

УДК 551.464.550.84.523.47

КИСЕЛЁВ Георгий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 200 научных публикаций, в т. ч. 7 монографий

БАЖЕНОВ Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 60 научных публикаций

КИСЕЛЁВА Ирина Михайловна, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 50 научных публикаций

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ В ПОЧВАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В статье на основании многолетних исследований радиоактивных изотопов в почвах Архангельской промышленной агломерации показано, что концентрации и распределение естественных радиоактивных изотопов в почвенных горизонтах зависят от типа почв и их почвообразующих пород. Концентрации ^{137}Cs в почвах не превышают значений глобальных выпадений. ^{137}Cs в почвах Архангельской промышленной агломерации связан с органическим веществом, скорость его миграции также определяется составом почвообразующих пород.

Ключевые слова: Архангельская агломерация, почвы, радиоактивные изотопы, четвертичные отложения.

Архангельская промышленная агломерация, включающая города Архангельск, Северодвинск, Новодвинск и близлежащие сельские населенные пункты (Уемский, Боброво, Двинский, Талажский авиагородок и др.), расположена на обоих берегах р. Северной Двины, имеет приморское положение – занимает устьевую часть при впадении Северной Двины в Белое море. На ее территории находятся предприятия атомного судостроения – ПО «Севмашпредприятие»,

НПО «Звездочка», ряд судоремонтных предприятий, портовые сооружения, три крупные ТЭЦ (одна в Архангельске, две в Северодвинске) и ряд кочегарок. Сельскохозяйственный комплекс представлен пашнями, покосами, пастбищами, приусадебными садовыми хозяйствами, которые располагаются преимущественно на прилегающей к городам территории.

В 2000 году вице-президентом РАН Н.П. Лавёровым была поставлена задача изучения

естественной и техногенной радиоактивности почв Архангельской промышленной агломерации. Работы в этом направлении на протяжении нескольких лет выполнялись силами Института экологических проблем Севера Уральского отделения (ИЭПС УрО РАН) и Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН) Российской академии наук. Объектами исследований являлись искусственный изотоп ^{137}Cs , естественные изотопы ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , генетические горизонты почв, в частности почвообразующий горизонт.

Территория исследований находится в зоне северной тайги на Онего-Двинско-Мезенской равнине в приморской низине с болотами и частично в холмистой моренной равнине [2]. Почвообразующие горные породы представлены лужскими слоями осташковского горизонта валдайского надгоризонта, выделенной в их пределах позднедриасовой стадии и современными отложениями, которые перекрывают коренные породы мезенской и падунской свиты венда.

Ледниковые отложения лужской стадии мощностью от 0,5 до 50 м, слагающие моренные равнины, осложненные холмисто-моренным, холмисто-грядовым рельефом, отдельными краевыми моренами, редко озами, образованы суглинками, глинами, супесями валунными, иногда песчанистыми с отторжениями коренных и микулинских отложений с гравием и галькой от 1 до 40 % (в районах холмисто-моренного и холмисто-грядового рельефа). Зандровые равнины и флювиогляциальные дельты заполнены песками разнозернистыми хорошо отсортированными с гравием и галькой с гравийно-галечными, галечно-валунными прослоями флювиогляциальных отложений мощностью от 1 до 26 м. Озерно-ледниковые равнинные поверхности на месте внутриледниковых и приледниковых озер покрыты тонко-, мелкозернистыми песками с прослоями супесей и суглинков, ленточными глинами. На лужских отложениях сформированы глееподзолистые, подзолистые и торфяно-подзолистые поверхностно оглеенные почвы. Морские осадки

верхнего дриаса – глины, суглинки, алевриты и тонкозернистые пески мощностью от 3 до 5 м, фрагментами развитые вдоль побережья Белого моря, иногда заполняющие широкие долинообразные понижения рельефа, покрыты глееподзолистыми почвами.

