По геологической классификации подземные воды подразделяются на радиевые, радоновые, радоно-радиевые и 3 категории подземных вод, обогащенных ураном. Для всех типов подземных вод (кроме вод, связанных с повышенным содержанием урана в горных породах) радиоактивное равновесие смещено в сторону изотопов радия [3].

Основные радионуклиды в подземных водах – радон, изотопы радия и свинца. Средняя концентрация радия в водах мирового океана составляет  $\sim 10^{-13}$  г/л; в поверхностных водах (реки, озера, моря) она оценивается величиной  $(1-5) \times 10^{-13}$  г/л [4], а в подземных водах может достигать  $10^{-8}$  г/л [5]. Соотношение  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  в подземных водах обычно лежит в интервале 0,2–1,0; в отдельных редких случаях глубокие геохимические процессы могут привести к увеличению доли  $^{228}\text{Ra}$  [3, 6]. Наибольшее количество радия по сравнению со всеми известными пластовыми водами содержат нефтяные воды [7].

Содержание радона в воде может быть существенно выше содержания радия, т.к. подземная вода собирает радон с огромных массивов геологических пород [8]. В Германии максимальной величиной считается концентрация  $^{222}\text{Rn}$  500 Бк/л [9]; в подземных водах Швеции его концентрация может составлять 85 000 Бк/л [10], а в подземных водах Красноярского края оценивается величиной от 60 до 1580 Бк/л [11]. По данным [12], максимальные концентрации природных радионуклидов в питьевой воде артезианских скважин ряда регионов России составляют  $^{226}\text{Ra}$  – 10,8;  $^{228}\text{Ra}$  – 3,1;  $^{210}\text{Pb}$  – 0,16;  $^{210}\text{Po}$  – 0,48;  $^{222}\text{Rn}$  – 1560 Бк/кг.

По виду использования подземные воды подразделяются на питьевые, технические, теплоэнергетические, промышленные и лечебные [13].

При использовании и/или переработке подземных вод обязательной составляющей любой технологии является проведение водоподготовки. Отходами водоподготовки, содержащими природные радионуклиды, являются: твердые отходы первичной фильтрации, шламы от осветления воды и декарбонизации, использованный активированный уголь, насыщенные ионообменные смолы, растворы и шламы от регенерации ионитов [14]. В ходе переработки подземных вод радионуклиды могут поступать в воздух рабочей зоны и окружающую среду и накапливаться на поверхности технологического оборудования; формируются отходы, содержащие природные радионуклиды с широким диапазоном удельных активностей.

Радиологическая значимость этих процессов зависит от концентрации радионуклидов в воде, от технологических особенностей использования воды и в большой степени – от длительности работы системы и мощности водных потоков. Для большинства направлений использования подземных вод эти потоки очень велики.

Технические подземные воды в больших объемах служат необходимым компонентом ряда производств – в металлургии, в целлюлозно-бумажной промышленности, на тепловых электростанциях (ТЭС) [15]. Основными промышленными потребителями воды являются металлургические предприятия. Процесс водоподготовки в металлургии включает в себя систему предварительной очистки, которая содержит фильтры механических примесей, фильтры для снижения мутности и цветности воды, фильтры, удаляющие железо и другие примеси [16]. Большие объемы воды потребляют ТЭС, на которых водоподготовка проводится в цехе «химводоочистки» и состоит из этапов предварительного умягчения воды и ее осветления. При этом, как и в металлургии, вода проходит через множество фильтров, в том числе песочных и ионных [17].

Ориентиром для оценки степени накопления радионуклидов в отходах водоподготовки могут служить имеющиеся данные по водоподготовке питьевой воды.

В документе ЕС принимается, что коэффициент накопления  $^{226}\text{Ra}$  в отходах водоподготовки относительно его содержания в воде составляет  $2,5 \cdot 10^4$  [9]. Близкая величина получается и из данных работы [18]. Коэффициент накопления  $^{226}\text{Ra}$  в производственных отходах из воды здесь составляет  $\sim n \cdot 10^4$ , исходя из того, что содержание радия в песчаной загрузке и гидроксидных осадках системы водоподготовки при длительной работе предприятия составляет 14,3 Бк/г  $^{226}\text{Ra}$  и 22,2 Бк/г  $^{228}\text{Ra}$  при концентрации  $^{226}\text{Ra}$  в воде артезианских скважин  $\sim 2,4$  Бк/л [18].

