



Biogeosystem Technique

Journal is being issued since 2014.
ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316
2017. 4(1). Issued 2 times a year

EDITORIAL BOARD

Kalinitchenko Valery – Institute of Soil Fertility of South Russia, Persianovsky, Russian Federation (Editor-in-Chief)

Ghazaryan Karen – Yerevan State University, Yerevan, Armenia (Deputy Editor in Chief)

Blagodatskaya Evgeniya – Institute of Physical Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

Elizbarashvili Elizbar – Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia

Glazko Valery – Moscow agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russian Federation

Lisetsky Fedor – Belgorod State University, Russian Federation

Minkina Tatiana – Southern Federal University, Russian Federation

Okolelova Alla – Volgograd State Technical University, Russian Federation

Shein Evgeny – Moscow State University named M.V. Lomonosov, Russian Federation

Surai Peter – Feed-Food.ltd, Scotland, UK

Journal is indexed by: **Cross Ref** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **MIAR** (Spain), **Open Academic Journals Index** (Russia), **CiteFactor – Directory of International Research Journals** (Canada).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1367/4, Stara Vajnorska str.,
Bratislava, Slovakia, Nove Mesto, 831 04

Release date 25.06.2017.
Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal19.com/en/index.html>
E-mail: evr2010@rambler.ru

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing
House Researcher s.r.o.

Order № B-11.

Biogeosystem Technique

2017

Is. 1



Издается с 2014 г.
ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316
2017. 4(1). Выходит 2 раза в год

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Валерий Калинин – Институт плодородия почв юга России, Персиановский, Персиановский, Российская Федерация (Главный редактор)

Гхазарян Карен – Ереванский государственный университет, Ереван, Армения (Заместитель главного редактора)

Благодатская Евгения – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Российская Федерация

Глазко Валерий – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация

Лисецкий Федор – Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

Минкина Татьяна – Южный федеральный университет, Российская Федерация

Околелова Алла – Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация

Сурай Петр – компания Фит-фуд лтд., Скотланд, Соединенное Королевство

Шеин Евгений – МГУ имени Ломоносова, Российская Федерация

Элибарашвили Элибар – Телавский государственный университет, Телави, Грузия

Журнал индексируется в: **Cross Ref** (США), **Научная электронная библиотека** (Россия), **MIAR** (Испания), **Open Academic Journals Index** (Россия), **CiteFactor** – **Directory of International Research Journals** (Канада).

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 831 04, Словакия, г. Братислава, Нове Место, ул. Стара Вайнорска, 1367/4

Дата выпуска 25.06.2017.
Формат 21 × 29,7/4.

Сайт журнала: <http://ejournal19.com/>
E-mail: evr2010@rambler.ru

Гарнитура Georgia.

Учредитель и издатель: Academic Publishing House Researcher s.r.o.

Заказ № В-11.

CONTENTS

Articles and Statements

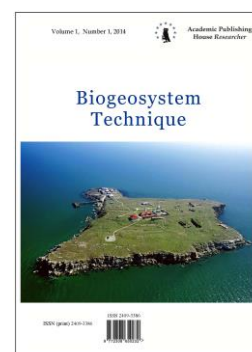
Against the Idea of an Anthropocene Epoch: Ethical, Political and Scientific Concerns C.J. Cuomo	4
Spectra of ISSR-PCR Markers in Assessments of the Intrinsic Genetic Differentiation of the Karachai Horse T.V. Golik, I.I. Gaponova, E.A. Knyaseva, T.A. Erkenov, T.T. Glazko	9
Mechanism of Migration Processes of Heavy Metals (Zn, Cu, Pb, Cd) in Agroecosystems by the Example of Cabbage and Fodder Beet (Root Crops) T.V. Perevolotskaya, V.S. Anisimov, L.N. Anisimova	25
Method of Intra-Soil Pulse Continuous-Discrete Moistening (Model Experiment) A.E. Rykhlik, O.S. Bezuglova	39
Salt Neof ormations in Soils of Central Mongolia E.V. Shein, G.V. Kharitonova, B. Amgalan, G. Sambuu, V.O. Krutikova, E.V. Kharitonov	66
Trends in the Accumulation of Benzo(A)Pyrene by Natural Grassy Vegetation in the Novocherkassk Power Station Impact Zone S.N. Sushkova, I.G. Deryabkina, E.M. Antonenko, S.S. Mandzhieva, I.V. Zamulina, A.V. Shapovalov, H.S. Movsesyan, K.A. Ghazaryan, A.V. Gimp, G.K. Vasilyeva	82
Influence of the Forest Ecosystems Disturbance on their Spectral Reflectance Properties Dynamics E.A. Terekhin	95

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 4-8

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.4
www.ejournal19.com



Articles and Statements

UDC 53

Against the Idea of an Anthropocene Epoch: Ethical, Political and Scientific Concerns

Christine J. Cuomo ^{a,*}^a Department of Philosophy, University of Georgia, USA

Abstract

Although the drive to formally declare a new Anthropocene epoch has gained traction in a number of circles, there are serious questions that need to be raised about the wisdom and accuracy of formalizing the “signals of the anthropocene” as the definitive signs of a new geological epoch. There are important differences between noticing and publicizing a geological signal, and interpreting or defining that signal as the sign of an inevitable ‘new normal’. Rather than interpreting troubling signals such as nuclear fallout, changes in the nitrogen cycle and mining tailings as marking the death of the Holocene, I argue that they should be understood and engaged as dire warning signs, demonstrating beyond a doubt the perilous legacies of highly invasive industries, and signaling the unprecedentedly urgent need to terminate and transform harmful practices, and to move our cultures and economies in Earth-friendly directions.

Keywords: Anthropocene, Holocene, climate change, invasive industries, harmful practices termination, ethics, ‘new normal’.

1. Introduction

Talk of an “anthropocene” era has become a popular way to describe the fact that human beings (anthropos) are now influencing Earth’s systems and other species like never before, producing unpredictable and lost-lasting changes, and threatening ecological stability and health nearly everywhere. Climate change due to greenhouse gas pollution is perhaps the most obvious evidence that Earth itself is in a state unprecedentedly driven by decisions and actions of people, or at least certain people, rather than by “natural” forces alone. But atmosphere and climate are not the only systems where recent anthropogenic interventions are creating intense quantitative and qualitative changes in Earth’s physical and living systems. Along with global warming and skyrocketing rates of species endangerment, the gross impacts of mining, deforestation and chemical agriculture are emblematic of the so-called “anthropocene” age. In the anthropocene, capital- and technology-intensive practices, such as the widespread use of synthetic fertilizers (which has altered Earth’s nitrogen cycle), leave undeniable detrimental traces, at monumental scales.

The informal idea of an anthropocene cultural age is similar to concepts like “modernity,” “post-modernity,” or “the age of television,” but with a dismal environmental twist. However, the

* Corresponding author

E-mail addresses: cuomo@uga.edu (C.J. Cuomo)

informal concept of the anthropocene is inspired by a more formal scientific concept, which is the focus of my comments here. The formal idea of an “Anthropocene” age is linked to an effort in the geosciences to officially declare the beginning of a new geological epoch, marked by the scientifically traceable impacts of invasive anthropogenic practices in Earth’s strata, systems and biosphere. By definition, declaring the beginning of a new “Anthropocene” geological epoch amounts to the formal end of the current Holocene epoch, for geological epochs follow in succession just as years do.

2. Method: Alleging the Anthropocene

The idea that a new Anthropocene epoch is supplanting the Holocene was first put forth in a 2000 essay proposing a new geological age, marked by the central role of “mankind” in shaping Earth’s atmosphere, ecology and geology (Crutzen and Stoermer, 2000). A scientific movement developed, aiming to formally designate the beginning of a new Anthropocene age “at the same hierarchical level as the Pleistocene and the Holocene epochs” (Zalasiewicz et al., 2015). As journalist Elizabeth Kolbert has pointed out, if the movement to formalize the Anthropocene is successful, every geology textbook in the planet will immediately become obsolete (Kolbert, 2014).

The proposal for an Anthropocene epoch has been endorsed by a working group of the International Union of Geological Sciences, a professional organization whose members determine the scientifically accurate portrayal of Earth’s geological history. The website of the Working Group on the Anthropocene (WGA) describes the presumed new epoch as an age uniquely marked by “many geologically significant conditions and processes profoundly altered by human activities. These include changes in: erosion and sediment transport associated with a variety of anthropogenic processes, including colonisation, agriculture, urbanisation and global warming, the chemical composition of the atmosphere, oceans and soils, with significant anthropogenic perturbations of the cycles of elements” (Working Group on the Anthropocene, 2017).

Beyond advocating for a new geological epoch, the WGA also identifies the beginning of the Anthropocene (and by implication the end of the Holocene) as “the time of the world’s first nuclear bomb explosion, on July 16, 1945 at Alamogordo, New Mexico,” which produced a clear and indelible mark on Earth in the form of a “worldwide fallout easily identifiable in the chemostratigraphic record” (Zalasiewicz et al., 2015).

Although the drive to formally declare a new Anthropocene epoch has gained traction in a number of circles, there are serious questions that need to be raised about the wisdom and accuracy of formalizing the “signals of the anthropocene” as the definitive signs of a new geological epoch. There are important differences between noticing and publicizing a geological signal, and interpreting or defining that signal as the sign of an inevitable ‘new normal’. Rather than interpreting troubling signals such as nuclear fallout, changes in the nitrogen cycle and mining tailings as marking the death of the Holocene, I argue that we should understand them as dire warning signs, demonstrating beyond a doubt the perilous legacies of highly invasive industries, and signaling the unprecedentedly urgent need to terminate and transform harmful practices, and to move our cultures and economies in Earth-friendly directions.

3. Results and discussion

3.1. Protecting the Holocene

It is difficult to imagine a reason to rush to define away the Holocene epoch, or to regard its threatened demise as anything other than an absolute tragedy calling for unprecedented ethical responses. Yet scientists have been surprisingly sanguine about the proposed end of the Holocene epoch, as though they are considering the end of a cultural era, rather than the existential demise of our uniquely life-friendly planetary home. The WGA of the IUGS would like us to conclude that because there are clear stratigraphical marks of human interventions in Earth’s ecology and geology, “the Holocene has terminated” (Working Group on the Anthropocene, 2017). But there are scientific and philosophical questions to be raised about the ontological status of the Holocene. And, as I discuss in more detail below, there are very troubling ethical implications in declaring that the decidedly human-friendly planetary and ecological realities dominant over the last twelve thousand years are officially “over.” In fact, there is no underestimating the potential moral costs of killing off the Holocene epoch.