Вдоль всего побережья Белого моря распространены морские отложения последней трансгрессии, с развитыми на них подзолистыми почвами. Мелкозернистые пески с гравием и галькой, с прослоями и линзами суглинков, илы песчанистые, илы органогенные с фауной, глины илистые с перегнившими растительными остатками с тонкостенной фауной, ракушками, детритом, супеси, суглинки, с прослойками и линзами торфа слагают разного уровня террасы, береговые валы, лойды и пляжи. Мощность осадков изменяется от 2 до 27 м.

Аллювиальные современные отложения мощностью от 1 до 24 м в пределах долин рек занимают русла, поймы и надпойменные террасы; русловой аллювий представлен песками разнозернистыми с гравием, галькой, валунами, галечником, поймы и надпойменные террасы – разнозернистыми песками, суглинками, переслаивающимися с песками глинистыми разнозернистыми, иногда отмечаются растительные остатки, прослойки и линзы торфа.

Оловые отложения, слагающие дюны вдоль побережья Белого моря, представлены среднезернистыми песками, иногда слоистыми, мощностью от 0,5 до 8,0 м.

Аллювиально-морские современные отложения, развитые в устьевых частях рек, испытывающие влияние приливных-отливных течений, являются аналогами пойменных террас. Они образованы песками глинистыми тонко-, мелкозернистыми с тонкими прослоями и линзочками заиленных супесей и суглинков, слоистыми, с растительными остатками, богатой диатомовой пресноводной и солоноводной флорой мощностью от 2 до 17 м.

Современные озерные осадки мощностью от 0,5 до 6 м представляют неширокую полосу пляжей и котловины современных озер, сложенных мелко-, среднезернистыми песками

с гравием, галькой, с включениями плохо перегнивших растительных остатков, супесями песчанистыми, гравием, галькой, реже суглинками, глинами.

На современных отложениях, за исключением золовых и озерных, не имеющих на данной территории широкого распространения, образовались аллювиальные дерновые, болотные иловато-глеевые почвы и аллювиальные луговые почвы.

Сотрудниками лаборатории экологической радиологии ИЭПС УрО РАН с 2001 по 2005 год проведен ряд экспедиционных работ по исследованию радиоактивности почв на территории Архангельской промышленной агломерации. В результате было отобрано 1020 образцов почв, в т. ч. по г. Архангельску – 360, г. Северодвинску – 120, г. Новодвинску – 53, а также 487 проб на прилегающей к ним территориях. Отбор образцов почв и растительности проводился по общепринятым методикам [4–8].

Содержание естественных радионуклидов в почвах зависит от содержания их в материнских породах и степени изменения последних [3].

На основании большого объема экспериментальных данных по содержанию радионуклидов в генетических горизонтах почв на территории Архангельской промышленной агломерации показана взаимосвязь распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в зависимости от литологического состава подстилающих горных пород.

Четвертичные и современные отложения, как почвообразующие породы, имеют свою генетическую природу, минеральный состав, химические и физические свойства, что отражается на сущности почвообразующего процесса и в итоге на распределение изотопов по почвенному профилю [10]. Распределение содержания ^{137}Cs в гумусовом горизонте почв зависит от механического состава почвообразующего горизонта (рис. 1).