Кроме системы водоподготовки, накопление радионуклидов может происходить и на отдельных технологических участках предприятий, использующих большие водные потоки. Так, в технологии производства бумаги и целлюлозы в США осадки из труб содержат до 15 Бк/г  $^{226}\text{Ra}$ , а мощность дозы гамма-излучения на поверхности труб достигает 1,7 мкЗв/ч (200 мкР/ч) [6]. По данным [19], в отходы предприятия по производству целлюлозы в Испании поступают значительные потоки радионуклидов из отдельных технологических циклов производства: по  $^{40}\text{K}$  – до 250 000 МБк/год (натриевый цикл), по  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Th}$  – 1200–1800 МБк/год (кальциевый цикл). При использовании артезианской воды в котельной теплоснабжения от осадка в накопительном баке и трубопроводах была отмечена мощность дозы внешнего излучения, достигающая 13 мкЗв/ч (1500 мкР/ч) [4].

Теплоэнергетические (термальные) подземные воды используются для выработки тепловой и электрической энергии и в качестве гидроминерального сырья для извлечения ценных химических элементов и их соединений [15]. Из твердых минеральных отложений на оборудовании при эксплуатации геотермальных месторождений можно получать ценные материалы и редкие элементы [20].

На территории России термальные воды, пригодные для выработки тепловой и электрической энергии, имеются преимущественно на Северном Кавказе, в Западной Сибири и в Дальневосточном федеральном округе (рис. 2).

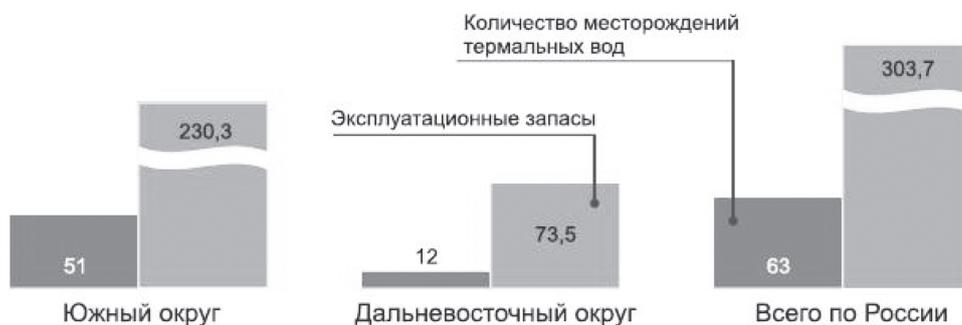


Рис. 2. Количество месторождений и эксплуатационных запасов термальных вод в федеральных округах России [21]

В технологиях использования термальных вод накопление природных радионуклидов на поверхности оборудования и в окружающей среде происходит так же, как при нефте- и газодобыче, где оно оказываются радиационно значимым. Уровень накопления радионуклидов в большой степени определяется длительностью работы систем, а геотермальные установки могут эксплуатироваться гораздо дольше, чем нефтяные и газовые месторождения [22]. Отходы эксплуатации геотермальных скважин (осадки с фильтров, шламы, отходы бурения, осадки на оборудовании и т.д.) могут иметь удельные активности природных радионуклидов до нескольких кБк/кг. Работе геотермальных станций сопутствует большой поток  $^{222}\text{Rn}$  в атмосферу, который оценивается величиной  $1 \cdot 10^{11}$  кБк/год при мощности станции 400 МВт. Считается, что радоновыделение из отвалов и оборудования может оказаться существенным [6].

К промышленным относят подземные воды и рассолы, способные обеспечить рентабельную добычу из них редких металлов и рассеянных элементов. Освоение ресурсов гидроминерального сырья может обеспечить производство I, Br, Li, Cs, B, Sr, солей Na, Ca, Mg в масштабах, полностью удовлетворяющих потребности народного хозяйства России [15]. В промышленно развитых странах проводятся интенсивные исследовательские работы по расширению перечня компонентов, извлекаемых из пластовых вод. В России потенциальные ресурсы йода, брома, магния, лития и бора огромны: ежегодный объем добываемых попутно с нефтью пластовых вод в России составляет порядка 800 млн м<sup>3</sup> [23].

