

4. Ryzhov Yu.V. Ocenka ovrazhnoj ehrozii yuga Vostochnoj Sibiri [Evaluation of gully erosion south of Eastern Siberia] Izvestiya RGO. 2003. № 1. Pp. 70–77.
 5. Trzhcinskij Yu.B., Budz M.D., Zarubin N.E. Opolzni, seli, termokarst v Vostochnoj Sibiri i ih inzhenerno-geologicheskoe znachenie [Landslides, mudslides, thermokarst in East Siberia and their engineering-geological significance]. Moskva: Nauka, 1969. 136 p.
 6. Shvarev S.V. Razvitie merzlotnyh i karstovyh processov na trasse Ust'-Kut – Kirensk – Nepa [Development of cryogenic and karst processes on the route Ust-Kut – Kirensk-Nepa] Transportnoe stroitel'stvo. 1993. № 4. Pp. 7–10.
-

УДК 504.064.2+910.27+528.855

Л.Н. Трофимец¹, Е.А. Паниди²

МЕТОДЫ ГЕОМОРФОМЕТРИИ, ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА ⁴⁰К В ПОЧВЕ РАСПАХИВАЕМЫХ СКЛОНОВ, ОСЛОЖНЕННЫХ ЛОЖБИННОЙ СЕТЬЮ

Резюме. Радиоизотоп ⁴⁰К на распахиваемых склонах вовлекается в эрозионный процесс. Применение космических снимков сверхвысокого разрешения, ГИС, методов геоморфометрии и традиционных агрохимических исследований позволили выявить приуроченность участков повышенной радиоактивности почвы по ⁴⁰К к вогнутым частям склонов, пониженной – к выпуклым. Повышенное содержание в почве радиоизотопа может быть связано как с повышенным содержанием гумуса, так и с повышенным содержанием глинистой фракции. Показана перспективность использования всех перечисленных методов при изучении латерального распределения изотопа ⁴⁰К в почвах агроценозов.

Ключевые слова: радиоизотоп ⁴⁰К, геоморфометрия, профильная кривизна, космические снимки, агрохимические анализы.

Введение. Естественные радионуклиды, имеющие природное происхождение, присущи в тех или иных количествах всем природным объектам нашей планеты. Поступление естественных радионуклидов антропогенного происхождения в агроэкосистемы связано с применением минеральных удобрений и мелиорантов. На долю ⁴⁰К, источником которого являются калийные удобрения, приходится около 0,012% от всего количества калия в почвах [Рихванов, 1997]. За период с 1990 года по настоящее время внесение минеральных удобрений на поля России и, в частности, на поля Орловской области, сократилось с 181 кг/га в год в 1990 г. до менее чем 70 кг/га в год в последние годы (при норме не менее 100 кг/га в год). Очевидно, что увеличение объемов внесения минеральных удобрений в ближайшей перспективе в стране является неизбежным, а разработка методов оценки потребности в мелиоративных мероприятиях и контроля их результатов является важнейшей задачей в составе обеспечения устойчивого развития агроценозов.

В связи с этим, основной целью настоящей работы явилось выяснение влияния рельефа на распределение радионуклида естественного происхождения ⁴⁰К. Для достижения цели в ходе исследования были поставлены и решены три основные задачи. Первая – обобщить имеющийся авторский экспериментальный полевой материал по естественному радионуклиду ⁴⁰К. Вторая – выяснить особенности распределения ⁴⁰К в почве пахотного склона, осложненного древними ложбинами стока. Третья – выяснить возможности методов дистанционного зонди-

¹ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, факультет естественных наук, кафедра географии, г. Орел, 302026, Россия, канд. геогр. н.; e-mail: trofimec_l_n@mail.ru.

² Санкт-Петербургский государственный университет, институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, Санкт-Петербург, 199178, Россия, канд. тех. н.; e-mail: panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru.