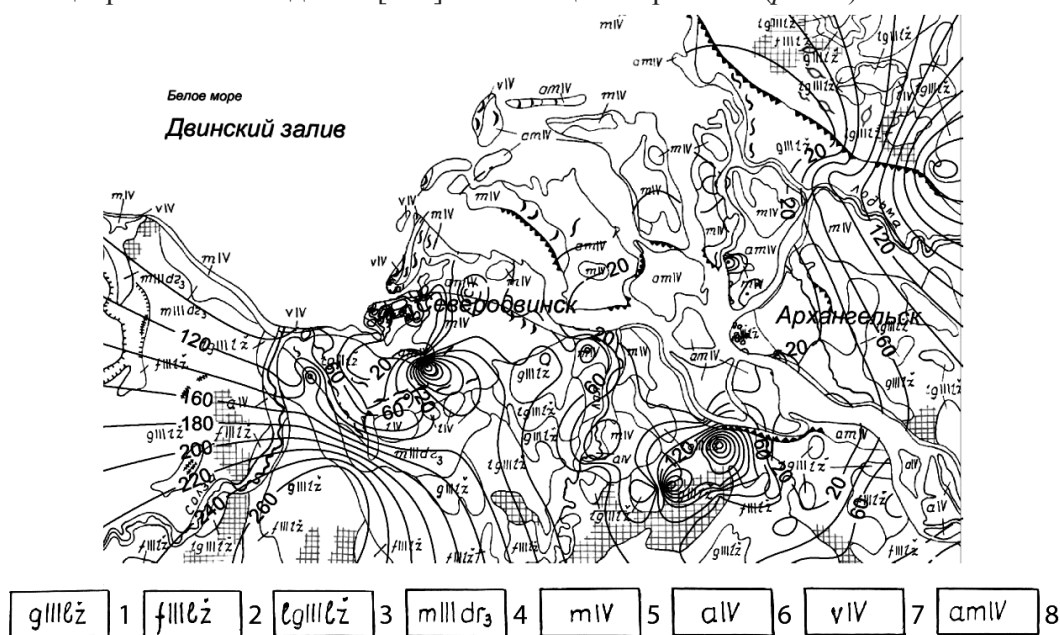


Рис. 1. Распределение содержания ^{137}Cs в гумусовом горизонте почв Архангельской промышленной агломерации (карта четвертичных отложений по Т.Ю. Затульской): 1–4 – лужские слои: 1 – ледниковые, 2 – флювиогляциальные, 3 – озерно-ледниковые, 4 – морские отложения (верхний дриас); 5–9 – современные отложения: 5 – морские, 6 – аллювиальные, 7 – золовые, 8 – аллювиально-морские, 9 – озерные; 10 – изолинии содержания ^{137}Cs , Бк/кг, 11 – береговые валы, 12 – уступы речных террас, 13 – уступы абразивных террас, 14 – холмисто-моренный и холмисто-грядовый рельеф

Значения активности ^{137}Cs менее 20 Бк/кг отмечаются в почвах, сформированных на аллювиальных, эоловых и аллювиально-морских современных отложениях, характеризующихся слабо выраженным маломощным гумусовым профилем с невысоким содержанием гумуса, а также присутствием в нем крупнозернистого песка, который обеспечивает аэрацию почв. Содержание ^{137}Cs более 20 Бк/кг наблюдается в гумусовом горизонте почв, развитых на верхнечетвертичных отложениях, состоящих из суглинков, глин и алевролитов, которые связывают ^{137}Cs и не способствуют его миграции в нижние горизонты.

Для установления связи ^{137}Cs с органическими веществами почв проводился отжиг проб с известными концентрациями ^{137}Cs . Установленная обратная линейная зависимость активности ^{137}Cs от минерального остатка почвы (рис. 2) показывает, что ^{137}Cs в основном концентрируется в органических соединениях почв и его миграция связана с миграцией органического вещества. В процессе вертикальной миграции по профилю почв в иллювиальный горизонт попадает всего 5-6 % ^{137}Cs , содержащегося в гумусовом горизонте. В почвообразующем горизонте концентрация ^{137}Cs изменяется

от 0,8 до 2 Бк/кг. Самая низкая активность изотопа фиксируется во флювиогляциальных отложениях лужской стадии, а также в аллювиальных и эоловых современных отложениях, в составе которых преобладает песок, гравий, галечник и супесь. Увеличение активности наблюдается в ледниковых, озерно-ледниковых и морских верхнечетвертичных отложениях (верхний дриас), образованных суглинками, глинами и алевролитами [9, 10].

Общая тенденция накопления изотопов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвенных горизонтах независимо от типа почв выражена слабо. Их валовое содержание в основном зависит от почвообразующих четвертичных пород.