В технологиях извлечения йода из подземных вод (воздушно-десорбционная, угольно-адсорбционная и с помощью ионообменных смол) после первичной водоподготовки идет подкисление воды серной кислотой, которое стимулирует образование осадков на оборудовании с повышенным содержанием радия [24, 25]. При угольно-адсорбционном способе получения йода природные радионуклиды накапливаются в угле, который может направляться в отходы или на реактивацию; подобная ситуация имеет место и при извлечении йода с помощью ионообменных смол, накапливающих радионуклиды. При воздушно-десорбционном выделении йода из пластовых вод коэффициент накопления радия в осадках на оборудовании относительно его содержания в воде составляет  $\sim (1-1,3) \cdot 10^4$ . Удельные активности осадков составляют по  $^{226}\text{Ra}$  до 25 кБк/кг,  $^{228}\text{Ra}$  до 32 кБк/кг при концентрации этих изотопов в исходных водах 1,9 и 2,9 Бк/л соответственно. За время работы у предприятия накапливаются тысячи тонн подобных осадков.

Приведенные данные, хотя и отрывочные, говорят о вероятности значимого дополнительного облучения работников предприятий, использующих и/или перерабатывающих подземные воды. В общем случае основными составляющими радиационного фактора для работников предприятий являются: внешнее облучение за счет радионуклидов, содержащихся в технологических элементах и в производственных отходах; внутреннее – за счет ингаляционного поступления изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада и за счет ингаляционного поступления долгоживущих природных радионуклидов в организм работников с производственной пылью. Значимость каждой составляющей

определяется конкретными условиями использования подземных вод.

Согласно данным НК ДАР ООН 2008 г. [26] и документу ЕС [9], дозовые нагрузки на работников предприятий водоподготовки могут достигать пределов дозы для персонала группы А, в основном, за счет радона в воздухе помещений. В документе ЕС приводятся расчетные данные дозы внутреннего облучения. Фактор накопления радона в воздухе принимается равным 50 Бк/м<sup>3</sup> на 1 Бк/л радона в воде. При этом доза внутреннего облучения при максимальной концентрации радона в воде (500 Бк/л) в условиях отсутствия вентиляции помещения составляет 155 мЗв/год; при средней концентрации (5,9 Бк/л) – около 2 мЗв/год. Наличие вентиляции снижает дозы облучения до 0,3 мЗв/год и 4 мкЗв/год соответственно.

Приведенные дозовые оценки можно принять только в качестве настораживающего ориентира, не зная пока структуры систем водоподготовки на отечественных предприятиях, с одной стороны, а с другой – учитывая, что в используемых отечественных подземных водах концентрация радона может достигать более высоких значений.

Доза внешнего облучения работающих от отходов водоподготовки, также по расчетам [10], составляет менее 1 мЗв/год при их расположении в емкостях разной геометрии и коэффициенте концентрирования отходов, равном 25 000 (40 г осадка на 1 м<sup>3</sup> обработанной воды). Величина внешнего облучения от осадков на оборудовании также может быть значительной. Практически на всех предприятиях, использующих природные воды, имеются технологические циклы, связанные с очисткой оборудования от образующихся осадков (емкости, трубопроводы, коммуникации и т.д.). Ремонтные и регламентные работы внутри такого оборудования могут быть сопряжены с высокими уровнями облучения работников [27]. При обследовании действующего завода по производству йода и брома в Туркмении были выявлены отдельные участки на территории предприятия, где мощность дозы гамма-излучения составляла 3–5 мкЗв/ч и более [28].