Although no epoch can last forever, given the unique and uniquely mammal-friendly character of Earth's Holocene, its preservation is of utmost importance for human communities. The Holocene, which began after Earth's Pleistocene period and the last major ice age, established itself around 10,000 BCE, and was designated by scientists in 1895. While "Holocene" is just a name, it designates particular ecosystemic realities for Earth, and a plethora of specific ideals, norms, and benchmarks embedded in those realities. Earth's diverse and dynamic ecologies in its Holocene forms are the fecund states that have been humanity's contexts, worlds, food, fuel and constitutive relationships since long before known human history began. Holocene ecosystems and species are central to all indigenous and subsistence cultures worldwide, and the material foundation for all human conceptions of ecological sustainability, coexistence and health. Ideals and norms provided by Holocene-identified states are what allow us to evaluate and measure environmental harm and endangerment, and to identify specific requirements for restoration. For example, it was various measurements and comparisons against Holocene-identified (i.e. early twentieth century) states of ecological and human health that enabled biologists Rachel Carson and Barry Commoner to show that willful and careless pollution was creating moral atrocities, inspiring the development of environmental law and policy (Carson, 1962; Commoner, 1971). Environmental values and movements the world over, especially those focused on the preservation or restoration of wilderness, sacred lands, animal well-being, traditional subsistence ecosystems, natural monuments, or healthy waterways are still based in material realities of the Holocene epoch.

Without Holocene realities, what can ground the sound ecological policies, laws, ideals and ethics needed in an age such as ours? Anthropocene values cannot be ecologically sound or protective, for the ideology that fuels the practices identified with the proposed human-driven epoch *require* the philosophical and economic reduction of the natural world into exploitable resources. The phenomena referred to in discourses of the anthropocene are catastrophic harms that should be ameliorated in the present and avoided in the future, rather than institutionalized into a new epoch.

Novel anthropogenic signals caused by war and other catastrophes should be regarded as crucial lessons and urgent warning signs, rather than as conclusive evidence that Holocene Earth – arguably the most precious physical location in the universe – has expired. Perilous environmental changes and compromised systems at planetary scales are trends we should work at all costs to terminate, rather than normalize for the future. Instead of dismal science declaring "game over" for the Holocene, realistic science can interpret the lasting environmental traces of war, pollution and disruption as crucial warnings *within* the current epoch, encouraging ethical and empowering responses rather than fatalism and denial.

3.2. The Anthropocene as Moral Atrocity

A New York Times headline recently asked, "Is the 'Anthropocene' epoch a condemnation of human interference, or a call for more?" (Yang, 2017). The geological signals scientists propose as the marks of a new epoch represent colonial and 'neocolonial' interventions and changes that have been catastrophically harmful, and that currently threaten to produce even more extensive harm (Whyte, 2017). If what is distinct about the proposed new geological phase is that it leaves physical signals like mining tailings, nuclear fallout, ocean acidification and anthropogenic species extinction, then the Anthropocene represents an atrocity rather than a promising new trend.

The philosopher Claudia Card developed a secular conception of moral atrocities that emphasizes the obligations of perpetrators and the importance of remediation, without relying on controversial metaphysics or the notion that atrocities necessarily follow from evil intentions. According to Card, a moral atrocity is an intense, extensive harm that "1) is reasonably foreseeable... 2) is culpably inflicted (or tolerated, aggravated, or maintained), and 3) deprives, or seriously risks depriving, others of the basics that are necessary to make a life possible and tolerable or decent" (Card, 2002, 8). The actions of wealthy industries, governments and individuals who knowingly pollute and harm others seemingly fit the paradigm. Not surprisingly, Card argued that ecocide, "the threat to life on our planet posed by environmental poisoning, global warming, and the destruction of rain forests and other natural habitats," was among the paradigmatic moral evils of the twentieth century (Card, 2002, 8).

In asserting that a new epoch has already permanently replaced the Holocene epoch, the working group advocates for a position that deprives humanity of the opportunity to protect

and restore the Holocene. They also present a pessimistic and insufficiently founded prediction of the future of human societies and Earth's ecologies. Whether any discipline can predict how human communities will ultimately respond as we come to better understand our environmental impacts and vulnerabilities, it is fatalistic and disempowering to assume that effective collective responses to global threats are categorically impossible. The last decade has seen a massive shift toward global recognition of climate change and the importance of climate justice, and a huge and broadly cross-cultural sector of humanity now expresses serious concern about the issues. Both social and ecological systems can turn out to be quite resilient, when provided with the right forms of support.

Instead of normalizing moral atrocities by proclaiming the birth of a new epoch, ethical interventions are required to address the serious and systematic harms of the last century, and restore ecological health. In addition to assessing culpability, positive ethical interventions include taking responsibility, healing, caring, restoring, acting justly, divesting, protecting, enabling autonomy, respecting rights, and showing respect. Rather than settling for the idea that the practices that currently threaten life on Earth are destined to grow into more of the same, scientists and others noticing the so-called "signals of the anthropocene" might expand and multiply efforts to protect and restore ecological health.

3.3. What's in a Name?

Finally, like other commentators who have suggested alternatives such as "capitalist-scene", I think it is important to consider the accuracy and implications of the name "anthropocene" (Hailwood, 2016; Haraway, 2016; Cuomo, 2014; Cuomo, 2017). The term supposedly identifies the agents behind the extensive and lasting impacts of technological interventions on Earth's vital systems. But is humanity, *anthropos*, or *Homo Sapiens* really the responsible party behind mass species endangerment, ocean acidification, fossil fuel pollution, deforestation, and nuclear fallout? Clearly it is some humans, and not others, who have devised, propagated and profited from the characteristic industries (and moral atrocities) of the so-called anthropocene. Phenomena identified with the anthropocene are quite recent, and though they have near-global reach, their origins are specific and often traceable. Describing the harms of the anthropocene as acts of 'humanity' represents the actions of few as universally chosen and preferred. It denies humanity's phenomenal historical and philosophical diversity, and feeds into a dismal and misanthropic conception of human nature as ultimately anti-nature, violent, and destructive. Furthermore, attributing the catastrophic changes Earth is experiencing to an abstract, diffuse non-actor like "humanity" hides the influence of specific ideologies, industries, and cultures, and allows everyone to avoid taking responsibility.

There is a unique hubris in characterizing your own culture's destructive patterns, which have been used against other cultures, as definitively human, and then defining those destructive patterns as the harbinger of an already-established new age destined to define the future. Instead of rendering them invisible, now is the time to highlight and learn from living and remembered human cultures who have realized more harmonious, mutually beneficial relationships within nature. Of fundamental importance will be the ability to sense, allow and support nature's autonomy, grounded in ethics of recognition and respect.

4. Conclusion

It is not the actions or inclinations of *anthropos* that produced the fallout resulting from the United States Army's detonation of nuclear weapons in 1945, or our current frightening eco-crises. But if not humanity as a species, who deserves the credit or blame for the troubling "man-made" global changes we are witnessing, working against, and working with? Many have emphasized the roles of "mankind" and "Western values" in endangering the health of the Holocene (White, 1967). In fact it is the economically powerful classes of recent colonial and capitalist regimes—mostly but certainly not only men—who masterminded, enacted and have directly benefited from the disruptions to Earth's "geologically significant conditions and processes" in question. We with massive greenhouse gas footprints can help write the next chapters of the Holocene by prioritizing practices to effectively support a thriving biosphere healthy and fertile enough to supplant current anti-Earth trends.

5. Acknowledgments

Thank you to Amy Ross, Clement Loo (on the matter of prediction), Amber Katherine, Jim Stockton, Kyle Powys Whyte, the University of Georgia Willson Center for the Humanities and Office of the Vice President for Research, Mark A. Farmer and Valery P. Kalinitchenko.

References

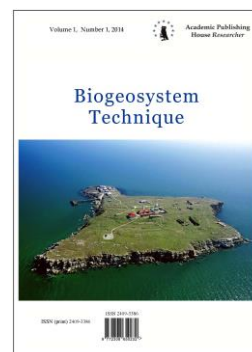
- Card, 2002** – *Card, C.* (2002). *The Atrocity Paradigm: A Theory of Evil*, London: Oxford University Press
- Carson, 1962** – *Carson, R.* (1962). *Silent Spring*, Boston: Houghton Mifflin.
- Commoner, 1971** – *Commoner, B.* (1971). *The Closing Circle: Man, Nature and Technology*. New York: Knopf.
- Crutzen and Stoermer, 2000** – *Crutzen, P, and E. Stoermer* (2000). “The Anthropocene.” *Global Change Newsletter* 41: 17–18.
- Cuomo, 2014** – *Cuomo, C.* (2014). “Who is the ‘Anthro’ in the Anthropocene?” Anthropocene Lecture Series, University of Georgia, November 20.
- Cuomo, 2017** – *Cuomo, C.* (2017). ‘Anthropocene’: An Ethical Crisis, Not a Geological Epoch, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-17142.
- Hailwood, 2016** – *Hailwood, S.* (2016). “Anthropocene: Delusion, celebration and concern.” In P. Pattberg, & F. Zelli (Eds.), *Environmental Politics and Governance in the Anthropocene*, Abingdon: Routledge.
- Haraway, 2016** – *Haraway, D.* (2016). *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*, Durham: Duke University Press.
- Kolbert, 2014** – *Kolbert, E.* (2014). *The Sixth Extinction: An Unnatural History*, New York: Henry Holt and Company.
- Working Group on the Anthropocene, 2017** – Working Group on the Anthropocene, Subcommission on Quaternary Stratigraphy, (2014) “What is the Anthropocene?” URL: <http://quaternary.stratigraphy.org/workinggroups/anthropocene> retrieved June 28, 2017.
- Yang, 2017** – *Yang, Wesley* (2017). “Is the ‘Anthropocene’ Epoch a Condemnation of Human Interference — or a Call for More?” *The New York Times Magazine*, February 14.
- White, 1967** – *White, L.* (1967). The historical roots of our ecologic crisis, *Science*, Vol. 155, No. 3767:1203-1207.
- Whyte, 2017** – *Whyte, K.* (2017). “Indigenous climate change studies: Indigenizing futures, decolonizing the Anthropocene, *English Language Notes* 55 (1-2): 153-162.
- Zalasiewicz et al., 2015** – *Zalasiewicz, J., et al.* (2015). “When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary is stratigraphically optimal”, *Quaternary International*, 383, 196-203.