Активность ^{40}K в почвообразующем горизонте изменяется от 200 до 600 Бк/кг (рис. 3). Повышенные значения объясняются тем, что калий является петрогенным элементом и входит в состав распространенных породообразующих минералов. Максимальная активность ^{40}K замерена в ледниковых отложениях лужской стадии – суглинках, глинах, супесях валунных и в аллювиально-морских отложениях голоцена – глинистых песках, развитых в дельте реки. Низкая активность ^{40}K (менее 300 Бк/кг) наблюдается вдоль всего побережья

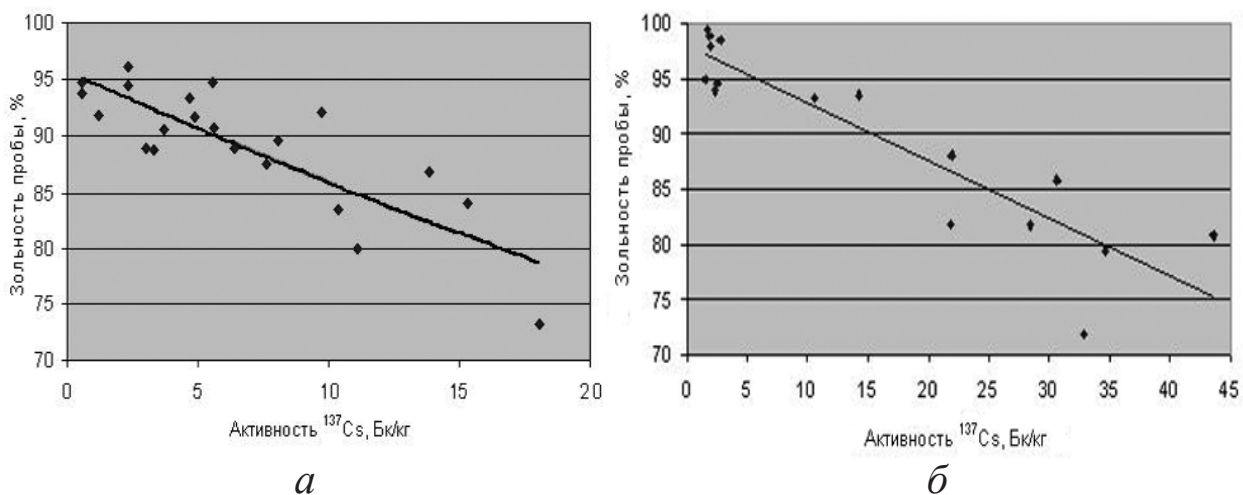


Рис. 2. Зависимость активности ^{137}Cs от зольности проб в городских почвах: а – Новодвинск, б – Северодвинск