Большие массы отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов также являются источником дополнительного облучения работающих. В ряде случаев отходы могут иметь чрезвычайно высокий коэффициент эманирования – до 90%, и тогда к аэрационному пути поступления радона из воды в воздух производственных помещений добавляется поступление радона в воздух производственной зоны за счет эманирования отходов [29]. Особенностью отходов переработки и/или использования подземных вод оказывается зависимость их радионуклидного состава от времени их формирования и от времени хранения. Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в отходах практически не меняется во время хранения отходов благодаря большому периоду полураспада – 1600 лет. Со временем в отходах изменяется содержание  $^{228}\text{Ra}$  и его дочерних продуктов  $^{228}\text{Th}$  и  $^{224}\text{Ra}$ , в соответствии с их периодами полураспада – 5,75 лет, 1,9 лет и 3,66 дня соответственно [30].

В реальных условиях дозы облучения работников предприятий, использующих подземные природные воды, в некоторых случаях могут оказаться выше допустимых уровней облучения работников, установленных в НРБ-99/2009.

Вероятность формирования значимого радиационного фактора существует и для работников, создающих но-

вые промышленные технологии получения ценных материалов и редких элементов из осадков на оборудовании с повышенным содержанием природных радионуклидов, полученных при использовании подземных вод.

Источником облучения населения за счет деятельности предприятий, использующих природные подземные воды, является поступление природных радионуклидов в объекты окружающей среды со сбросами и выбросами предприятий, а также размещение на хранение или захоронение производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов на территориях вблизи населенных пунктов [9].

Исходя из приведенных данных, оценка радиационного фактора на отечественных предприятиях, использующих и/или перерабатывающих подземные воды, представляется актуальной, тем более что систематические исследования в этом направлении не проводились. Без введения соответствующих радиационно-гигиенических рекомендаций перспектива интенсивного развития всех направлений использования подземных вод в промышленности неизбежно приведет к постепенному ухудшению радиационной обстановки на соответствующих объектах и вблизи них.