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 9-24

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.9
www.ejournal19.com



UDC 539.1.047:575.224

Spectra of ISSR-PCR Markers in Assessments of the Intrinsic Genetic Differentiation of the Karachai Horse

Tatiana V. Golik ^a, Irina I. Gaponova ^a, Eugenia A. Knyaseva ^a, Timur A. Erkenov ^a,
Tatiana T. Glazko ^{a, b, *}

^a Russian State Agrarian University – MAA named after K.A. Timiriyev, Moscow,
Russian Federation

^b Centre of Experimental Embryology and Reproductive Biotechnologies RAAS, Moscow,
Russian Federation

Abstract

The gene pool of local domestic breeds is continuously decreasing, therefore the biodiversity of animals with high adaptive potential is also decreasing. Problem solving requires the development of methods that are able to identify the unique characteristics of such aboriginal animals and preserve the genetic resources of farm mammal species. In this paper we have analyzed the genotypes of Karachai breed horses from four different farms ("Akhtamas", "Argamak", "Ikar", "Karplemkhoz") at 39 loci using genotyping methods for amplification products of fragments of genomic DNA of above mentioned horses flanked by inverted repeats of microsatellite loci (AG) 9C, (GA) 9C and (GAG) 6C using the Inter-Simple Sequence Repeats (ISSR-PCR markers). It has been made the analysis of the genotypes of horses with different skin colors. The results shows that black-brown (dark-bay) horses have a more unique genetic structure in comparison with the horses of the bay and black color and have their own peculiarities in origin that distinguish them from other horses of the Karachai breed. The obtained data are indicating a sufficiently high degree of consolidation of the studied group of animals. It was found that, on average, the index of genetic identity between these animals is 0.8105. The spectra of the amplification products differed by increased polymorphism for the horses from the limited liability company Plemreproduktor "Ikar". The horses from the "Karplemkhoz" farm possessed the greatest consolidation.

Keywords: Karachai breed horses, the spectra of amplification products, genetic differentiation, ISSR-PCR markers, consolidation.

1. Введение

РФ является одной из стран, которая богата генотипическим разнообразием животных сельскохозяйственных видов, так как владеет большой территорией, следовательно, имеет место большое разнообразие эколого-географических условий разведения животных. Во многих ранних работах отмечалось, что многие отечественные породы превосходят

* Corresponding author

E-mail addresses: tglazko@rambler.ru (T.T. Glazko)

зарубежные по своей приспособленности к условиям обитания, долголетию, устойчивости к различным заболеваниям и т.д. (Kalashnikov et al., 2011).

По данным FAO, в настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с сохранением генетических ресурсов местных пород животных сельскохозяйственных видов, их генетического и фенотипического разнообразия (FAO, 2015). Это связано с тем, что местные (аборигенные) породы, в частности, лошади обладают уникальным адаптивным потенциалом. Они могут проживать в районах неблагоприятных по климатическим и географическим условиям, с минимальным использованием пищевых ресурсов и человеческого труда (Храброва и др., 2012). Особый интерес в настоящее время приобретают породы лошадей, адаптированные к высокогорной гипоксии, поскольку обнаружено, что некоторые механизмы такой адаптации являются общими для домашней лошади и человека (Hendrickson, 2013). Генетическая основа такой адаптации животных к окружающей среде (в частности к высокогорной гипоксии) все еще изучается (Simonson et al., 2010). К одной из таких пород относится карачаевская лошадь, сохранение и усовершенствование которой требует подробного изучения ее генетической структуры, фенотипического разнообразия.

Принято считать, что родина карачаевской породы – верхнее течение реки Кубани и плоскогорья водораздела Черного и Каспийского морей. Прямые свидетельства о прилитии карачаевским лошадям крови других пород отсутствуют, но в их облике просматриваются «следы» степных коней (скорее всего, ногайских) и влияние пород Востока. Считается, что порода сформировалась к XV–XVI вв. (Парфенов и др., 2005).

Достоинствами карачаевской породы лошадей являются низкорослость, выносливость, работоспособность, неприхотливость в содержании и врожденная устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды. Такая высокая адаптивная способность данной породы лошадей связана с тем, что становление данной породы, происходило в суровых условиях, для которых характерны сложный горный ландшафт, резкие перепады температур и высокогорная гипоксия. Еще одним важным фактором является высокая плодовитость данной породы, зажеребляемость у них происходит в 86–92 % случаев, а в 83–89 % рождаются здоровые жеребята.

Карачаевскую породу лошадей также можно назвать универсальной породой, потому что в настоящее время ее используют в сельском хозяйстве, спорте, туризме, транспортировке и военной службе (Парфенов, Хотов, 2010).

С точки зрения генетики масти, карачаевская порода лошадей имеет две основные масти: вороную и гнедую. Принято считать, что караковая масть является переходной между вышеуказанными. Караковая масть выглядит как вороная с подпалинами, которые должны быть хорошо выраженными на черном фоне. По данным литературы известно, что у домашней лошади древней мастью является гнедая по сравнению с вороной (Ludwig et al., 2009) однако обнаружено, что у древних лошадей с относительно низкой частотой встречалась и другие масти. (Pruvost et al., 2011).

Особенности генетической структуры карачаевской лошади в настоящее время остаются недостаточно исследованными. Поэтому для выяснения популяционно-генетических характеристик групп карачаевской лошади в настоящей работе выполнено полилокусное генотипирование (геномное сканирование) с использованием оценок полиморфизма участков геномной ДНК, фланкированных инвертированными повторами фрагментов микросателлитов (AG)₉C, (GA)₉C, (GAG)₉C и групп карачаевской породы лошадей в 4-х хозяйствах: «Ахтамас», «Аргомак», «Икар» и «Карплемхоз» (Карачаево-Черкесская Республика).

2. Материалы и методы

В исследовании были использованы образцы крови карачаевской породы лошадей из 4-х различных хозяйств.

ООО Племярепродуктор «Ахтамас» расположено в станице Сторожевой Зеленчукского района Карачаево-Черкесской республики. В анализ вошли 47 кобыл и 6 жеребцов 1998-2008 годов, а также кобылки 2014 года (47 голов в возрасте 1 год).

ООО «Аргомак» расположено в селе Хасаут, Малокарачаевского района, КЧР. В анализ вошли 15 кобыл и 2 жеребца 2002-2012 годов, а также кобылки 2015 года (15 голов в возрасте 1 год).

ООО Племярепродуктор «Икар» Зеленчукского района, КЧР. В анализ вошли 19 кобыл и 4 жеребца 2001-2011 годов, а также кобылки 2015 года (17 голов в возрасте 2-х лет).

ООО «Карплемхоз» Джегутинского района, КЧР. В анализ вошли 5 жеребцов и 30 кобыл 2001-2010 годов, а также кобылки 2014 года (30 голов в возрасте 1 год).

В общей сложности выборка составила 240 животных. В процессе анализа все животные были разделены на группы в зависимости от хозяйства, пола, возраста и масти животного.

Метод типирования групп крови лошадей находит широкое практическое применение. Использование метода генотипирования по группам крови подробно рассматривается в работах К. Стормонта. (Stormont, 1951, 1958, 1967; Stormont, Morris, 1992). Исследование систем групп крови лошадей разных пород проводится в России более 4-х десятилетий. Формирование информационной базы во Всероссийском институте коневодства особенно важно для малочисленных популяций, находящихся на грани исчезновения, так как способствует развитию методов генетически обоснованных подходов к сохранению и совершенствованию их генофондов.

Образцы крови для анализа были получены из яремной вены животных, затем их помещали в индивидуальные пробирки с ЭДТА. На пробирках указывали № животного и пол. Полученные пробы хранились в холодильнике при температуре 70 °С. Геномную ДНК из образцов крови выделяли с помощью коммерческого набора реагентов «ДНК-Экстран-1» (Синтол, Россия) в соответствии с рекомендациями, которые прилагает производитель. Процесс выделения включал лизис эритроцитов и ядер клеток, осаждение ДНК изопропанолом и промывку 70 % этанолом с окончательным растворением в бидистиллированной воде или буфере TE. Концентрацию ДНК определяли в растворе при помощи спектрофотометра.

Для животных сельскохозяйственных видов более простым и эффективным методом полилокусного генотипирования служит использование фрагментов микросателлитных локусов в качестве ПЦР-праймеров. (Бардуков и др., 2014).

В качестве праймеров для полилокусного генотипирования по фрагментам ДНК, фланкированными инвертированными повторами микросателлитов (Inter-Simple Sequence Repeats – ISSR-маркеры) применялись динуклеотидные микросателлиты с якорными нуклеотидами – (AG)₉C, (GA)₉C, а также тринуклеотидный микросателлит (GAG)₆C. Полилокусность ISSR-PCR-маркеров позволяет рассчитывать на выявление их комбинаций, тесно связанных с особенностями происхождения, отбора и фенотипической дифференциацией групп животных. (Глазко и др., 2013). Микросателлиты характеризуются высокой вариабельностью, кодоминантным характером наследования, высокой степенью полиморфизма, известной локализацией в геноме и широко используются для определения генетической структуры пород и популяций, изучения происхождения и микроэволюции пород, проведения генетического мониторинга в породах с целью сохранения аллелофонда малочисленных пород, усовершенствования методов разведения и т.д. (Храброва и др., 2012).

Полимеразную цепную реакцию проводили в объеме 20 мкл с использованием коммерческого набора реагентов ПЦР-РВ (Синтол, Россия) по методу (Zietkiewicz et al., 1994). Состав реакционной смеси: ДНК – 2 мкл (около 150 нг), дезоксинуклеозидтрифосфаты (2,5 мМ) – 2 мкл, 10-кратный ПЦР буфер – 2 мкл, MgCl₂ (25 мМ) – 2 мкл, Taq ДНКполимераза с ингибирующими активностью фермента антителами (5 Е/мкл) – 0,2 мкл, праймер (10 пкмоль/реакцию) – 2 мкл, деионизированная вода – 10 мкл. Амплификация выполнялась по следующей программе: первичная денатурация (t = 94 °С, 2 мин.); денатурация (t = 94 °С, 30 с.), отжиг (t = 55 °С, 30 с.), элонгация (t = 72 °С, 2 мин.) – 35 циклов; финальная элонгация (t = 72 °С, 10 мин.), ПЦР проводили на амплификаторе «Терцик» (ДНК-технологии, Россия). Продукты амплификации разделяли в горизонтальном 1,5 % агарозном геле в TBE-буфере. Окрашивание гелей проводили бромистым этидием концентрацией 0,5 мкг/мл. Фрагменты ДНК визуализировали в УФ свете при помощи трансиллюминатора УВТ-1 (Биоком, Россия) с использованием системы гель-документации VITRAN-PHOTO (Биоком, Россия). Размеры

фрагментов ДНК определяли при помощи маркера молекулярных масс 100 bp+1.5 Kb+3 Kb (12 фрагментов от 100 до 3000 bp) M27 (СибЭнзим, Россия).

На каждый из полученных спектров продуктов амплификации были построены матрицы, отражающие присутствие или отсутствие в них конкретных ампликонов. Затем полученные данные обрабатывались в программах MS Excel и TFPGA. Каждый ампликон спектра рассматривали как один локус ДНК. Полиморфизм по данному локусу оценивали по наличию или отсутствию ампликона соответствующей длины в спектрах с использованием специализированной программы TFPGA.

Расчет индекса Polymorphic Information Content (PIC) выполняли по формуле для диаллельных локусов, для которых $PIC=2f(1-f)$, где f – частота одного из двух аллелей. Согласно Botstein и др. (1980) локусы со значением $PIC>0,500$ являются высокополиморфными, со значением PIC в пределах 0,250–0,500 – умеренно полиморфными, а если $PIC<0,250$, то маркеры низкополиморфные.

Поскольку используемые нами маркеры ISSR-PCR, фланкированные инвертированными повторами микросателлитов, имеют доминантный характер проявления по присутствию продукта амплификации, f рассчитывали по формуле: $f = R^{1/2}$, где R – частота встречаемости животных среди исследованных, у которых в спектрах продуктов амплификации отсутствовал фрагмент ДНК данной длины. Значение R рассматривалось как доля гомозигот по рецессивному аллелю. (Эркенов, 2015). На основании данных о распределении ампликонов по спектрам амплификации по методу Нея (Nei, 1972) были определены генетические дистанции между исследуемыми лошадьми из разных хозяйств. На основании данных генетических дистанций проведен кластерный анализ с использованием метода усреднения расстояний и построены дендрограммы как наиболее наглядный способ выражения взаимосвязей между животными (Ольховская и др., 2011).

3. Результаты и обсуждение

По результатам выполненного анализа, были получены следующие данные. Спектры продуктов амплификации с использованием в качестве праймеров последовательностей (AG)₉C и (GA)₉C (Табл. 1-4, Рис. 1, 2) незначительно отличались друг от друга, как по количеству получаемых ампликонов, их длинам (в парах нуклеотидов), так и по их полиморфизму.

В спектре продуктов амплификации, полученных при использовании в качестве праймера последовательности (GA)₉C, выявлено суммарно в 4-х исследованных хозяйствах 15 фрагментов ДНК. Каждый из этих фрагментов рассматривался как отдельный локус. В двух хозяйствах «Икар» и «Аргомак» – наблюдали повышенный уровень полиморфизма относительно двух других хозяйств (Табл. 1). Полиморфное информационное содержание (PIC) спектров продуктов амплификации, полученных при использовании в ISSR-PCR последовательностей (GA)₉C, в «Икаре» в два раза выше, чем в «Ахтамасе», и в десять раз больше, чем в «Карплемхозе», примерно также исследованные хозяйства различались и по длинам полиморфных локусов (ДПЛ) (Табл. 2).

Таблица 1. Полиморфное информационное содержание (PIC) и доля полиморфных локусов (P) спектров продукции амплификации по праймеру (GA)₉C

Праймер (GA) ₉ C	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
PIC	0,31	0,14	0,23	0,03
P,%	73	46	73	6

Таблица 2. Сравнительный анализ полиморфизма фрагментов ДНК по праймеру (GA)₉C в хозяйствах «Икар», «Ахтамас», «Аргомак» и «Карплемхоз»

П.н.	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
1750-1700	-	-	-	-
1510-1490	+	-	+	-
1450-1400	+	-	+	-
1320-1300	+	-	+	-
1290-1250	+	+	+	-
1050-1000	+	-	+	-
980-950	+	-	+	-
900-870	-	-	-	-
820-790	+	-	+	-
760-720	+	+	+	-
640-590	+	+	+	-
580-550	+	+	+	+
550-530	-	+	+	-
520-490	+	+	-	-
400-380	+	+	-	-

«+»- полиморфизм по данному фрагменту ДНК; «-» – консервативный участок ДНК по данному фрагменту

Из полученных данных можно сделать вывод, что спектры праймера (GA)₉C наиболее полиморфны у лошадей из хозяйства «Икар». Спектры продуктов амплификации фрагментов геномной ДНК, фланкированных инвертированными повторами этого праймера (ампликонов) хозяйства «Карплемхоз» максимально консервативны по сравнению с тремя другими хозяйствами. Наиболее консервативными ампликонами в хозяйстве «Икар» оказались 3 фрагмента спектра с длинами в 1750-1700, 900-870 и 550-530 пар оснований (п.о.) Наиболее консервативными фрагментами в хозяйстве «Ахтамас» являются ампликоны в районе длин 1750-1300, 1050-790 пар оснований (всего 8 локусов). Хозяйство «Аргомак» по данному праймеру практически не отличается от объединения «Икар». У животных из хозяйства «Карплемхоз» почти все фрагменты спектра консервативны, кроме одного в районе 580-550 п.о.

На дендрограмме, построенной на основании распределения у исследованных животных фрагментов геномной ДНК, фланкированных инвертированными повторами (GA)₉C (Рис. 2), выделяется 2 основных крупных кластера, причем каждый из них разделяется на два подкластера. Кластерный анализ может быть использован для анализа тесноты связей между структурными единицами различных пород сельскохозяйственных видов животных (Литвинова, 2011). На дендрограмме четко выделяется подкластер с лошадьми из хозяйства «Карплемхоз», это, по-видимому, связано с высоким уровнем консолидированности в данном хозяйстве. Рядом располагается подкластер с животными из хозяйства «Ахтамас». Эти два хозяйства образуют один крупный кластер. Также стоит отметить, что в данный кластер входит караковый жеребец из хозяйства «Икар». Второй крупный кластер также делится на два подкластера, состоящих из двух хозяйств – «Икар» и «Аргомак». Объединение этих двух хозяйств в один общий кластер можно связать с тем, что у лошадей из данных объединений одинаковый ДПЛ = 73 %.

В спектрах ампликонов праймера (GAG)₆C выделяется 10 фрагментов ДНК (Табл. 5, 6). Наибольший полиморфизм спектров данного праймера выявлен в хозяйствах «Ахтамас» и «Икар». В этих двух племобъединениях уровень полиморфизма почти в 3-4 раза больше, чем в хозяйствах «Аргомак» и «Карплемхоз» (Табл. 5). Стоит отметить, что «Аргомак» по праймерам (AG)₉C и (GA)₉C отличается достаточно высоким уровнем полиморфизма.

Таблица 3. Полиморфное информационное содержание (PIC) и доля полиморфных локусов (P) спектров продукции амплификации по праймеру (AG)₉C

Праймер (AG) ₉ C	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
PIC	0,26	0,08	0,12	0,05
P,%	64	21	35	14

Таблица 4. Сравнительный анализ полиморфизма фрагментов ДНК по праймеру (AG)₉C в хозяйствах «Икар», «Ахтамас», «Аргомак» и «Карплемхоз»

П.н.	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
1750-1700	+	-	-	-
1510-1490	-	-	-	-
1450-1400	+	-	-	-
1390-1360	+	+	-	-
1250-1200	+	-	-	-
1110-1050	+	-	-	-
990-960	+	-	-	-
940-910	+	-	+	-
900-870	-	+	+	-
820-790	-	-	-	-
720-670	-	+	+	+
580-550	-	-	+	-
470-440	+	-	+	+
400-380	+	-	-	-

«+»- полиморфизм по данному фрагменту ДНК; «-» - консервативный участок ДНК по данному фрагменту

По праймеру (GAG)₆C самым полиморфным оказался участок в 980-950 п.о., полиморфизм по данному локусу встречается во всех хозяйствах кроме «Карплемхоза». Также достаточно полиморфными являются участок в 1060-1110 п.о. В целом можно отметить, что показатели P и PIC по данному праймеру меньше, чем по двум остальным.

На дендрограмме, построенной на основании расчета генетических расстояний по частотам встречаемости ампликонов спектров праймера (GAG)₆C (Рис. 3), выделяется два кластера: один включает в себя группы животных из всех 4-х хозяйств, второй – хозяйство «Икар» и гнедых жеребцов из «Ахтамаса». Первый кластер самый крупный и он делится на 2 подкластера, который в свою очередь также разделяются на подкластеры. На первом подкластере видно, что группы животных из хозяйств «Карплемхоз» и «Аргомак», а также часть животных из «Икара» и «Ахтамаса» идут ровной линией, что говорит о высокой консолидированности между ними. Интересно отметить, что в данный подкластер входит группа животных из «Ахтамаса» с караковой мастью и жеребцы из «Икара» также караковой масти.

В спектре продуктов амплификации праймера (AG)₉C было обнаружено 14 воспроизводимых локусов (Табл. 4), количество полиморфных из них отличалось в зависимости от хозяйства. Так в хозяйстве «Икар» было обнаружено 9 полиморфных локусов (с длинами в 1700-1750 пар оснований, 1450-1400 п.о., 1390-1360 п.о., 1250-1200 п.о., 1110-1050 п.о., 990-960 п.о., 940-910 п.о., 470-440 п.о. и 400-380 п.о.). «Ахтамас» 3 полиморфных локуса (1390-1360 п.о., 900-870 п.о. и 720-670 п.о.). В хозяйстве «Аргомак» было 5 полиморфных локусов (940-910 п.о., 900-870 п.о., 720-670 п.о., 580-550 п.о. и 470-440 п.о.). И наконец, в хозяйстве ООО «Карплемхоз» было выявлено 2 полиморфных локуса (720-670 п.о., 470-440 п.о.). При сравнении полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее полиморфными являются локусы в 940-910 п.о., 900-870 п.о., 720-670 п.о., 470-440 п.о., так как они встречаются наиболее часто как минимум в двух хозяйствах. По праймеру (GA)₉C было выявлено 15 воспроизводимых локусов, в хозяйствен «Икар»

полиморфными были 12 из них, а консервативными только 3, с длинами в 1750-1700 п.о., 900-870 п.о., 550-530 п.о. В «Ахтамасе» полиморфных локусов было 7 (1290-1250 п.о., 760-720 п.о., 640- 590 п.о., 580- 550 п.о., 550-530 п.о., 520-490 п.о. и 400-380 п.о.). ООО «Аргомак» имел 11 полиморфных локусов и 4 консервативных с длинами в 1750-1700 п.о., 900-870 п.о., 520-490 п.о. и 400-380 п.о. «Кармплемхоз» имел всего один полиморфных локус с длиной в 580-550 п.о. По данному праймеру наиболее полиморфными являются локусы с длинами в 520-490 п.о. и 400-380 п.о., полиморфизм которых наблюдался почти во всех четырех хозяйствах.

По данным P (%) и PIC (Табл. 3) можно сделать вывод, что самый высокий уровень полиморфизма наблюдается в хозяйстве «Икар» – 64 %, а это почти в 3 раза больше, чем в хозяйствах «Ахтамас» (21%) и «Карплемхоз». Самый низкий уровень полиморфизма в хозяйстве «Карплемхоз» – всего 14 %. P (%) в хозяйстве «Аргомак» имеет среднее значение 35 %.

Построенная на основании сравнения частот встречаемости ампликонов разной длины в спектрах праймера (AG)₉C дендрограмма (Рис. 1) включает два кластера.

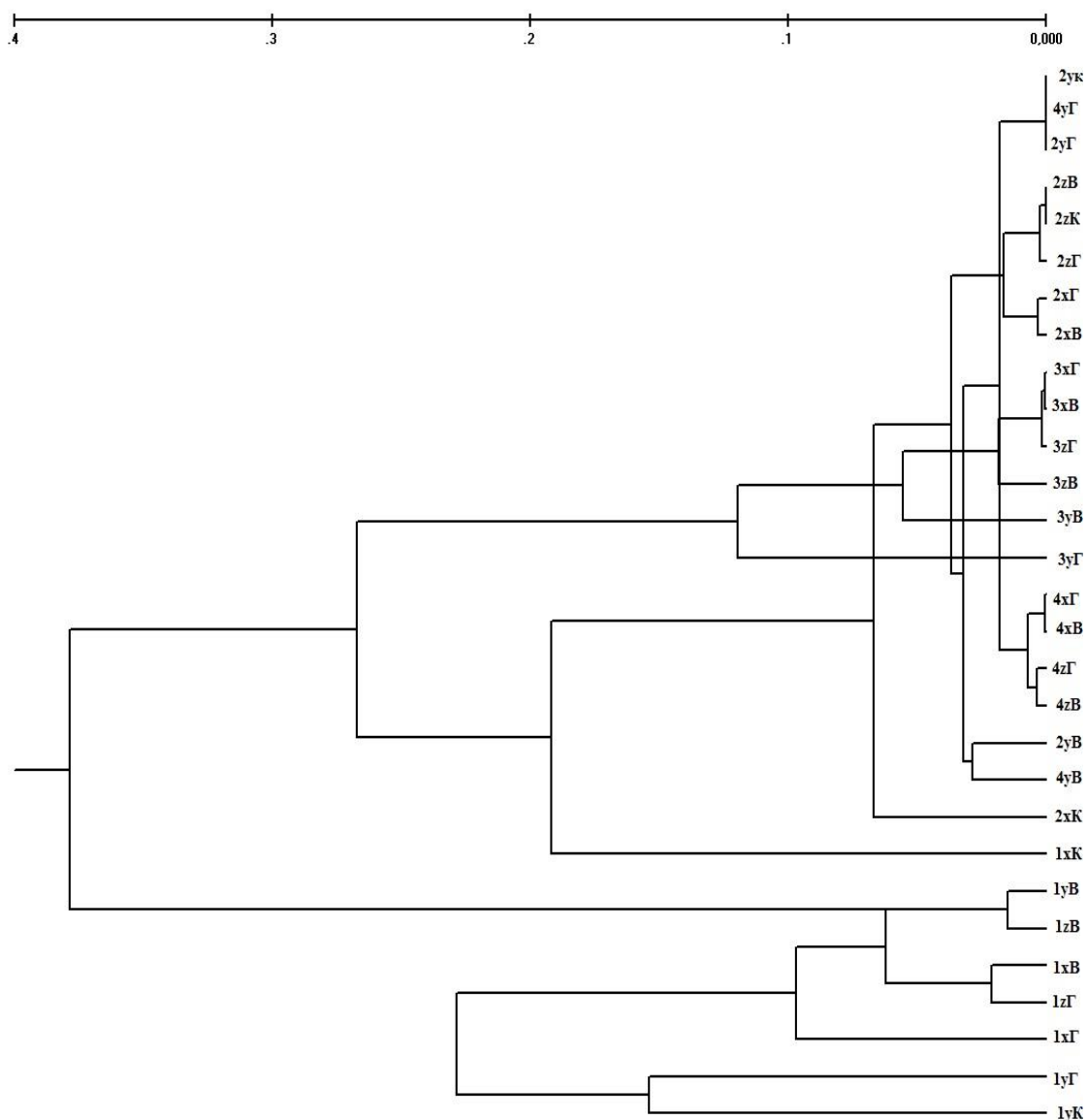


Рис. 1. Дендрограмма генетических взаимоотношений, построенных на основании генетических дистанций у лошадей карачаевской породы лошадей в четырех различных хозяйствах по праймеру (AG)₉C

1 – «Икар», 2 – «Ахтамас», 3 – «Аргомак», 4 – «Карплемхоз»; y – жеребец, x – кобыла, z – кобылка; Г – гнедая масть, В – вороная масть, К – караковая масть

Первый кластер, объединяет три хозяйства: «Ахтамас», «Аргомак» и «Карплемхоз»; второй – это отделившееся хозяйство «Икар», причем в первый кластер входит группа караковых кобыл из хозяйства «Икар».

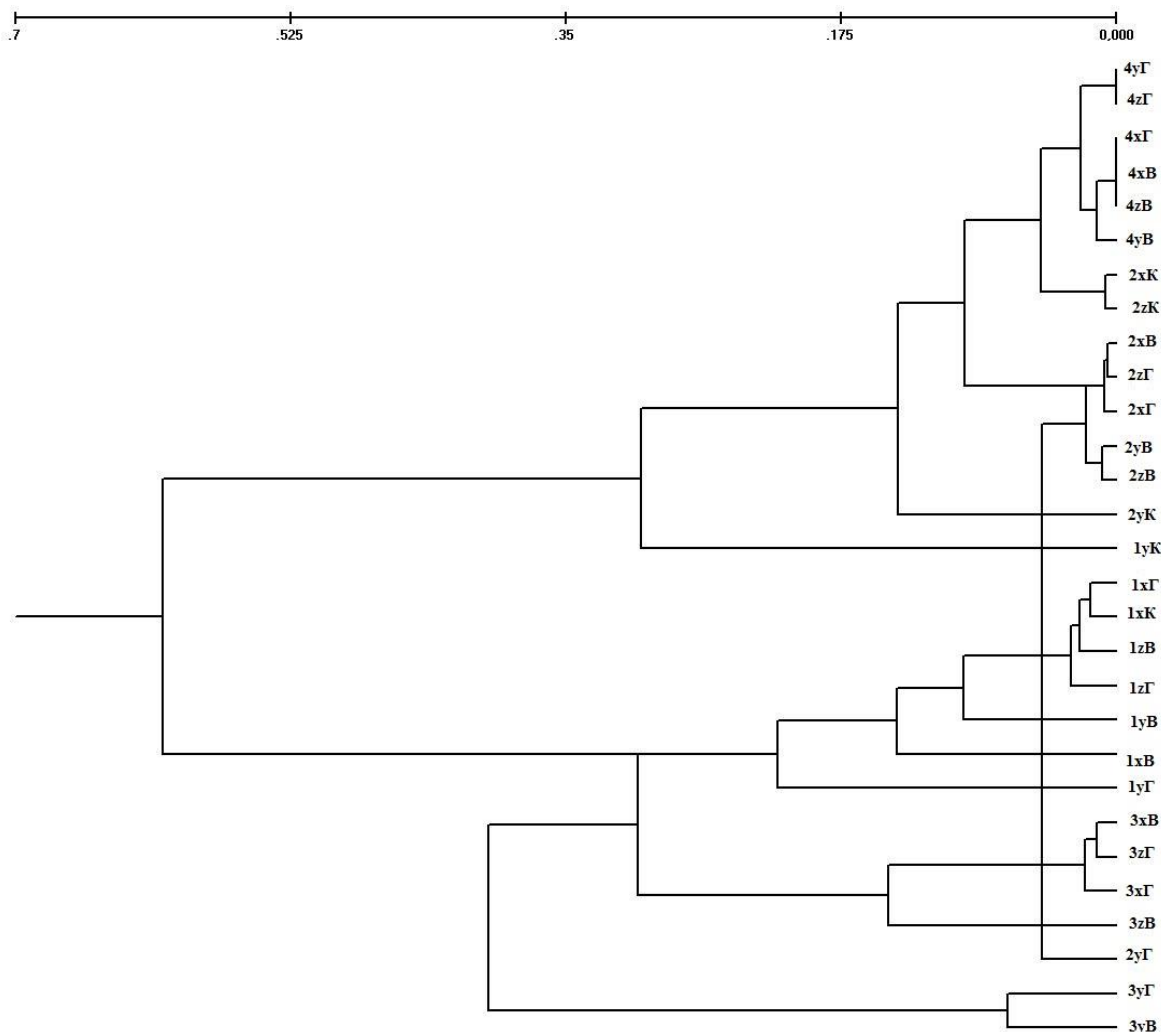


Рис. 2. Дендрограмма генетических взаимоотношений, построенных на основании генетических дистанций у лошадей карачаевской породы лошадей в четырех различных хозяйствах по праймеру $(GA)_9C$

1 – «Икар», 2 – «Ахтамас», 3 – «Аргомак», 4 – «Карплемхоз»; у – жеребец, х – кобыла, z – кобылка; Г – гнедая масть, В – вороная масть, К – караковая масть.

Таким образом, выполненный анализ свидетельствует о высокой эффективности использования ISSR-PCR маркеров для оценки консолидированности групп лошадей с использованием в качестве праймеров в полимеразной цепной реакции участков микросателлитов с коровым мотивом AG, GA и GAG. Подбор молекулярно-генетических маркеров для полилокусного генотипирования (геномного сканирования) может отличаться в зависимости от цели исследования. Для контроля происхождения и консолидированности пород и внутривидовых групп более эффективным будет применение ISSR-PCR маркеров. (Эркенов и др., 2015).

Таблица 5. Полиморфное информационное содержание (PIC) и доля полиморфных локусов (P) спектров продукции амплификации по праймеру $(GAG)_6C$

Праймер $(GAG)_6C$	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
PIC	0,15	0,11	0,04	0,01
P, %	40	30	10	3

Таблица 6. Сравнительный анализ полиморфизма фрагментов ДНК по праймеру (GAG)₆C в хозяйствах «Икар», «Ахтамас», «Аргомак» и «Карплемхоз»

П.н.	«Икар»	«Ахтамас»	«Аргомак»	«Карплемхоз»
1380-1350	+	-	-	-
1180-1210	-	-	-	-
1120-1170	-	-	-	-
1060-1110	+	+	-	-
1000-1050	-	+	-	-
980-950	+	+	+	-
820-790	-	-	-	-
710-680	+	-	-	-
650-640	-	-	-	+
400-380	-	-	-	-

«+» – полиморфизм по данному фрагменту ДНК; «-» – консервативный участок ДНК по данному фрагменту

Для более наглядной оценки четырех хозяйств были построены четыре таблицы (Табл. 7, 8, 9, 10). Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что наиболее консолидированным является хозяйство «Карплемхоз», в котором среднее значение PIC = 0,03, а P= 7,6%.

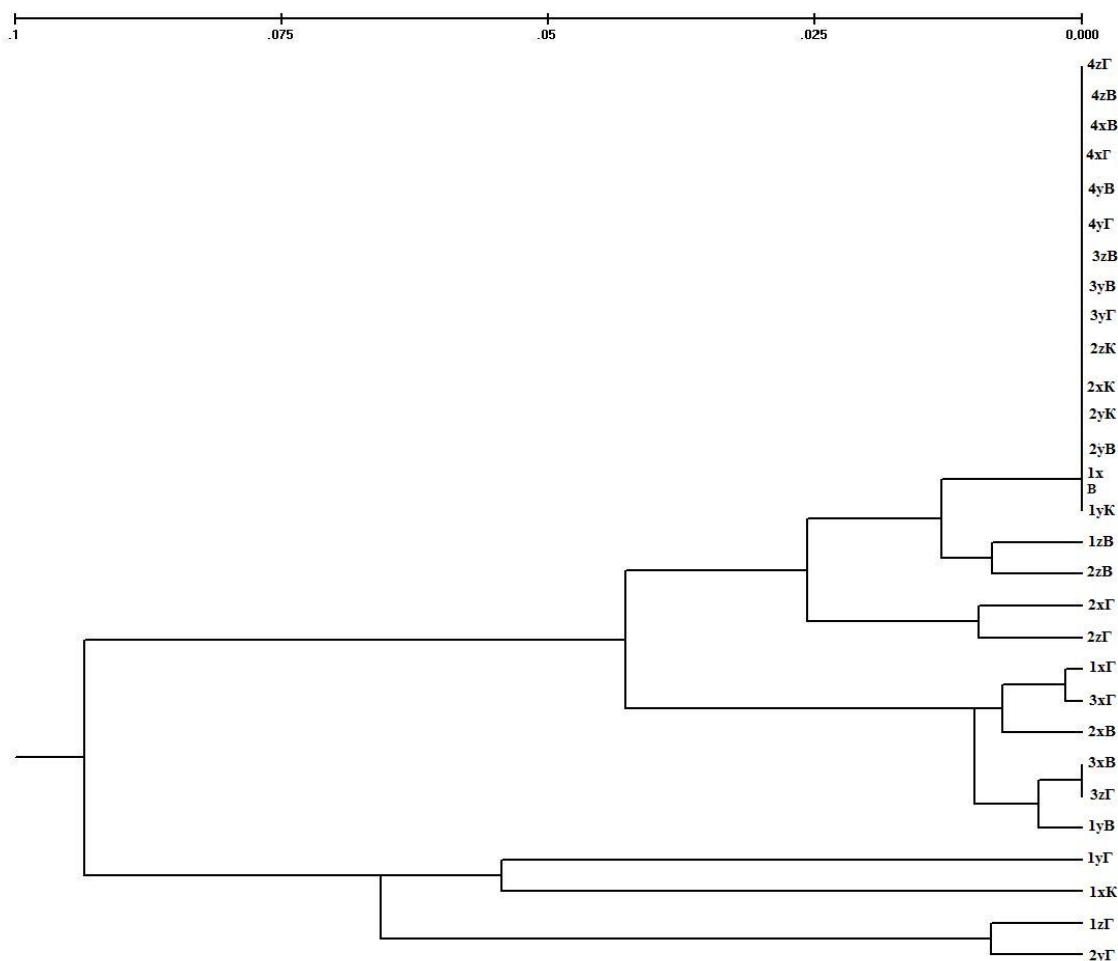


Рис. 3. Дендрограмма генетических взаимоотношений, построенных на основании генетических дистанций у лошадей карачаевской породы лошадей в четырех различных хозяйствах по праймеру (GAG)₆C.

1 – «Икар», 2 – «Ахтамас», 3 – «Аргомак», 4 – «Карплемхоз»; у – жеребец, х – кобыла, z – кобылка; Г – гнедая масть, В – вороная масть, К – караковая масть

На основании полученных низких значений доли полиморфных локусов и индекса PIC можно утверждать, что исследованные лошади из ООО «Карплемхоз» обладают высокой степенью генетической консолидации, особенно для уровня локальной породы (Табл. 8). (Воронкова и др., 2011). Хозяйством с самым высоким уровнем полиморфизма является «Икар», среди лошадей которого среднее значение PIC = 0,24, а P = 59 % (Табл. 10). ООО «Ахтамас» и «Аргомак» занимают промежуточные места по этим показателям, в «Ахтамасе» среднее значение PIC = 0,11, а P = 32,3 %. Можно сделать вывод, что исследованные лошади из ООО «Плем-Репродуктор «Ахтамас»» и «Аргомак» также генетически исключительно высоко консолидированы, особенно для уровня локальной породы, но, тем не менее, сохраняют определённую степень генетического разнообразия, что особенно важно для успеха дальнейшей племенной работы и сохранения породы. В среднем индекс генетической идентичности в этих четырех хозяйствах равен 0,8105.

Таблица 7. Основные параметры спектров продуктов амплификации (ISSR-PCR маркеры), полученных на геномной ДНК карачаевских лошадей (100 голов) хозяйства «Ахтамас»

Праймер	(AG) ₉ C	(GA) ₉ C	(GAG) ₆ C	В сумме по трём праймерам
Количество локусов в спектре продуктов амплификации	14	15	10	39
Границы длин анализируемых локусов, п.о.	380-1750	380-1750	380-1380	380-1750
Полиморфное информационное содержание (PIC)	0,08	0,14	0,11	0,11
Доля полиморфных локусов (P, %)	21,0	46,0	30,0	32,3

Таблица 8. Основные параметры спектров продуктов амплификации (ISSR-PCR маркеры), полученных на геномной ДНК карачаевских лошадей (65 голов) хозяйства «Карплемхоз»

Праймер	(AG) ₉ C	(GA) ₉ C	(GAG) ₆ C	В сумме по трём праймерам
Количество локусов в спектре продуктов амплификации	14	15	10	39
Границы длин анализируемых локусов, п.о.	380-1750	380-1750	380-1380	380-1750
Полиморфное информационное содержание (PIC)	0,05	0,03	0,01	0,03
Доля полиморфных локусов (P, %)	14,0	6,0	3,0	7,6

Таблица 9. Основные параметры спектров продуктов амплификации (ISSR-PCR маркеры), полученных на геномной ДНК карачаевских лошадей (32 голов) хозяйства «Аргомак».

Праймер	(AG) ₉ C	(GA) ₉ C	(GAG) ₆ C	В сумме по трём праймерам
Количество локусов в спектре продуктов амплификации	14	15	10	39
Границы длин анализируемых локусов, п.о.	380-1750	380-1750	380-1380	380-1750
Полиморфное информационное содержание (PIC)	0,12	0,23	0,04	0,13
Доля полиморфных локусов (P, %)	35,0	73,0	10,0	39,3

Таблица 10. Основные параметры спектров продуктов амплификации (ISSR-PCR маркеры), полученных на геномной ДНК карачаевских лошадей (38-40 голов) хозяйства «Икар»

Праймаер	(AG) ₉ C	(GA) ₉ C	(GAG) ₆ C	В сумме по трём праймерам
Количество локусов в спектре продуктов амплификации	14	15	10	39
Границы длин анализируемых локусов, п.о.	380-1750	380-1750	380-1380	380-1750
Полиморфное информационное содержание (PIC)	0,26	0,31	0,15	0,24
Доля полиморфных локусов (P, %)	64,0	73,0	40,0	59,0

Полиморфизм спектров ISSR-PCR маркеров значительно отличается в зависимости от использованных в качестве праймера м/с. Так, наименьший полиморфизм спектров выявлен у праймера (GAG)₆C: «Карплемхоз» – 0,01; «Ахтамас» – 0,11; «Аргомак» – 0,04; «Икар» – 0,15.

По всем четырем хозяйствам с использованием трех праймеров (39 локусов) была построена дендрограмма (Рис. 4). На ней также видно два больших кластера, которые делятся на 2 подкластера. Первый из них включает в себя группы животных из хозяйства «Икар», а второй – группы животных из трех остальных хозяйств. Следует отметить, что во втором подкластере, который в свою очередь подразделился на более мелкие подкластеры, животные группируются сверху вниз по принадлежности к хозяйству.

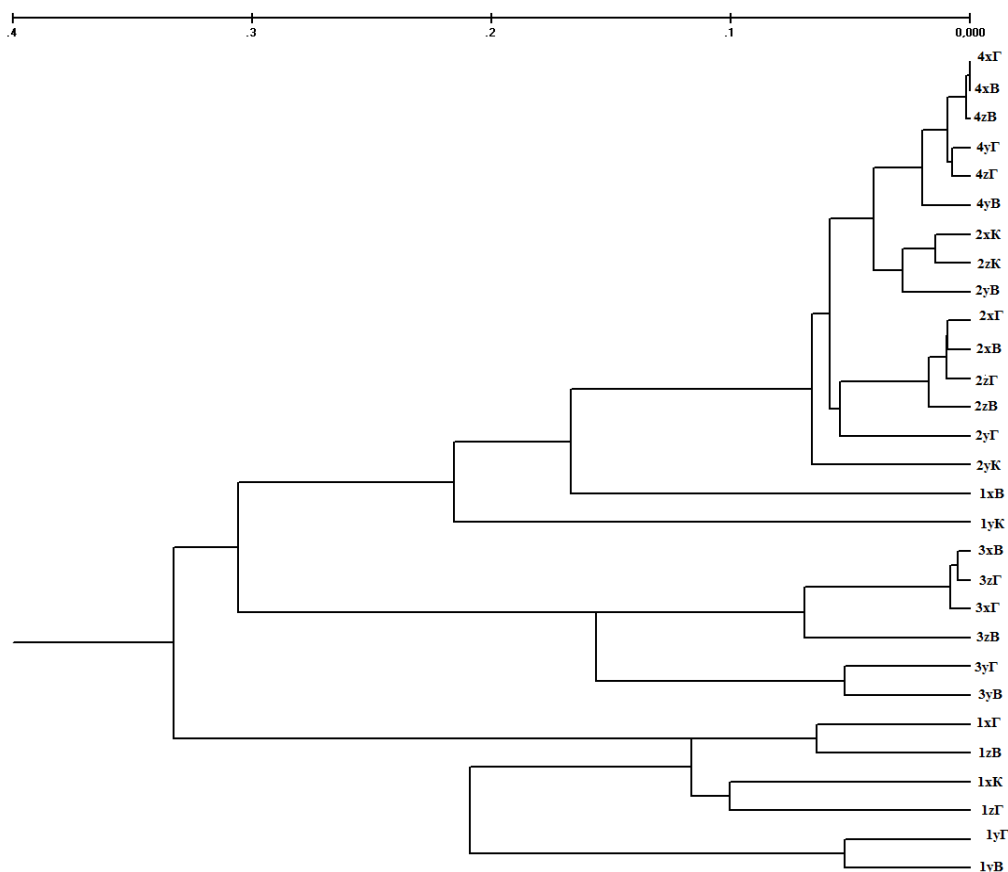


Рис. 4. Дендрограмма генетических взаимоотношений, построенных на основании генетических дистанций у лошадей карачаевской породы лошадей в четырех различных хозяйствах по праймерам (AG)₉C, (GA)₉C и (GAG)₆C