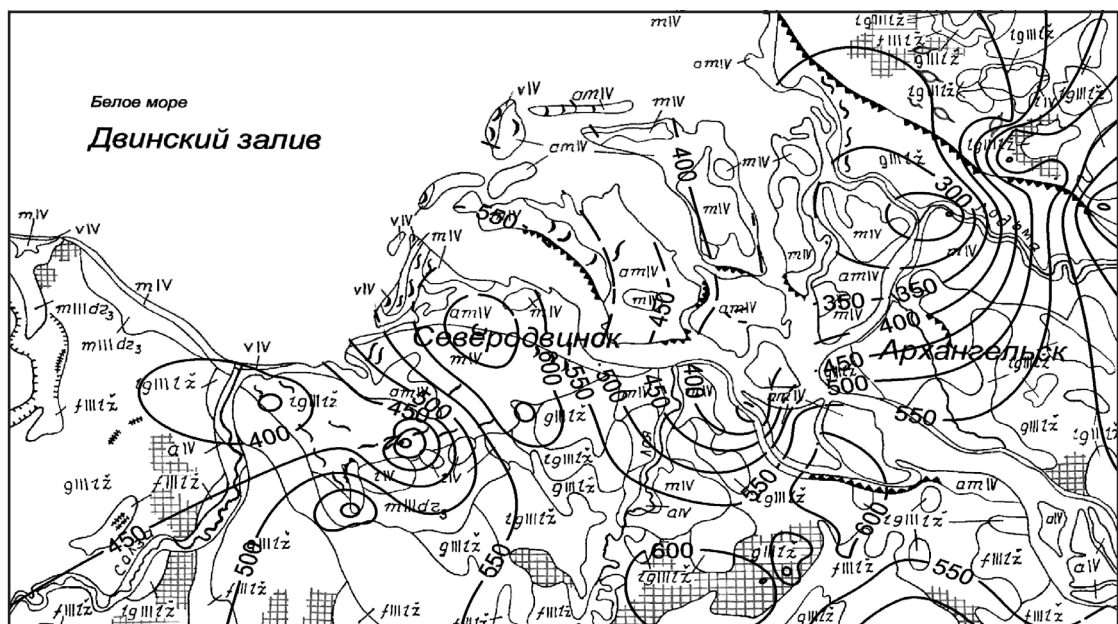


Рис. 3. Распределение содержания ^{40}K в почвообразующей горной породе, Бк/кг

Двинского залива на участках залегания озерно-ледниковых отложений лужской стадии – тонко-мелкозернистых песках и на морских отложениях голоцена – разнозернистых песках. В иллювиальном горизонте активность ^{40}K в среднем находится на уровне его активности в почвообразующей породе. Известно, что в богатых микроорганизмами поверхностных слоях почв, являющихся как питательной средой для произрастания флоры, так и средой, где происходит разложение отмирающих организмов, например в аллювиально-дерновых почвах, концентрация ^{40}K выше, чем в нижележащих слоях.

^{226}Ra относится к изотопам, постоянно образующимся в атмосфере и земной коре за счет природных ядерных реакций, ^{232}Th – типично литофильный элемент. Для изотопов ^{226}Ra и ^{232}Th преобладающей является механическая миграция в составе минерально-обломочной фракции. В то же время нельзя исключить и водную миграцию, которая во многом определяется ландшафтными условиями.

В целом характеры распределения изотопов ^{226}Ra и ^{232}Th во многом совпадают, что и подтверждается полученными результатами.

^{226}Ra относится к изотопам, постоянно образующимся в атмосфере и земной коре за счет природных ядерных реакций, ^{232}Th – типично литофильный элемент. Для изотопов ^{226}Ra и ^{232}Th преобладающей является механическая миграция в составе минерально-обломочной фракции. В то же время нельзя исключить и водную миграцию, которая во многом определяется ландшафтными условиями.

В целом характеры распределения изотопов ^{226}Ra и ^{232}Th во многом совпадают, что и подтверждается полученными результатами.

Содержание ^{226}Ra в почвообразующем горизонте составляет от 2 до 24 Бк/кг (рис. 4). Повышенные значения в основном отмечаются в дельте Северной Двины в хорошо отсортированных песках с гравием и галькой флювиогляциальных отложений и в тонко-мелкозернистых песках с прослоями супесей и суглинков озерно-ледниковых отложений лужских слоев, а также в глинистых песках современных аллювиально-морских отложений. Минимальные значения замерены в озерно-ледниковых отложениях лужской стадии в глинах ленточных, иногда с суглинками и супесями.