## Литература

1. Официальный сайт Центра государственного мониторинга состояния недр. Запасы подземных вод и их использование. – [http://www.geomonitoring.ru/mpv\\_zapas.aspx](http://www.geomonitoring.ru/mpv_zapas.aspx).
2. Лисаченко, Э.П. Радиационно-гигиенические проблемы использования глубинных вод / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2006. – С. 185–192.
3. Токарев, А.Н. Радиогидрогеология / А.Н. Токарев, А.Р. Щербаков. – М.: Госгеолтехиздат, 1956.
4. Сафронов, В.Г. Радий как источник радиоактивного загрязнения / В.Г. Сафронов, А.В. Желваков. – [http://www.radon.ru/MAGAZINE/01\\_2006/BOS106\\_Radiy.pdf](http://www.radon.ru/MAGAZINE/01_2006/BOS106_Radiy.pdf)
5. Бахур, А.Е. Радиоактивность природных вод / А.Е. Бахур // Анри. – 1996/97. – № 2. – С. 32–36.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. – Vienna, 2004.
7. Алексеев, Ф.А. Радиохимические и изотопные исследования подземных вод нефтегазоносных областей СССР / Ф.А. Алексеев [и др.]. – М.: Недра, 1975. – 262 с.
8. Бекман, И.Н. Радон: враг, врач и помощник / И.Н. Бекман. – М., 2005. – 25 с. – <http://belaesta/na/by/norm/Rad1/pdf> (11.05.2011).
9. EUROPIAN COMMISSION. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water / J. Hofmann [et al.] // Report EUR 19255 Directorate General Environment. – May 2000.
10. EUROPEAN COMMISSION/ Radiation Protection 135. Effluent and dose control from European Union NORM industries. Assessment of current situation and proposal for a harmonized Community approach Volume 2: Appendices 2003.
11. Скударнов, С.Е. Эколого-гигиеническая оценка хозяйственно-питьевого водопользования подземными водами в Красноярском крае / С.Е. Скударнов // Экобуллетень ИНЭКА. – Архив № 3 (122). – <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0122&pg=016>
12. Романович, И.К. К обоснованию числового значения критерия предварительной оценки качества питьевой воды по удельной суммарной альфа-активности / И.К. Романович [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 3. – С. 11–14.
13. Федеральный портал protown.ru Copyright © ProTown.ru 2008–2009. – <http://www.protown.ru/information/hide/2842.htm>
14. Michalik, B. European waste catalogue — A platform for a common approach to NORM and other industrial waste / B. Michalik, S. P pin, N. Tsurikov // Proc. of the VI. Int. Symposium on naturally occurring radioactive material 22–26 march 2010 Marrakesh, Morocco. – P. 218–240.
15. Вартамян, Г.С. Использование и перспективы освоения минеральных, термальных и промышленных вод / Г.С. Вартамян. – М., 1999. – 86 с.
16. Сайт компании Best Water Technology. Процесс водоподготовки в металлургии. – [http://www.bwt.ru/useful-info/?ELEMENT\\_ID=888](http://www.bwt.ru/useful-info/?ELEMENT_ID=888).
17. Сайт компании Best Water Technology. Водоподготовка для ТЭС. – [http://bwt.ru/useful-info/?ELEMENT\\_ID=540](http://bwt.ru/useful-info/?ELEMENT_ID=540).
18. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов уранового и ториевого рядов в процессе водоподготовки артезианской воды для питьевого водоснабжения / С.М. Гращенко // Радиохимия. – 1997. – Т. 39. – С. 476–479.
19. Vacaа, F. Fluxes and enhancement of natural radionuclides in a pulp mill factory located in the south-west of Spain / F. Vacaа [et al.] // Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19–22 March 2007). Poster 7-6. – Vienna: IAEA, 2008.
20. Материалы международной конференции «Извлечение минеральных компонентов из геотермальных растворов» (Петропавловск-Камчатский, 12–16 сентября 2005 г.). – Петропавловск-Камчатский: Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Оттиск, 2005. – 108 с.
21. Подземные воды © информационно-аналитический центр "МИНЕРАЛ". – <http://www.mineral.ru/Facts/russia/131/291/index.html> (07.06.11).
22. Эртингер, С. Handeblattls. Энергия из глубин / С. Эртингер. – <http://www.intersolar.ru/geothermal/pressa/rbsgeo.html>.
23. Литвиненко, В.И. Комплексное освоение месторождений / В.И. Литвиненко // Нефть. Газ. Промышленность. – 2006. – № 1 (21). – <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6166>.
24. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов в технологическом процессе выделения йода из буровых вод воздушносорбционным методом / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1997. – Т. 39. – С. 93–96.
25. Кузнецов, П.И. Анализ возможности образования твердых радиоактивных отходов на Троицком йодном заводе в процессе производства йода при замене серной кислоты на соляную на стадии подкисления йод-бромной воды / П.И. Кузнецов [и др.] // АНПИ. – 2002. – Т. 1. – С. 23–26.
26. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes V I UNITED NATIONS New York 2010
27. Венков, В.А. Результаты комплексного радиационно-гигиенического обследования объектов ОАО «Самаранефтегаз» / В.А. Венков [и др.] // Топливо-энергетический комплекс России: региональные аспекты : сб. материалов форума. – СПб, 2003. – С. 240–249.
28. Комплексное радиационное обследование территории Балканобатского йодного завода и территории Хазарского химического завода в пределах существующих радиационных аномалий, образовавшихся в результате производственной деятельности предприятий в прошлые годы. Отчет по Д оговору №25-10/2009 от 09 апреля 2009 г. С дополнительным соглашением от 10 июня 2009 г.
29. Организация и проведение комплексного радиационно-гигиенического обследования системы водоснабжения города Тверь. Отчет по договору №25-01/2007.

30. Лисаченко, Э.П. Формирование радионуклидного состава производственных отходов на объектах нефтегазового комплекса / Э.П. Лисаченко, И.Г. Матвеева, И.П. Стамат. – СПб., 2004. – С. 45–56.
31. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПин 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07.08.2009 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.- 100 с.

---

**E.P. Lisachenko**

**The formation of radiation factor during the use of underground water in industry**

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

*Abstract. Natural radioactivity of underground water and particular qualities of industrial technologies for their use and/or processing cause the formation of wastes with enhanced content of natural radionuclides and the formation of the radiation factor in the sphere of production. The data is present on the radiation factor significance at different production areas in metallurgy, thermal power plants, heat power engineering, upon production of groundwater iodine.*

*Key words: underground water, natural radionuclides, radiation factor, industrial technologies.*

Э.П. Лисаченко  
Тел.: 8 (812) 2324329  
E-mail: istamat@mail.ru