рования, ГИС и геоморфометрии при изучении влияния рельефа на латеральное распределение радионуклида ^{40}K . Поскольку ^{40}K в почву поступает в том числе и с калийными удобрениями, то выявление особенностей накопления радионуклида в элементах рельефа позволит прогнозировать накопление радионуклида как в почве, так и в растительной продукции в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства в современной России. В данном исследовании рассматривается экспериментальный полигон, расположенный в бассейне верхней Оки (бассейн реки Сухая Орлица, Орловский район Орловской области РФ).

Постановка проблемы. Вопросы изучения и мониторинга трансформации загрязнителей в почвенном веществе на распахиваемых склонах становятся особенно актуальными в условиях изменения климата. Известно, что структура современной эрозионной сети формировалась тысячами [Алифанов и др., 2010; Трофимец и др., 2014, 2015]. Карты масштаба 1:10000, используемые при решении задач землепользования, отражают эрозионную сеть позднеледникового возраста. Вместе с тем, в период талого и ливневого стока эрозионную работу (и перемещение почвенного материала) осуществляют микроложбины, которые неразличимы на картах указанного масштаба. Микроложбины, наряду с современными ручьями, действующими в период высокого стока, и не всегда совпадающими с тальвегами древних ложбин, преобразуют склоновую поверхность и перераспределяют загрязняющие вещества, поступающие на ее поверхность.

Материалы и методы. Авторы настоящего исследования ранее адаптировали радиоцезиевый метод к изучению эрозионных процессов на распахиваемых склонах [Трофимец и др., 2014; Panidi et al., 2015]. В настоящей работе ключевым предметом исследования является естественный радионуклид ^{40}K . В случае получения положительного заключения об эффективности применения методов дистанционного зондирования, геоморфометрии и ГИС-средств при решении поставленных в исследовании задач, будет положено начало разработке количественных методов расчета запаса естественных радионуклидов в почвах агроценозов. Последнее является актуальным для современной России в условиях интенсификации мелиоративного преобразования склоновых поверхностей, осложненных ложбинным рельефом.

Пробы почвы отбирались из слоя 0–20 см (пахотный горизонт, принятый в качестве расчетного при мониторинге радиоактивного загрязнения почв на сети Центров химизации и сельскохозяйственной радиологии России). Точки отбора проб фиксировались с помощью GNSS-приемников (GPS-приемников). В качестве вспомогательных использовались материалы топографической съемки. Пробы подвергались радиологическому и, частично, агрохимическому анализу. Точки отбора совмещались с топографической картой и космическими снимками сверхвысокого разрешения (в данном случае использованы снимки, открыто опубликованные в Google Earth), которые использовались в качестве картографической основы. Методами геоморфометрии [Шарый, 2016] рассчитывались некоторые морфометрические показатели рельефа. В частности, профильная кривизна рассчитывалась общеизвестным способом [Evans, 1972; Krcho, 1973]. Морфометрические показатели сопоставлялись со значениями активности ^{40}K в точках отбора почвенных проб.

Результаты. На рис. 1 приведен фрагмент космического снимка, на котором распознаются древние ложбины стока и положение ручьев, действующих в период талого и дождевого стока. Активность ^{40}K на участке распахиваемого склона (рис. 1) изменяется в большом диапазоне: от 10 до 1100 Бк/кг. Результаты исследования причин такой вариабельности активности радионуклида представлены в данной работе.

Повышенная активность ^{40}K в тальвегах микроложбин, пересекаемых трансектами 9121 и 9122 (соответственно, 866 и 639 Бк/кг) в средней и нижней части склона приурочена к зонам аккумуляции (вогнутый склон), пониженная, в верхней части склона, в пределах трансекты 9123, – к зоне сноса (выпуклый склон). Вогнутая и выпуклая части склона диагностировались по знаку профильной кривизны. Положительные ее значения указывают на выпуклый участок склона, отрицательные – на вогнутый. Обращает на себя внимание

трансекта 9124 в приводораздельной части склона, где пониженная радиоактивность почвы приурочена к выпуклой части склона (активность ^{40}K изменяется преимущественно от 100 до 600 Бк/кг), повышенная – к вогнутой части (радиоактивность почвы в пределах трансекты – 600–1100 Бк/кг). Вариабельность радиоактивности почвы вдоль трансекты 9124 объясняется «попаданием» точек пробоотбора в тальвег (где радиоактивность почвы повышена) или в межложбинное попространство (водораздел или склон), здесь радиоактивность почвы снижена.