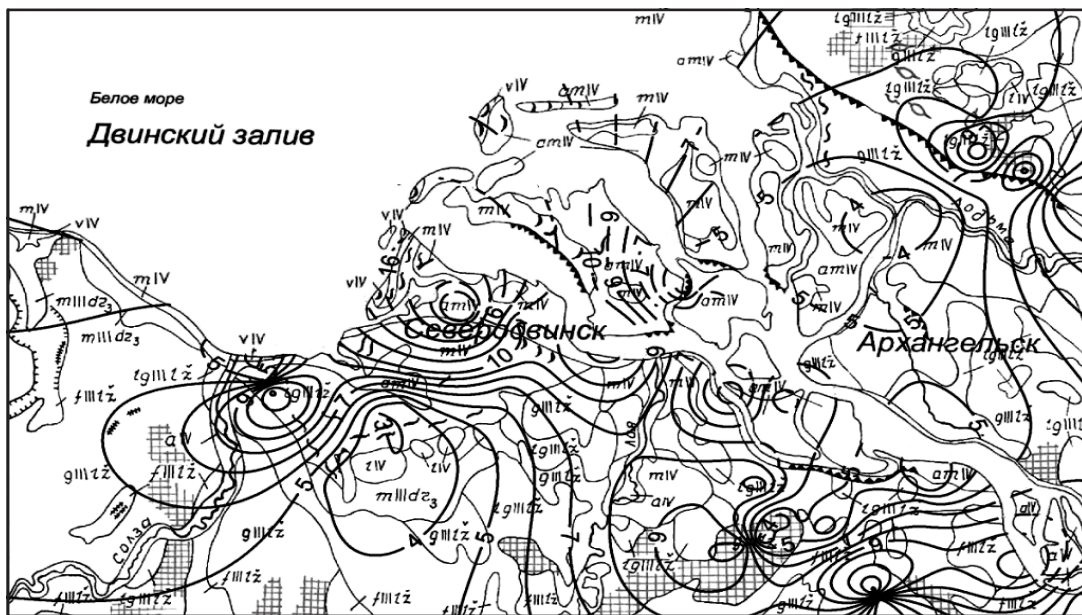


Рис. 4. Распределение содержания ^{226}Ra в почвообразующей горной породе, Бк/кг

Активность ^{232}Th в почвообразующем горизонте изменяется от 2 до 30 Бк/кг (рис. 5). Повышенные значения активности ^{232}Th (до 30 Бк/кг) зафиксированы в современных мор-