1 – «Икар», 2 – «Ахтамас», 3 – «Аргомак», 4 – «Карплемхоз»; у – жеребец, х – кобыла, z – кобылка; Г – гнедая масть, В – вороная масть, К – караковая масть

В хозяйствах «Икар» и «Ахтамас», помимо гнедых и вороных, присутствовали животные с караковой мастью. Это объясняется тем, что лошади карачаевской породы характеризуются преимущественно гнедой, вороной и караковой мастью, а их помеси отличаются большим разнообразием окраски (Захаров, 2012). На основании распределения данных мастей была построена общая дендрограмма по трем праймерам (Рис. 5). На ней видно, что и в хозяйстве «Икар» и в Племярепродукторе «Ахтамас» животные с караковой мастью образуют отдельные подкластеры. Исходя из полученных результатов, можно ожидать, что животные с караковой мастью имеют более уникальную генетическую структуру по сравнению с лошадьми гнедой и вороной мастей и имеют свои особенности по происхождению, отличающие их от других лошадей карачаевской породы.

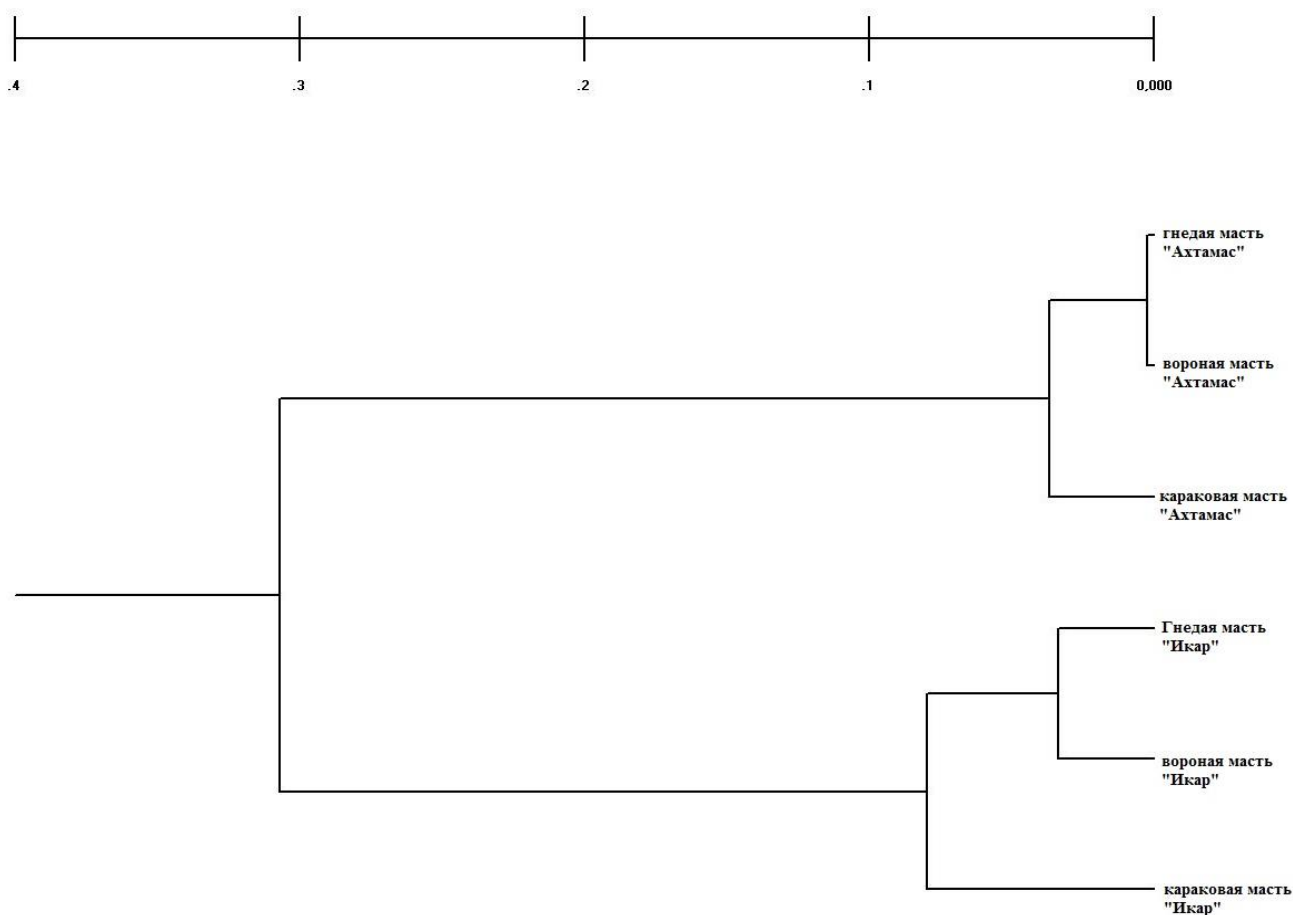


Рис. 5. Дендрограмма генетических взаимоотношений, построенных на основании генетических дистанций у лошадей карачаевской породы лошадей в четырех различных хозяйствах по праймерам (AG)9C, (GA)9C и (GAG)6C в зависимости от масти

Для наиболее точной оценки данных хозяйств, было учтено их географическое положение (Рис. 6). На данной карте видно, что все хозяйства равноудалены друг от друга, при этом ООО «Икар» и ООО «Аргомак» находятся в более гористой местности, у подножия хребта, объединения «Ахтамас» и «Каплемхоз» расположены в более равнинной местности.

Согласно проведенным исследованиям, при использовании ISSR-PCR метода отмечается дифференциация между четырьмя хозяйствами, занимающимися разведением карачаевской породы лошадей, по трем праймерам. Из полученных данных можно сделать вывод, что более консервативными по спектрам ампликонов при использовании праймеров (GA)9C, (AG)9C и (GAG)6C является группа животных из хозяйства «Карпемхоз». Животные из ООО Племярепродуктор «Икар» обладают самым высоким полиморфизмом по всем трем праймерам. Это позволяет предположить, что идет разный вклад в воспроизводство животных производителей, отличающихся по уровню полиморфизма, в зависимости от хозяйства использования производителей.

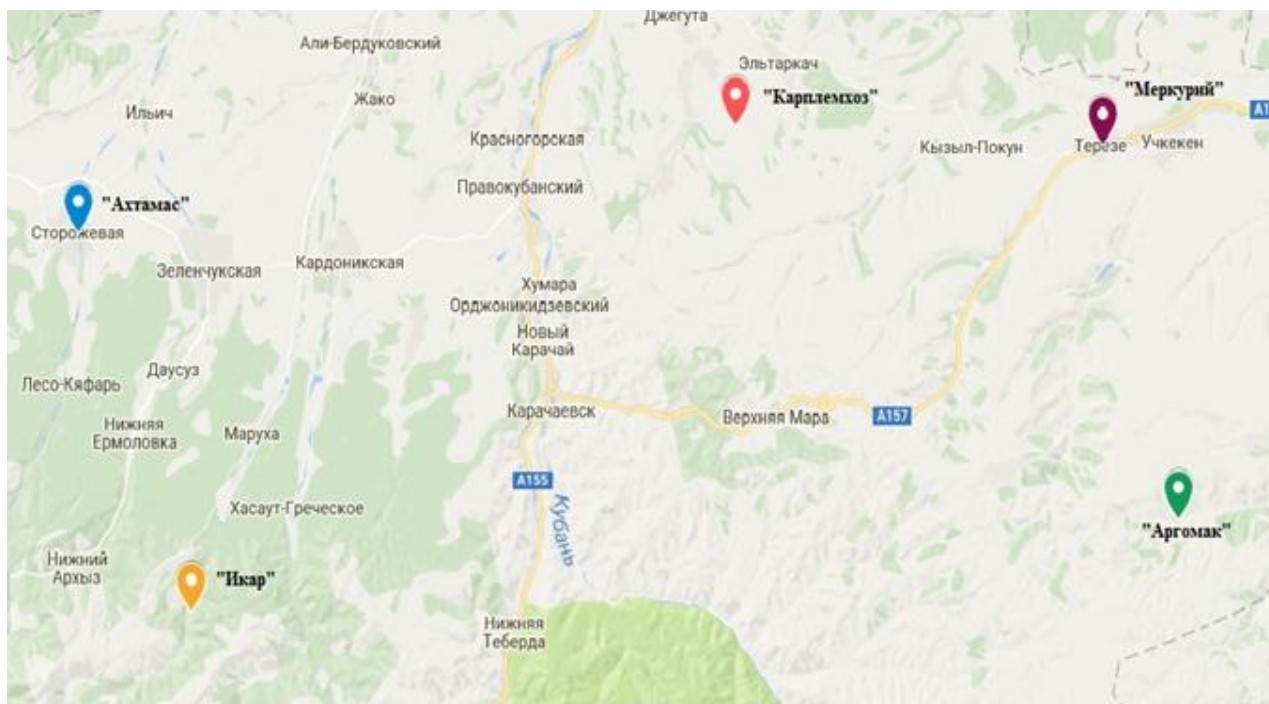


Рис. 6. Географическое положение хозяйств «Ахтамас», «Аргомак», «Икар» и «Карплемхоз»

4. Заключение

На основании генотипирования 39 локусов можно сделать заключение о существенной генетической дифференциации лошадей, воспроизводившихся в разных хозяйствах. Можно ожидать, что относительно повышенный полиморфизм в хозяйствах «Икар» и «Аргомак» обусловлен условиями их разведения в более гористой местности по сравнению с другими хозяйствами. Обращает на себя внимание популяционно-генетические отличия в двух хозяйствах лошадей караковой масти от лошадей гнедой и вороной мастей. По-видимому, носители караковой масти имеют особое происхождение по сравнению с носителями двух других мастей.

Литература

[Бардуков и др., 2014](#) – Бардуков Н.В., А.В. Феофилов, Т.Т. Глазко, В.И. Глазко (2014). ISSR-PCR маркеры и мобильные генетические элементы в геноме домашней лошади *Equus caballus* // *Сельскохозяйственная биология*, № 4, с. 42-57.