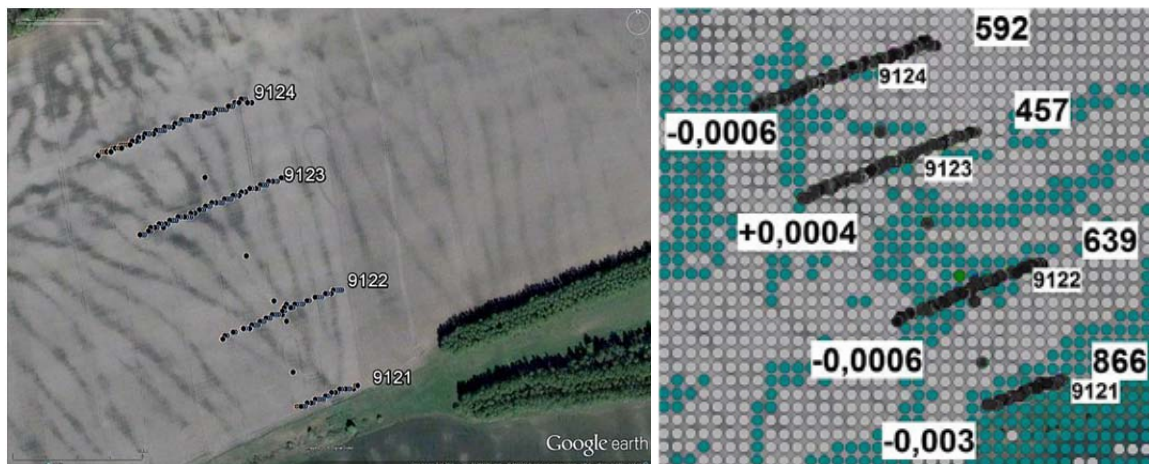


Рис. 1. Слева, на космическом снимке (© DigitalGlobe, Google) отчетливо видны микроложбины (темные полосы – тальвеги, чёрные точки – точки отбора проб). Справа, распределение значений профильной кривизны (значения изменяются от -0,003 на трансекте 9121, до -0,0006 на трансектах 9122 и 9124; к зоне положительной профильной кривизны (на рисунке – фон серого цвета) +0,0004 приурочена трансекта 9123; 457–866 Бк/кг – радиоактивность почвы в тальвеге основной ложбины)

Активность ^{40}K в почве тальвега трансекты 9121 достигает 1010 Бк/кг. Вероятно, в вогнутой части склона аккумулируется почва, смытая с верхних участков с повышенным содержанием изотопа. При этом ручьями, размывающими аккумулятивное тело, илстые частицы органики выносятся за пределы поля, о чем свидетельствует пониженное до 3,94% содержание гумуса в пахотном слое тальвеговой зоны (рис. 2). В тальвеге же концентрируются обогащенные ^{40}K глинистые частицы из подпахотного горизонта. Они формируют повышенную радиоактивность почвы по ^{40}K .

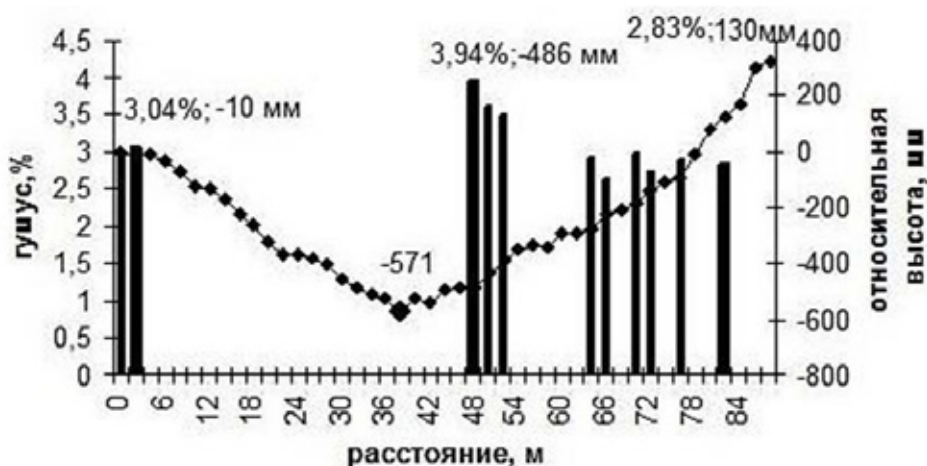


Рис. 2. Трансекта 9121, распределение гумуса вдоль трансекты. Содержание гумуса в почве в притальвеговой аккумулятивной зоне повышено (3,94%) в сравнении с содержанием гумуса в почве на склоне микроложбины (2,83–3,04%). Все точки в притальвеговой зоне показывают повышенные значения активности ^{40}K (600–1100 Бк/кг). Трансекта расположена в зоне отрицательной профильной кривизны (зоне аккумуляции)

По данным ряда исследований известно, что глинистые почвы, равно как и гумусированные, обогащены ^{40}K . Также можно объяснить повышенную радиоактивность почвы по ^{40}K доставкой с ручьями почвы, содержащей калийные удобрения. В зонах вогнутых частей склона, особенно у их подножья, при анализе распределения радиоактивности почвы по ^{40}K должна даваться оценка содержания гумуса в почве, дополненная анализом гранулометрического состава. Наши исследования показали, что в почве тальвегов песчаная фракция достигает 87–91%. В почве конусов выноса увеличивается доля глинистых частиц (до 11–17%). Это свидетельствует о том, что здесь создаются условия для формирования повышенной радиоактивности почвы по ^{40}K за счет глинистой фракции. Использование космических снимков сверхвысокого разрешения или материалов аэрофотосъемки, полученных в весенний период, когда на них хорошо дешифрируется положение ручьев действующих в период талого и дождевого стока, помогает распознавать тальвеги этих ручьев. Данные о содержании гумуса позволяют выявлять «носителя» повышенной радиоактивности почвы по ^{40}K .

Подтверждением сказанному служит приведенная на рис. 3. диаграмма распределения гумуса вдоль трансекты 9123, расположенной в приводораздельной части склона и отличающейся пониженными значениями радиоактивности почвы по ^{40}K . Трансекта расположена в зоне положительной профильной кривизны (в зоне смыва). На диаграмме видно, что содержание гумуса различается повышенными значениями в притальвеговой и тальвеговой зонах ложбины (к этим зонам приурочена повышенная до 500–700 Бк/кг радиоактивность почвы). При этом, содержание гумуса выше чем в тальвеговой зоне трансекты 9121 (4,76% в тальвеге трансекты 9123, против 3,94% в тальвеге трансекты 9121). В этом случае повышенная активность ^{40}K может быть объяснена ролью гумуса. Известно, что гумусированные почвы, как и глинистые, отличаются повышенным содержанием ^{40}K (гумус и глина – это тонкие фракции, с которыми связывают радиоактивность почвы по ^{40}K). В рассматриваемой части склона энергии потока еще недостаточно для интенсивной эрозионной работы ручьев. Возможно, поэтому содержание гумуса здесь повышено.

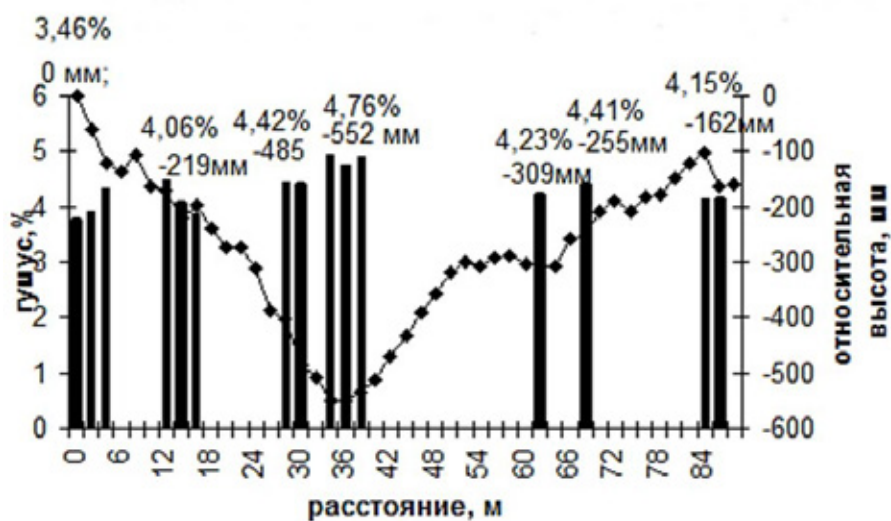


Рис. 3. Содержание гумуса в почве вдоль трансекты 9123 (в верхней части склона, в зоне положительной профильной кривизны – зоне смыва). Содержание гумуса от 4,09 до 4,76%. Активность ^{40}K низкая вдоль всей трансекты, на протяжении 100 метров (активность изменяется от 100 до 500 Бк/кг, при максимуме в тальвеговой зоне: 500–700 Бк/кг)

Таким образом, можно утверждать, что карты профильной кривизны позволяет количественно оценивать радиоактивность почвы по ^{40}K . Однако, ввиду того, что и глинистые почвы, и почвы, обогащенные гумусом, отличаются повышенной радиоактивностью по ^{40}K , выяснить истинную причину вариабельности радиоактивности почвы по ^{40}K можно, лишь дополнив анализ данными агрохимических измерений.

Приведенная на Рис. 4 карта профильной кривизны позволяет в первом приближении указать места повышенной радиоактивности почвы по ^{40}K . Ее анализ позволяет утверждать,

что в пределах экспериментального участка 35% территории будут отличаться повышенными значениями радиоактивности почвы по ^{40}K . 65% территории может быть отнесено к распространению почв, характеризующихся пониженными значениями радиоактивности по ^{40}K .

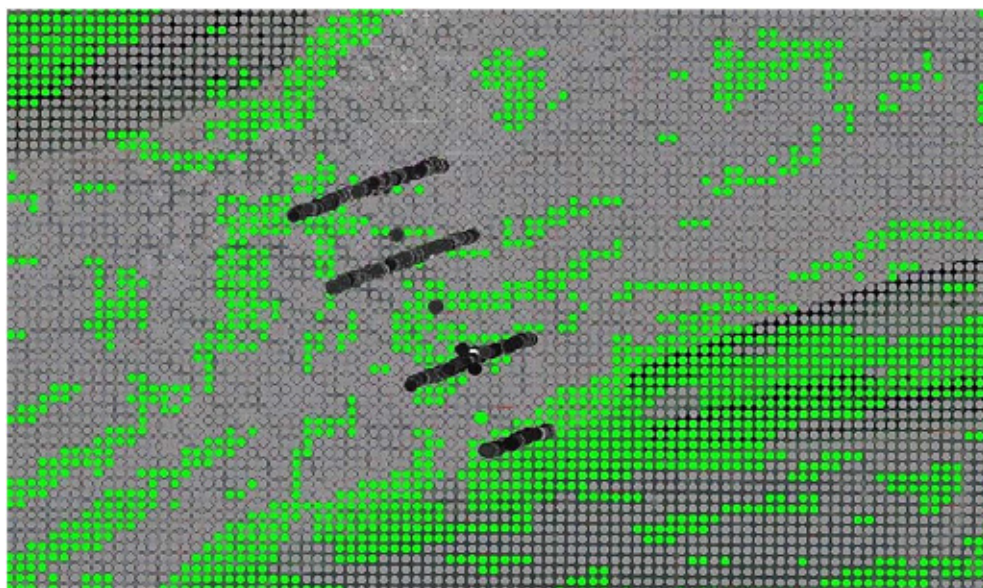


Рис. 4. Распределение отрицательных и положительных значений профильной кривизны на исследуемой территории. Площадь вогнутых участков, соответствующих зонам аккумуляции, составляет 35% (поле зелёных точек). 65% распахиваемых почв являются в разной степени эродированными (смытыми), они идентифицируются на карте полем серых точек

Выводы. В результате проведенного исследования выявлено, что карта профильной кривизны может в первом приближении позволить оценить участки распахиваемого склона, отличающиеся по активности ^{40}K . В зоне отрицательной профильной кривизны (соответствующей зоне аккумуляции) радиоактивность почвы по ^{40}K будет повышена. Космические снимки сверхвысокого разрешения на втором этапе оценочных работ позволяют выявлять участки распространения эрозионных форм. Привлечение более детальных данных (аэрофотосъемки либо данных полевого обследования) позволяет выявить современные ручьи, не совпадающие с тальвегами древних ложбин. Это делает возможным уточнение картины латерального распределения ^{40}K . Агрохимический анализ (содержание гумуса) и гранулометрический анализ позволят установить носителя активности ^{40}K в каждой конкретной ситуации (соответственно, гумус или глинистую фракцию). Разработка метода расчета радиоактивности почвы по ^{40}K по морфометрическим показателям рельефа позволит прогнозировать изменение ситуации на распахиваемых склонах в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и увеличения объемов, вносимых минеральных и органических удобрений, являющихся дополнительными поставщиками радиоизотопа ^{40}K в почвы агроценозов.

Таким образом, изучение радиоактивности почвы по ^{40}K позволяет изучать и оценивать мелиоративное преобразование склоновых поверхностей в результате эрозионных процессов и в результате наложенного влияния мероприятий по улучшению плодородия почв. Метод эффективен при условии его применения в комплексе с топографическими и дистанционными съемками, методами геоморфометрии и традиционными агрохимическими исследованиями.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-05-07463 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС, 2010. 160 с.

2. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. Томск: ТПУ, 1997. 384 с.
3. Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Иванеха Т.Л. Роль современной ручейковой сети в трансформации рельефа распахиваемых склонов // Ученые записки Орловского государственного университета № 4(67). Орел: издательство ФГБОУ «Орловский государственный университет», 2015. С. 447–453.
4. Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Чаадаева Н.Н. Индикационные методы при изучении современной эрозионной сети на распахиваемых склонах, осложненных ложбинным рельефом // Ученые записки Орловского государственного университета № 6(62). Орел: издательство ФГБОУ «Орловский государственный университет», 2014. С. 94–101.
5. Шарый П.А. Геоморфометрический анализ пространственной изменчивости почв и экосистем. Докт. дис. на соискание уч. степени докт. биол. наук: Ростов-на-Дону, 2016. 319 с.
6. Evans L.S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley R.J. (ed.), Spatial Analysis in Geomorphology, London, Methuen & Co. Ltd., Chap. 2. 1972. Pp. 17–90.
7. Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. Acta Geographica Universitatis Comenianae, Geographico-Physica, No. 1. 1973. Pp. 7–233.
8. Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 34, 2016, 012024. doi:10.1088/1755-1315/34/1/012024.

L.N. Trofimetz¹, E.A. Panidi²

METHODS OF THE GEOMORPHOMETRY, REMOTE SENSING AND GIS IN STUDY OF THE ⁴⁰K RADIONUCLIDE DISTRIBUTION IN SOIL OF ARABLE SLOPES, COMPLICATED WITH EROSION NETWORK

Abstract. The ⁴⁰K radioisotope is involved into the erosion processes on the arable slopes. Application of the very high resolution satellite images, GISs, geomorphometry methods and traditional agrochemical research techniques helped to identify the location of areas on the concave parts of the slopes, where ⁴⁰K radioactivity in the soil is increased; and location of areas on the convex parts, where ⁴⁰K radioactivity is low. High content of humus or high content of clay fractions in the soil can cause increase of the radioisotope content. The application prospects are shown for all abovementioned methods in study of the ⁴⁰K isotope lateral distribution in the soils of agrocenoses.

Key words: ⁴⁰K Radioisotope, Geomorphometry, Profile Curvature, Satellite Images, Agrochemical Analyses.

Acknowledgement. The study was partially supported by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), research projects No. 15-05-07463 A.

REFERENCES

1. Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A. Yu. Paleokriogenez i raznoobrazie pochv tsentra Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Paleocryogenesis and soils variety of the center of East European Plain], Moscow, GEOS, 2010, 160 p. (in Russian).
2. Rikhvanov L.P. Obshchie i regional'nye problemy radioekologii. [General and regional problems of radioecology], Tomsk: TPU, 1997. 384 p. (in Russian)

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev, Faculty of Natural Sciences, Department of Geography, Orel, 302026, Russia, PhD; e-mail: trofimetc_l_n@mail.ru.

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, St. Petersburg, 199178, Russia, PhD; e-mail: panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru.

3. Trofimetz L.N., Panidi E.A., Ivaneha T.L. Rol' sovremennoi rucheikovoi seti v transformatsii rel'efa raspakhivaemykh sklonov [The role of the network of modern streams in relief transformation on arable slopes]. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta, No. 4(67), Orel, Izdatel'stvo FGBOU Orlovskii gosudarstvennyi universitet, 2015. Pp. 447–453. (in Russian).

4. Trofimetz L.N., Panidi E.A., Chaadaeva N.N. Indikatsionnye metody pri izuchenii sovremennoi erozionnoi seti na raspakhivaemykh sklonakh, oslozhnennykh lozhbinnym rel'efom [Indicator methods in the study of contemporary erosion network on the plowing up slopes, complicated with the hollow relief]. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta, No. 6(62), Orel, Izdatel'stvo FGBOU Orlovskii gosudarstvennyi universitet, 2014. Pp. 94–101. (in Russian)

5. Sharyi P.A. Geomorfometricheskii analiz prostranstvennoi izmenchivosti pochv i ekosistem [Geomorphometric analysis of spatial differentiation of the soils and ecosystems]. Doctoral dissertation, Rostov-na-Donu, 2016, 319 p. (in Russian).

6. Evans L.S. General geomorfometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley R.J. (ed.), Spatial Analysis in Geomorfology, London, Methuen & Co. Ltd., Chap. 2. 1972. Pp. 17–90.

7. Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. Acta Geographica Universitatis Comenianae, Geographico-Physica, No. 1. 1973. Pp. 7–233.

8. Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 34, 2016, 012024. doi:10.1088/1755-1315/34/1/012024.

УДК 551.2

M. Lacroix¹

THE INTEREST OF GEOGRAPHICAL INFORMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND VIRTUAL REALITY FOR THE UNDERGROUND NETWORK REPRESENTATION

Abstract. *Two years ago, 63 people died and more than 150 were seriously injured in Beijing (China) because of damage to a hydrocarbon pipeline. Urban networks are invisible because usually buried between 1 and 1,5 meters underground. They should be identified to prevent such accidents which involve workers as well as the public. Rural and urban districts, network concessionaries and contractors: everyone could benefit from their networks becoming safer.*

To prevent such accidents and protect workers and the public as well, some new regulations propose to identify and secure the buried networks. That's why it is important to develop a software which deals with the risk management process and also about the risk visualization.

This work is structured around three major sections:

- the utility of the Geographical Information to determine the minimal distances and the topological relations between the networks themselves, and also with the other element in their vicinity;*
- the use of some Artificial Intelligence tools, and more particularly of Expert System, to take the current regulation into account and determine the accident risk probability;*
- the contribution of virtual reality to perceive the underground world.*

Key words: *Geographical Information, Risk cartography, Underground networks, Artificial Intelligence, Virtual Reality visualization.*

Introduction. After centuries of urban spreading the architects began to build vertically. But densification leads to multiplying the uses of the underground: subway, street lighting, sewers, water conveyances, telecommunication cables,... That's why the third dimension doesn't only apply to the

¹ METIS Department, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France. 1Spatial, Arcueil, France; e-mail: lacroixmarie@gmx.fr.