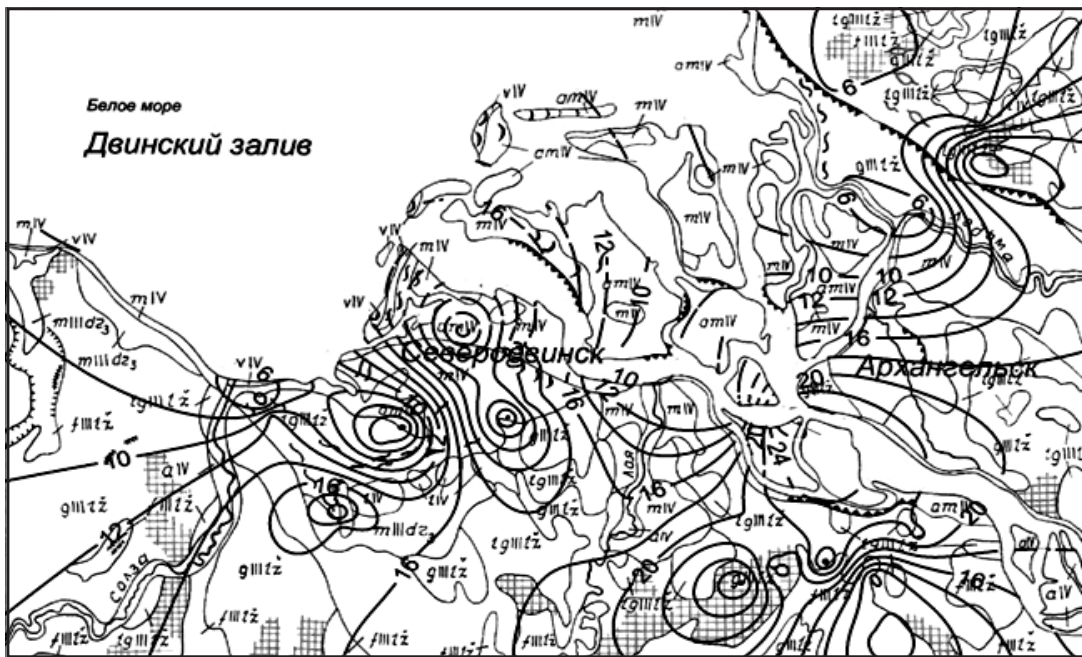


Рис. 5. Распределение содержания ^{232}Th в почвообразующей горной породе, Бк/кг

ских и аллювиально-морских отложениях, образующих зону северо-западного простираения в левобережье дельты и аномалию на островах в черте г. Архангельска. Примерно такие же значения ^{232}Th – до 28 Бк/кг отмечаются в лужских слоях ледниковых отложений. Здесь на площади развития холмисто-моренного рельефа количество обломочного материала резко возрастает до 60-70 %, причем появляется большое количество валунов, часто образующих «валунные мостовые».

Таким образом, если рассматривать почвообразующий горизонт на всей территории Архангельской промышленной агломерации, то можно локализовать участки с высокой и участки с низкой активностью ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th . Максимальное содержание этих изотопов отмечается в районе г. Северодвинска, где преимущественно залегают четвертичные аллювиально-морские отложения, сложенные супесью, суглинком и глиной, а относительно низкое содержание – в районе р. Лодьмы, здесь подстилающая почвообразующая порода представлена ледниковыми отложениями, состоящими из крупнозернистого песка, суглинка и валунов.

Проблемным вопросом для АПА является состояние радиоактивности территорий. В связи с наличием в г. Северодвинске ядерных предприятий население агломерации обесп-

коено возможным загрязнение окружающей среды радиоактивностью. Одним из самых популярных изотопов, которые будут проявляться в результате искусственного загрязнения территорий ядерными предприятиями, является ^{137}Cs . В связи с тем, что активные выпадения ^{137}Cs на дневную поверхность Земли были связаны с ядерными испытаниями в атмосфере, а также с аварией на Чернобыльской АЭС, его распределение в почвенных горизонтах определяется современными процессами почвообразования, что и наблюдается на исследуемой территории. В случае новых поступлений со стороны предприятий г. Северодвинска основное накопление ^{137}Cs будет наблюдаться, независимо от типа почв, в верхнем горизонте.

По проведенным исследованиям, свежих выпадений ^{137}Cs не наблюдается. Это дает основание сделать вывод о том, что существенного радиоактивного загрязнения почв АПА от ядерных предприятий Северодвинска в настоящее время не происходит. Активность естественных радиоактивных изотопов в почвах для исследуемой территории определяется их количеством в материнской почвообразующей породе, т. е. в четвертичных отложениях, где их концентрация не превышает среднего значения для платформенных территорий России, и они не могут создавать дополнительного облучения населения.

Список литературы

1. *Алещук Л.В., Польский Б.Н.* Практические занятия, полевая практика и межсессионные задания по географии почв с основами почвоведения. М., 1985. 63 с.
2. Атлас Архангельской области. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР. М., 1976. 72 с.
3. *Баранов В.И., Морозова Н.Г.* Поведение естественных радионуклидов в почвах // Современные проблемы радиобиологии. М., 1971. Т. 2. С. 13–41.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М., 1984. 7 с.
5. ГОСТ 17.4.2.03-86. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв. М., 1987. 4 с.
6. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М., 2004. 4 с.
7. Программное обеспечение «Прогресс». Версия 3.1. Руководство пользователя. М., 1997. 32 с.
8. Методика измерений активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». М., 1986. 37 с.

9. Крячюнас В.В. Естественная и техногенная радиоактивность почв Архангельской промышленной агломерации: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Архангельск, 2008.

10. Радиоактивный мониторинг Архангельской промышленной агломерации / Г.П. Киселёв, А.В. Баженов, В.В. Крячюнас, И.М. Киселёва // Урал атомный. Урал промышленный: тр. XI Междунар. экол. симпозиума. Екатеринбург, 2005. С. 54–55.