[Воронкова и др., 2011](#) – Воронкова В.Н., Цэндсүрэн Цэдэв, Сулимова Г.Е. (2011). Сравнительный анализ информативности ISSR-маркеров для оценки генетического разнообразия пород лошадей // *Генетика*, Т. 47. № 8. С. 1131-1134.

[Глазко и др., 2013](#) – Глазко В.И., Гладырь Е.А., Феофилов А.В., Бардуков Н.В., Глазко Т.Т. (2013). ISSR-PCR маркеры и мобильные генетические элементы в геномах сельскохозяйственных видов млекопитающих // *Сельскохозяйственная биология*, том 2, С. 71-76.

[Захаров, 2012](#) – Захаров В.А. (2012). Использование лошадей кабардинской и карачаевской пород в досуговом коневодстве // *Достижения науки и техники АПК*, № 4.

[Калашников и др., 2011](#) – Калашников В.В., Храброва Л.А., Зайцев А.М. и др. (2011). Полиморфизм микросателлитной ДНК у лошадей заводских и локальных пород // *Сельскохозяйственная биология*, №2, с. 41-45.

[Литвинова, 2011](#) – Литвинова Н.Ю. (2011). Использование кластерного анализа при изучении генетической структуры популяции крупного рогатого скота // *Молочнохозяйственный вестник*, №3, 3 кв.

Ольховская и др., 2011 – Ольховская Л.В., С.В. Криворучко, М.И. Целовальникова (2011). Выявление степени генетического родства карачаевской, тувинской и арабской пород лошадей // *РВЖ СХЖ*, № 1, с. 19.

Парфенов, Политова, 2005 – Парфенов В., Политова М. (2005). Легенда Карачая // *Конный мир*. № 1.

Парфенов, Хотов, 2010 – Парфенов В.А., Хотов В.Х. (2010). Государственная племенная книга лошадей карачайской породы. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Москва, Российский Государственный Аграрный Университет – МГАУ, V.6

Храброва, Блохина, 2012 – Храброва Л.А., Блохина Н.В. (2012). Руководство по использованию микросателлитов ДНК при генотипической оценке лошадей. Дивово, 20 с.

Храброва и др., 2016 – Храброва Л.А., Зайцев А.М., Белоусова Н.Ф., Юрьева И.Б., Басс С.П. (2016). Аборигенные породы лошадей: сохранение и использование генофонда // *Научно практический журнал Farm Animals*, № 3-4, с. 70.

Эркенов, 2015 – Эркенов Т.А. (2015). Генетическая структура и внутривидовая дифференциация карачаевской лошади // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Москва, 2015.

Эркенов и др., 2015 – Эркенов Т.А., М.А. Елькина, Ю.А. Юлдашбаев, В.И. Глазко (2015). Полиморфизм мобильных генетических элементов в геномах домашней лошади // *Известия ТСХА*, вып. 3.

Botstein et al., 1980 – Botstein D., White R.L., Skolnick M., Davis R.W. (1980). Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms // *The American Journal of Human Genetics*, Vol. 32, No 3, pp. 314–331.

FAO, 2015 – The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Recourses for Food and Agriculture Organization of the United Nations / Rome, 2015.

Hendrickson, 2013 – Hendrickson S.L. (2013). A genome wide study of genetic adaptation to high altitude in feral Andean horses of the paramo // *BMC Evol Biol.*, Vol.13, 273. doi: 10.1186/1471-2148-13-273

Ludwig et al., 2009 – Ludwig Arne, Melanie Pruvost, Monika Reissmann, Norbert Benecke, Gudrun A. Brockmann, Pedro Castaños, Michael Cieslak, Sebastian Lippold, Laura Llorente, Anna-Sapfo Malaspinas, Montgomery Slatkin, Michael Hofreiter (2009). Coat Color Variation at the Beginning of Horse Domestication // *Science*, Vol. 324.

Nei, 1972 – Nei M. (1972). Genetic distance between populations, *Amer. Naturalist*, Vol. 106, No. 949, pp. 283–2927.

Pruvost et al., 2011 – Pruvost M., Bellone R., Benecke N., Sandoval-Castellanos E., Cieslak M., Kuznetsova T., Morales-Muniz A., O'Connor T., Reissmann M., Hofreiter M., Ludwig A. (2011). Genotypes of predomestic horses match phenotypes painted in Paleolithic works of cave art // *PNAS*, Vol. 108, No. 46. pp. 18626–18630, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1108982108.

Simonson et al., 2010 – Tatum S. Simonson, Yingzhong Yang, Chad D. Huff, Haixia Yun, Ga Qin, David J. Witherspoon, Zhenzhong Bai, Felipe R. Lorenzo, Jinchuan Xing, Lynn B. Jorde, Josef T. Prchal, RiLi Ge (2010). Genetic Evidence for High-Altitude Adaptation in Tibet, *Science* 329, 72.

Stormont, 1951 – Stormont C. (1951). An example of a recessive blood group in sheep // *Genetics*, Vol. 36, pp. 577–578.

Stormont, 1958 – Stormont C. (1958). On the applications of blood Groups in Animal Breeding // *International Congress of Genetics*, Vol. 1, pp. 20–27.

Stormont, 1967 – Stormont C. (1967). Contribution of Blood typing to dairy science progress // *J. Dairy Sci.*, Vol. 50, p. 253.

Stormont, Morris, 1992 – Stormont C., Morris B.G. (1992). New antibodies in beson blood typing: 23rd Conf. Jnt. Sos. Anim. Genet. Interlaken, 3-7 Aud., 1992 // *Anim. Genet*, 23, No. 1 Suppl, p. 12.

Zietkiewicz et al., 1994 – Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. (1994). Genome fingerprinting by sequence repeat (SSR) anchored polymerase chain reaction amplification // *Genomics*, V. 20, pp. 176–183.

References

- [Bardukov et al., 2014](#) – Bardukov N.V., A.V. Feofilov, T.T. Glazko, V.I. Glazko (2014). ISSR-PCR markers and mobile genetic elements in the genome of a domestic horse *Equus caballus*, *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, No. 4, p. 42-57.
- [Voronkova et al., 2011](#) – Voronkova V.N., Tsendursen Tsedev, Sulimova G.E. (2011). Comparative analysis of the informative value of ISSR markers for assessing the genetic diversity of breeds of horses, *Genetika*, T. 47, No. 8, pp. 1131-1134.
- [Glazko et al., 2013](#) – Glazko VI, Gladyr EA, Feofilov AV, Bardukov NV, Glazko TT (2013). ISSR-PCR markers and mobile genetic elements in genomes of agricultural mammal species, *Agricultural Biology*, Vol. 2, pp. 71-76.
- [Zakharov, 2012](#) – Zakharov V.A. (2012). Use of horses of Kabardian and Karachai breeds in leisure horse breeding, *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, № 4.
- [Kalashnikov et al., 2011](#) – Kalashnikov V.V., Khrabrova L.A., Zaitsev A.M. et al. (2011). Polymorphism of microsatellite DNA in horses of stud and local breeds, *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, No. 2, pp. 41-45.
- [Litvinova, 2011](#) – Litvinova N.Yu. (2011). Use of cluster analysis in the study of the genetic structure of the cattle population, *Molochnoiyskoy vestnik*, No. 3, 3 kv.
- [Olkhovskaya et al., 2011](#) – Olkhovskaya L.V., S.V. Krivoruchko, M.I. Tselovalnikova (2011). Identification of the degree of genetic kinship of Karachay, Tuvan and Arabian breeds of horses, *RVZhSHZH*, No. 1, p. 19.
- [Parfenov, Politova, 2005](#) – Parfenov V., Politova M. (2005). Legend of Karachay, *Equestrian world*. № 1.
- [Parphenov, Khotov, 2010](#) – Parphenov V.A., Khotov V.H. (2010). State Studbook horses of Karachai breed. Ministry of Agriculture of Russian Federation, Moscow, Russian State Agrarian University – MTA, Vol. 6.
- [Khrabrova, Blokhina, 2012](#) – Khrabrova L.A., Blokhina N.V. (2012). Manual on the use of DNA microsatellites in the genotypic assessment of horses. Divovo, p. 20.
- [Khrabrova et al., 2016](#) – Khrabrova LA, A.M. Zaitsev, N.F. Belousova, I.B. Yuryeva, S.P. Bass (2016). Aboriginal breeds of horses: preservation and use of the gene pool, *Scientific practical journal Farm Animals*. № 3-4, p. 70
- [Erkenov, 2015](#) – Erkenov T.A. (2015). Genetic structure and in-breed differentiation of the Karachai horse. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences. Moscow.
- [Erkenov et al., 2015](#) – T.A. Erkenov, M.A. Yel'kina, Yu.A. Yuldashbaev, V.I. Glazko (2015). Polymorphism of mobile genetic elements in the genomes of a domestic horse, *Izvestiya TSKhA*, Vol. 3.
- [Botstein et al., 1980](#) – Botstein D., White R.L., Skolnick M., Davis R.W. (1980). Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms, *The American Journal of Human Genetics*, Vol. 32, No 3, pp. 314-331.
- [FAO, 2015](#) – The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Recourses for Food and Agriculture Organization of the United Nations / Rome, 2015.
- [Hendrickson, 2013](#) – Hendrickson S.L. (2013). A genome wide study of genetic adaptation to high altitude in feral Andean horses of the paramo, *BMC Evol Biol.*, Vol.13, 273. doi: 10.1186/1471-2148-13-273
- [Ludwig et al., 2009](#) – Ludwig Arne, Melanie Pruvost, Monika Reissmann, Norbert Benecke, Gudrun A. Brockmann, Pedro Castaños, Michael Cieslak, Sebastian Lippold, Laura Llorente, Anna-Sapfo Malaspinas, Montgomery Slatkin, Michael Hofreiter (2009). Coat Color Variation at the Beginning of Horse Domestication, *Science*, Vol. 324.
- [Nei, 1972](#) – Nei M. (1972) Genetic distance between populations, *Amer. Naturalist*, Vol. 106, No. 949, pp. 283-2927.
- [Pruvost et al., 2011](#) – Pruvost M., Bellone R., Benecke N., Sandoval-Castellanos E., Cieslak M., Kuznetsova T., Morales-Muniz A., O'Connor T., Reissmann M., Hofreiter M., Ludwig A. (2011). Genotypes of predomestic horses match phenotypes painted in Paleolithic works of cave art. *PNAS*, Vol. 108, No. 46. pp. 18626-18630, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1108982108.
- [Simonson et al., 2010](#) – Tatum S. Simonson, Yingzhong Yang, Chad D. Huff, Haixia Yun, Ga Qin, David J. Witherspoon, Zhenzhong Bai, Felipe R. Lorenzo, Jinchuan Xing, