



10. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Районирование территории по степени опасности оседания земной поверхности при проектировании магистрального газопровода в южной Якутии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 10. С. 59–68.
11. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Основные тенденции и последствия динамики современного климата Севера // Климат и природа, М.: Изд-во: Сельмашпроект, 2017. № 1 (22). С. 3–15.
12. Ядзинская М.Р., Соловьева И.В., Галиахметова А.В., Бахарева Н.С. Оценка инженерно-геологических условий в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ)// Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2011. № 11. С. 178–179.

REFERENCES

1. Balobaev V.T., Skachkov YU.B., Shender N.I. Climate change prediction and thickness of frozen rocks of Central Yakutia until 2200. *Geography and natural resources*, Novosibirsk, GEO Publishing House, 2009, no. 2, pp. 50–56.
2. Ganova S.D., Skopintseva O.V. Monitoring of surface water and bottom deposits on the location of gas transportation objects in the cryolithozone. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*, 2018, no. 5, pp. 64–68.
3. Ganova S.D., Tsymbal M.N. Predictive assessment of the status of water bodies for the period of construction and operation of water intake facilities during the development of oil fields in the Far North. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference «New Ideas in Earth Sciences»*. М., 2019, Т. 3, pp. 406–409
4. Goldberg V.M., Zverev V.P., Arbuzov A.I. *Technogenic pollution of natural waters with hydrocarbons and its environmental consequences*. М., Nauka Publ., 2001, 186 p.
5. Kamyshev E.G. Methods and technologies for monitoring the natural-technical systems of the north of Western Siberia. М., DAO «VNIPIgazdobycha», Publ., 1999, 203 p.
6. Moiseeva Yu.A. Modern climate changes in the north of Western Siberia Yu.A. Moiseeva; scientific director O.G. Savichev. *Creativity of the young is a step to a successful future: the Arctic and its development: materials of the IX All-Russian Scientific Youth Conference with international participation with elements of a scientific school named after professor M.K. Korovin, Tomsk, October 10-14, 2016*, Tomsk, TPU publishing house, 2016, pp. 144–146.
7. *Science-applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Release 1. Arkhangelsk and Vologda regions, Komi ASSR. Book 1. L. Gidrometeoizdat, 1989, 247 p.*
8. Pendin V.V., Ganova S.D. *Geoecological monitoring of the territories where gas transportation facilities are located in the cryolithozone*. М., JSC PNIIS Publ., 2009, 226 p.
9. Strokov A.A., Andreeva I.Yu., Zemlyanov I.V. Development of standards for permissible impact on water bodies in the conditions of hydrocarbon production. *Environmental protection in the oil and gas complex*. Publ. : Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, 2013, no. 8, pp. 32–38.
10. Strokov L.A., Ermolaeva A.V. Regionalization of the territory according to the degree of danger of subsidence of the earth's surface in the design of the main gas pipeline in southern Yakutia. *News of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, 2016, Т. 327, no. 10, pp. 59–68.
11. Schatz M.M., Skachkov Yu.B. The main trends and consequences of the dynamics of the modern climate of the North. *Climate and nature*, М., Publishing house: Selmashproekt, 2017, no. 1 (22), pp. 3–15.
12. Yadzinskaya M.R., Solovyova I.V., Galiakhmetova A.V., Bakharova N.S. Evaluation of engineering geological conditions in areas of permafrost. *Geology and minerals of the Western Urals*. Perm, Publisher: Perm State National Research University, no. 11, 2011, pp. 178–179.

УДК 550.42 + 504.064.2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОЙ МОСКВЫ*

А.С. ГУСЕВА, С.А. УСТИНОВ, В.А. ПЕТРОВ

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)*

*35, Старомонетный переулок, г. Москва 119017, Россия
e-mail: alexandra.guseva2011@yandex.ru, stevesa@mail.ru, vlad243@igem.ru*

Рассмотрены вопросы распределения природных радионуклидов (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) в почвах на территории Новой Москвы. На основе обработки результатов аэрогамма-спектрометрической съёмки и анализа обширного картографического материала (геологические, почвенная, неотектоническая карты, данные спутниковой съёмки SRTM) оценено распределение этих радионуклидов в пределах рассматриваемой площади. Выявлены участки с повышенными содержаниями радионуклидов относительно региональных фоновых значений, характерных для территории Европейской части России. Эти участки рассматриваются в качестве потенциально опасных для окружающей среды и здоровья людей. Использование ГИС-технологий позволило определить возможные антропогенные и естественные причины такого распределения. Повышенные содержания радионуклида ^{40}K (до 2,3%) совпадают с местами расположения сельскохозяйственных угодий, ферм и, скорее всего, связаны с внесением в почвы минеральных удобрений. Максимальные содержания





радионуклида ^{238}U (до $2 \cdot 10^{-4}\%$) локализованы в местах пересечения неотектонического разлома и речных долин. Высокие концентрации радионуклида ^{232}Th (до $11,9 \cdot 10^{-4}\%$) сосредоточены в местах выявления линейных элементов, крупных трещин и неотектонического разлома, установленного авторами в результате построения цифровой модели рельефа, и, вероятно, обусловлены природными причинами (составом исходных пород — субстрата).

Ключевые слова: Новая Москва; геоэкологическое картографирование; геоэкологическая оценка; ГИС-технологии; аэрогамма-спектрометрия; радионуклиды; калий-40; уран-238; торий-232.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-88-94

DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS ON THE TERRITORY OF THE NEW MOSCOW

A.S. GUSEVA, S.A. USTINOV, V.A. PETROV

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS (IGEM RAS)
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: alexandra.guseva2011@yandex.ru, stevesa@mail.ru, vlad243@igem.ru*

The paper is devoted to the question of natural radionuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) distribution in the soils on the territory of New Moscow. Based on the processing of the results of aero-gamma-spectrometry and analysis of extensive cartographic material (geological, soil, neotectonic maps, satellite data SRTM), the distribution of these radionuclides within the area under consideration has been estimated. The areas with elevated values of radionuclides relative to regional background values characteristic for the territory of the European part of Russia have been identified. These areas are considered as potentially dangerous for the environment and human health. Using GIS-technology has allowed determining probable anthropogenic and natural causes of the obtained distribution. Elevated contents of radionuclide ^{40}K (up to 2,3%) coincide with the location of agricultural land and farms and, most likely, are associated with excessive mineral fertilization. The maximum contents of the radionuclide ^{238}U (up to $2 \cdot 10^{-4}\%$) are localized at the intersection of the neotectonic fault and river valleys. High concentrations of radionuclide ^{232}Th (up to $11,9 \cdot 10^{-4}\%$) are concentrated at the sites of development of large cracks and neotectonic fault, determined by authors as a result of relief digital model designing, and most likely, are due to natural causes (the composition of the initial rocks — substrate).

Keywords: New Moscow; geoecological mapping; geoecological assessment; GIS technology; aero-gamma-spectrometry; radionuclides; potassium-40; uranium-238; thorium-232.

В настоящее время изучение радиационной обстановки любого города является важной составляющей инженерно-геологических и экологических изысканий. Особенно актуальным становится изучение радиационной обстановки осваиваемых и застраиваемых районов. К таковым относится территория Новой Москвы, которая с 1 июля 2012 г. вошла в состав Москвы, — Троицкий и Новомосковский административные округа.

В рамках реализации проекта по расширению границ города правительство Москвы поставило несколько задач, основными из которых являлись: создание комфортной городской среды и разработка проектов застройки территории, строительство новых социальных объектов (школы, детские сады, больницы).

В связи с тем, что рассматриваемая территория ранее входила в состав Московской области и была слабо застроена, комплексной геоэкологической оценки для неё не проводилось. Ранее для территории Новой Москвы авторами была осуществлена геоэкологическая оценка и предложен прогноз распространения опасных геологических процессов [3].

В данной работе представлены результаты оценки общей радиоэкологической обстановки, а также сформулированы возможные причины установленного распределения концентраций радионуклидов в пределах рассматриваемой площади. В качестве фактического материала выступали карты распределения радионуклидов (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs) и мощности экспозиционной дозы, построенные по данным аэрогамма-спектрометрической (АГС) съёмки, проведённой НПП «Аэрогеофизика» [12].

С помощью АГС можно изучить усреднённые по площади содержания естественных радиоактивных элементов: урана, тория и калия в приповерхностном слое горных пород и почв. АГС ведётся по четырём энергетическим каналам: калий, уран, торий, интегральный канал. Полученные данные пересчитываются на содержание радиоактивных элементов [12].

Природный калий представляет собой смесь трёх изотопов: ^{39}K , ^{40}K и ^{41}K . Изотоп ^{40}K является радиоактивным, поэтому пересчитанные данные, отображённые на картах АГС, можно принять как концентрация ^{40}K без каких-либо поправок. В природе встречаются три радиоактивных изотопа



урана: ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U . Изотопная распространённость изотопа ^{238}U в природе составляет более 99%, поэтому содержанием остальных радионуклидов можно пренебречь и принять данные АГС по радиоактивному урану за содержание ^{238}U . Аналогичная ситуация с торием. Из известных более 30 изотопов тория ^{232}Th обладает наибольшим периодом полураспада и шире распространён в природе, поэтому за содержание радиоактивного тория на картах АГС принимается значение ^{232}Th [2].

Характеристика радиозэкологического состояния территории Новой Москвы

Под радиозэкологическим состоянием понимается функционирование природной или природно-антропогенной системы в условиях воздействия радиационного фактора на систему в целом и на её отдельные компоненты [8].

Под радиационным фоном понимают мощность экспозиционной дозы ионизирующих излучений в воздухе. Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите (МКЗР) и Всемирного общества здравоохранения (ВОЗ) радиационный уровень 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч), соответствующий естественному, принято считать нормальным, уровень 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) — допустимым, а уровень свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч), с учётом эффекта экранирования, — повышенным [1, 10].

В соответствии с имеющимися данными аэрогамма-спектрометрии значения мощности экспозиционной дозы на территории Новой Москвы составляют от 13 до 23,3 мкР/ч, что не превышает допустимых значений. Наименьшие значения описываемой величины характерны для западной части территории, а наибольшие — для юга, северо-востока, востока и центра территории. Максимальный уровень мощности экспозиционной дозы (до 23,3 мкР/ч) отмечается в районах следующих населённых пунктов: д. Рождественно, д. Бабенки, д. Голохвастово, д. Сальково, д. Городок, пос. Шахово, д. Клоково, д. Ширяево, пос. Ильичевка, д. Большое Покровское.

Радиационный фон любой территории складывается из природного фона и радиоактивного загрязнения, обусловленного антропогенным воздействием. Нередко повышенные значения радиационного фона связаны с естественной радиоактивностью горных пород, а также с геохимическими особенностями поведения самих радионуклидов. Поэтому при характеристике радиозэкологического состояния территории необходимо оценивать не только антропогенное воздействие, но и природную составляющую, сравнивать по-

лученные данные с региональным фоном, а не с кларками элементов [8].

Авторами проводилось выявление возможных причин распределения радионуклидов (^{238}U , ^{40}K , ^{232}Th , ^{137}Cs). Причём ^{238}U , ^{40}K и ^{232}Th имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Изотоп ^{137}Cs связан преимущественно с антропогенным воздействием. Причинами его нахождения в природных объектах являются аварии на АЭС и глобальные выпадения после испытаний ядерного оружия. Распределение содержания данного радионуклида зависит от многих факторов и авторами он не рассматривается.

Для территории Европейской части России характерны следующие средние значения содержания изучаемых радионуклидов в почвах: ^{232}Th $6,5 \times 10^{-4}\%$, ^{238}U $1,5 \times 10^{-4}\%$, ^{40}K 1,2% [11].

В пределах Новой Москвы отмечаются содержания ^{238}U от $0,3 \times 10^{-4}\%$ до $2 \times 10^{-4}\%$, ^{40}K — от 0,5% до 2,3%, ^{232}Th — от $1,4 \times 10^{-4}\%$ до $11,9 \times 10^{-4}\%$. Максимальные концентрации этих радионуклидов превышают их региональные фоновые значения [5].

Для выявления причин повышенных содержания ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K на изучаемой площади авторами создан ГИС-проект «Новая Москва», который включает в себя большое число векторных и растровых слоёв. Их сопоставление позволило сформулировать предположения о причинах наблюдаемого площадного и локального распределения данных радиоактивных элементов.

Антропогенные причины распределения радионуклидов на территории Новой Москвы

В пределах территории Новой Москвы расположены следующие экологически опасные антропогенные объекты: два полигона твёрдых коммунальных отходов (ТКО) («Малинки», «Саларьево»), полигон промышленных отходов «Летово», завод Мосрентген, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ). На радиационную обстановку города могут оказывать воздействие завод Мосрентген и Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ). Несмотря на наличие данных о радиационно опасных объектах, участки с максимальными значениями радионуклидов локализованы вне мест их расположения. Стоит отметить, что полигон «Летово» является местом захоронения не только промышленных, но и радиоактивных отходов из г. Троицка. Однако по картам АГС никаких превышений выявлено не было.

Кроме радиационных объектов, находящихся в пределах территории, необходимо учитывать объ-



екты, расположенные в непосредственной близости от границы Новой Москвы, которые могут вносить негативный вклад в радиационную обстановку города. К таким объектам относятся Обнинская АЭС и Подольский завод цветных металлов (ПЗЦМ). Предполагается, что вклад Обнинской АЭС в радиоэкологическую обстановку территории Новой Москвы минимальный. В настоящее время станция выведена из эксплуатации и за длительные годы её работы критических и аварийных ситуаций зафиксировано не было. ПЗЦМ — один из крупнейших заводов в России по производству алюминиевых и цинковых сплавов из лома и отходов цветных металлов. Он расположен в 1 км от городского поселения Львовский (Подольский район), в 7–8 км от восточной границы Новой Москвы. В 1989 г. на территории завода впервые было отмечено радиоактивное загрязнение, причиной которого послужило попадание источников ионизирующего излучения в плавильные печи [9, 13].

Для Московского региона, в том числе и для территории Новой Москвы, западное, юго-западное и южное направления ветра являются преобладающими [7]. Ветер обычно дует от ПЗЦМ в противоположную сторону, т. е. завод не оказывает негативного влияния на радиоэкологическое состояние территории.

Отмечено, что на востоке территории наблюдаются максимальные содержания радионуклидов ^{232}Th и ^{40}K и мощности экспозиционной дозы. Считаем, что Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, расположенный в центре рассматриваемой площади, оказывает неблагоприятное воздействие на восточную часть территории Новой Москвы. Преобладающий западный и юго-западный перенос способствует распространению загрязнения от института на восток и северо-восток площади. Также для этого участка Новой Москвы характерны более низкие высотные отметки по сравнению с западной ча-

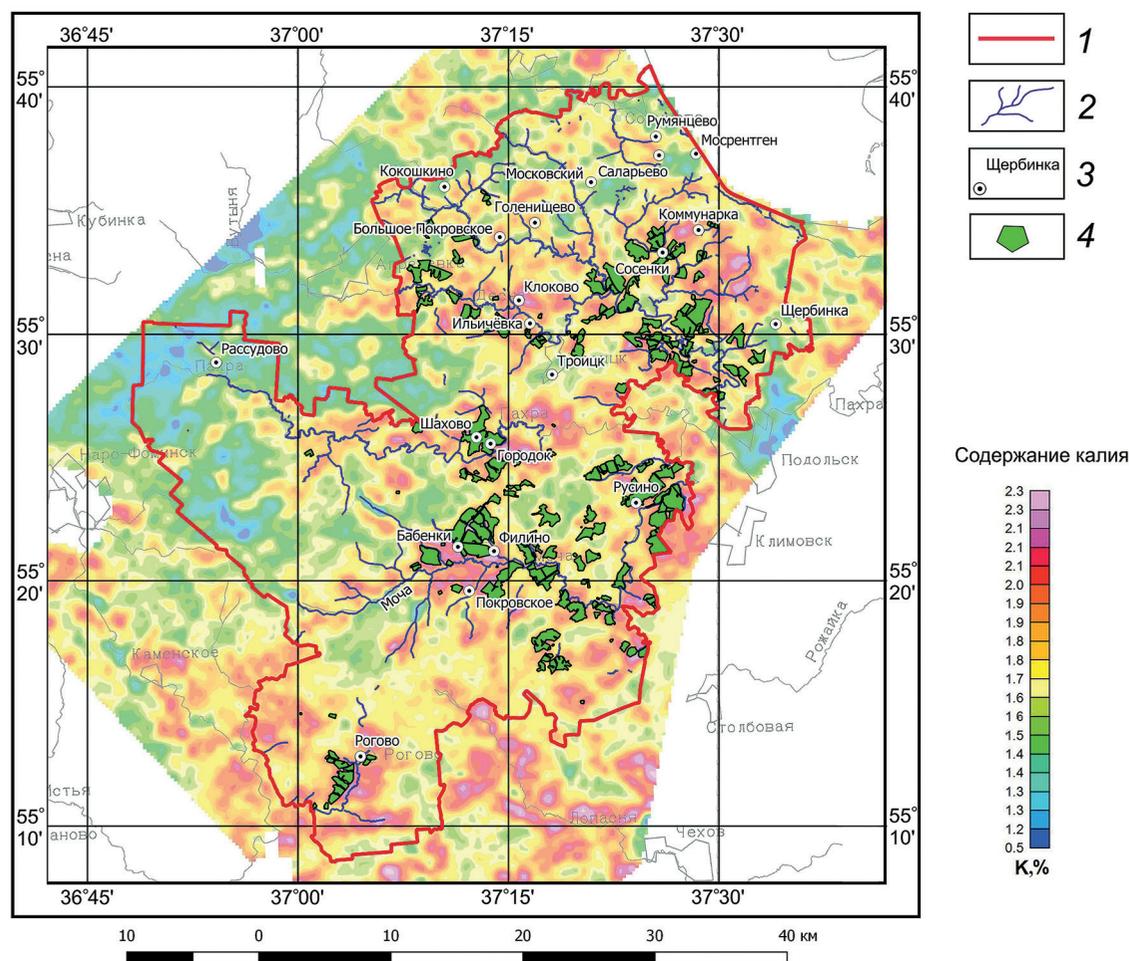


Рис. 1. Связь сельскохозяйственных угодий с распределением ^{40}K : 1 — граница Новой Москвы, 2 — реки, 3 — населённые пункты, 4 — сельскохозяйственные угодья



стью, что способствует аккумуляции загрязняющих веществ и радионуклидов.

Отмечено, что максимальные концентрации ^{40}K приурочены к местам размещения сельскохозяйственных угодий и ферм (рис. 1). Осуществление сельского хозяйства в пределах Новой Москвы способствует развитию водной эрозии почв. Поскольку сельскохозяйственные угодья и фермы расположены в пределах понижений рельефа, то все продукты размыва почв аккумулируются на них. Использование минеральных удобрений является причиной накопления радиоактивного калия (рис. 1).

Естественные причины распределения радионуклидов на территории Новой Москвы

Природными причинами повышенной радиоактивности территории могут быть геологические, тектонические, геохимические, геоморфологические и ландшафтные факторы.

Области максимальных значений рассматриваемых радионуклидов сопоставлялись с геологическими и почвенными картами, а также со схемой линейной сети территории Новой Москвы, построенной авторами на основе данных спутниковой съёмки SRTM [4].

Установлено, что тектонический фактор является главенствующим в распределении ^{238}U и ^{232}Th (рис. 2, 3). На севере территории выделяется региональный разлом, который разделяет три крупных неотектонических блока (Подольский, Рузский и Северный). Вдоль этого разлома, а также в долинах рек Незнайка и Десна наблюдаются повышенные значения урана по сравнению с остальной территорией Новой Москвы. Аналогичная ситуация характерна для неотектонического разлома, проходящего через центр территории, который был выявлен авторами в результате проведения линейного анализа [4, 6]. Восточнее него в долинах рек Ликовка, Десна, Пахра, Моча и южнее истока

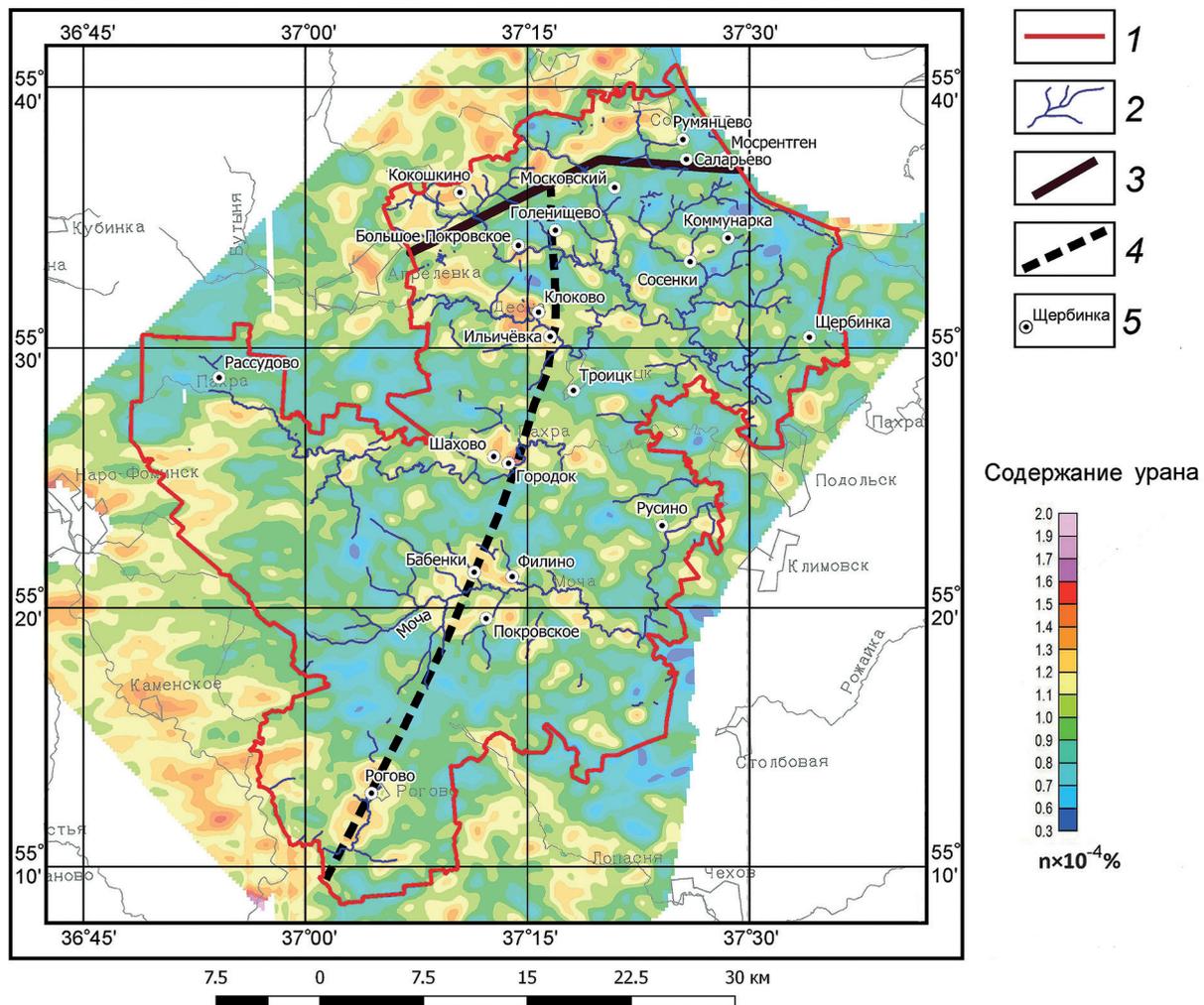


Рис. 2. Связь тектонических структур с распределением ^{238}U : 1 – граница Новой Москвы; 2 – реки; 3 – региональный разлом; 4 – выявленный неотектонический разлом; 5 – населённые пункты

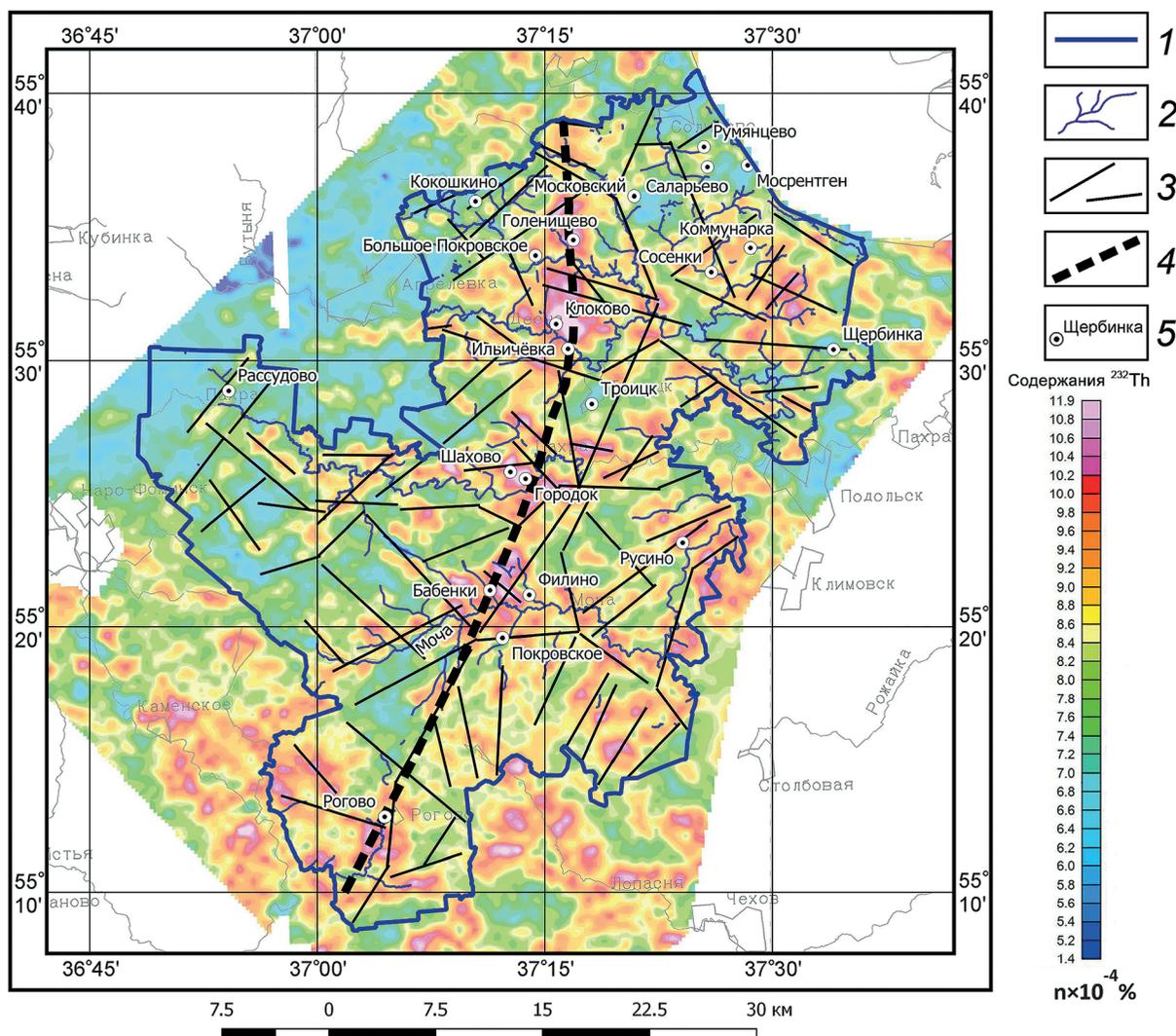


Рис. 3. Связь неотектонических структур с распределением ^{232}Th : 1 – граница Новой Москвы, 2 – реки, 3 – выявленные линеаменты, 4 – выявленный неотектонический разлом, 5 – населённые пункты

р. Черничка отмечаются максимальные значения ^{238}U . Большинство рек исследуемой территории (Незнайка, Десна, Ликовка, Моча, Пахра) текут с запада на восток, за исключением р. Чернички, которая течёт с севера на юг. Места пересечения неотектонического разлома и речных долин представляют собой ослабленные участки в тектоническом плане, где может легко происходить вынос радионуклидов, которые, учитывая их повышенную миграционную способность, выносятся реками и аккумулируются в речных долинах.

В большинстве случаев повышенные значения ^{232}Th в пределах территории Новой Москвы также соотносятся с выявленными линейными структурами и линеаментами, а также с крупным неотектоническим разломом север-северо-восточного направления (рис. 3) [4, 6]. Предполагается, что максимальные содержания

тория на исследуемой территории и места их локализации определяются повышенной проницаемостью пород в зонах динамического влияния разлома и крупных трещин.

Заключение

Следует отметить относительно благоприятную радиоэкологическую ситуацию на территории Новой Москвы. Значения мощности экспозиционной дозы находятся в пределах нормы. Выявлены участки максимальных содержаний радионуклидов (^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K), которые превышают региональные фоновые значения.

Предполагается, что наличие участков с максимальным содержанием радиоактивного калия носит антропогенный характер, а тория и урана – природный. Повышенные значения ^{40}K связаны с внесением минеральных удобрений на сельскохо-



зайственных полях и угодьях, а повышенные значения изотопов ^{238}U и ^{232}Th имеют тектоническую природу. Вероятно, это вызвано с их эманацией по линейным неотектоническим структурам, а также по крупному неотектоническому разлому север—

северо-восточного простирания, проходящему через центр территории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (01/2019-И).

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. 268 с.
2. Бетенев Н.Д. Радиоэкологический мониторинг: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2014. 208 с.
3. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А., Игнатов П.А. Геоэкологическая оценка опасных геологических процессов в пределах территории Новой Москвы с использованием ГИС-технологий // Геоинформатика. 2017. № 2. С. 21–29.
4. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Пространственные закономерности локализации радионуклидов на территории Новой Москвы и их связь с неотектоническими структурами // Вопросы естествознания. 2018. № 3 (17). С. 40–46.
5. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Оценка геоэкологического состояния территории Новой Москвы на основе анализа распределения радиоактивных элементов по данным аэрогамма-спектрометрической съемки // Новое в познании процессов рудообразования: Седьмая Российская молодежная научно-практическая Школа, Москва, 13–17 ноября 2017 г. Сборник материалов – Электрон. дан. (1 файл: 37 Мб). М.: ИГЕМ РАН, 2017. С. 95–99
6. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Выявление неотектонических структур Новой Москвы в контексте геоэкологических исследований // Строение литосферы и геодина-
- мика: Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 8–14 апреля 2019 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2019. С. 55–56
7. Дмитриев А., Бессонов Н. Климат Москвы. Особенности климата большого города. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 315 с.
8. Маркелов Д.А. Радиоэкологическое состояние территорий (оценка, диагностика, прогнозирование): монография. М.: Энергия, 2008. 146 с.
9. О состоянии окружающей среды Московской области в 2012 году. Государственный доклад / Под ред. Н.В. Гаранкина, Н.Г. Рыбальского и В.В. Снакина. М.: НИИ-Природа, 2003. 314 с.
10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году. Ежегодник / Составитель М.Н. Каткова. Обнинск, 2016. 348 с.
11. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ, 2000. 336 с.
12. Научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» [Электронный ресурс]. 2006–2019. URL: <http://aerogeo.ru/> (дата обращения: 01.08.2019)
13. Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс]. 2008–2019. URL: <http://www.atomic-energy.ru/> (дата обращения: 15.08.2018)

REFERENCES

1. Aleksandrov Ju.A. *Basics of radiation ecology*. Joshkar-Ola, Mar. gos. un-t Publ., 2007, 268 p. (In Russian)
2. Betenekov N.D. *Radioecological monitoring*. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2014, 208 p. (In Russian)
3. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A., Ignatov P.A. Geoecological assessment of hazardous geological processes within the territory of New Moscow using GIS technologies. *Geoinformatika*, 2017, no 2, pp. 21–29 (In Russian)
4. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Spatial regularities of localization of radionuclides in the territory of New Moscow and their relationship with neotectonic structures. *Questions of natural science*, no. 3 (17), pp. 40–46 (In Russian)
5. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Assessment of the geoecological state of the territory of New Moscow based on the analysis of the distribution of radioactive elements according to aerogamma-spectrometric data. *New in the knowledge of ore formation processes* [Seventh Russian Youth Scientific and Practical School, Moscow, November 13–17, 2017], Moscow, 2017, pp. 95–99 (In Russian)
6. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Identification of neotectonic structures of New Moscow in the context of geo-
- ecological studies. *Lithosphere structure and geodynamics* [Materials of the XXVIII All-Russian Youth Conference (Irkutsk, April 8–14, 2019)]. Irkutsk, 2019, pp. 55–56 (In Russian)
7. Dmitriev A., Bessonov N. *Moscow Climate. Features of the climate of the big city*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. 315 p. (In Russian)
8. Markelov D.A. *Radioecological status of territories (assessment, diagnostics, forecasting): monograph*. M., Jenergija, 2008, 146 p. (In Russian)
9. *On the state of the environment of the Moscow region in 2012. State report*. Ed. N.V. Garan'kina, N.G. Rybal'skogo, V.V. Snakina. M., NIA-Priroda, 2003. 314 p.
10. *The radiation situation in Russia and neighboring countries in 2015. Yearbook*. Ed. M.N. Katkova. Obninsk, 2016, 348 p.
11. Titaeva N.A. *Nuclear geochemistry*. M., MGU Publ., 2000, 336 p. (In Russian)
12. *Research and Production Enterprise «Airborne Geophysics», 2006–2019*. Available from: [www: aerogeo.ru/](http://www.aerogeo.ru/) (last accessed 01.08.2019)
13. *Atomic energy 2.0, 2008–2019*. Available from: [www: atomic-energy.ru/](http://www.atomic-energy.ru/) (last accessed 15.08.2019)