References

1. Aleshchukin L.V., Pol'skiy B.N. *Prakticheskie zanyatiya, polevaya praktika i mezhsessionnye zadaniya po geografii pochv s osnovami pochvedeniya* [Practical Lessons, Field Sessions and Inter-Session Assignments on Geography of Soils and Soil Science Fundamentals]. Moscow, 1985. 63 p.

2. *Atlas Arkhangel'skoy oblasti* [Atlas of the Arkhangelsk Region]. Moscow, 1976. 72 p.

3. Baranov V.I., Morozova N.G. Povedenie estestvennykh radionuklidov v pochvakh [Behaviour of Natural Radionuclides in the Soils]. *Sovremennye problemy radiobiologii* [Current Issues of Radiobiology]. Moscow, 1971, vol. 2, pp. 13–41.

4. *State Standard 17.4.4.02-84 Nature Protection. Soils. Methods for Sampling and Preparation of Soils for Chemical, Bacteriological and Helminthological Analysis*. Moscow, 1984. 7 p. (in Russian).

5. *State Standard 17.4.2.03-86. Nature Protection. Soils. Passport of Soil*. Moscow, 1987. 4 p. (in Russian).

6. *State Standard 17.4.3.01-83. Nature Protection. Soils. General Requirements for Sampling*. Moscow, 2004. 4 p. (in Russian).

7. "Progress" Software. *Version 3.1. User's Guide*. Moscow, 1997. 32 p. (in Russian).

8. *Methods of Measuring Radionuclide Activity in Samples on the Gamma-Ray Scintillation Spectrometer Using "Progress" Software*. 1986. 37 p. (in Russian).

9. Kryauchunas V.V. *Estestvennaya i tekhnogennaya radioaktivnost' pochv Arkhangel'skoy promyshlennoy aglomeratsii*: avtoref. dis. ... kand. геол.-минер. наук [Natural and Man-Made Radioactivity of Soils in the Arkhangelsk Industrial Agglomeration: Cand. Geol.-Mineral. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2008.

10. Kiselev G.P., Bazhenov A.V., Kryauchunas V.V., Kiseleva I.M. Радиоактивный мониторинг Архангельской промышленной агломерации [Radioactive Monitoring of the Arkhangelsk Industrial Agglomeration]. *Ural atomnyy. Ural promyshlennyy: tr. XI Mezhdunar. ekol. simpoziuma* [The Nuclear Urals. The Industrial Urals: Proc. 11th Int. Environmental Symposium]. Yekaterinburg, 2005, pp. 54–55.

Kiselev Georgy Petrovich

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

Bazhenov Aleksandr Viktorovich

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

Kiseleva Irina Mikhailovna

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

RADIOACTIVE ISOTOPES IN THE SOILS OF ARKHANGELSK INDUSTRIAL AGGLOMERATION

The article refers to a many years' research on radioactive isotopes in the soils of Arkhangelsk industrial agglomeration. The research has discovered dependence of the natural radioactive isotope concentration and distribution in soil horizons on the soil type and its pedogenic rock. ^{137}Cs concentration is under the value of the global nuclear fallout. ^{137}Cs in the soils of Arkhangelsk industrial agglomeration is connected to organic substance; its migration speed also depends on the composition of the pedogenic rock.

Keywords: *Arkhangelsk industrial agglomeration, soils, radioactive isotopes, quaternary sediments.*

Контактная информация:

Киселёв Георгий Петрович

адрес: 163000, г. Архангельск, ул. наб. Северной Двины, д. 109;

e-mail: kiselevaim@yandex.ru

Баженов Александр Викторович

адрес: 163000, г. Архангельск, ул. наб. Северной Двины, д. 109;

e-mail: dirnauka@iepn.ru

Киселёва Ирина Михайловна

адрес: 163000, г. Архангельск, ул. наб. Северной Двины, д. 109;

e-mail: kiselevgp@yandex.ru

Рецензент – *Шварцман Ю.Г.*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры географии и геоэкологии института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заведующий лабораторией комплексного анализа наземных и космических данных для экологических целей Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск)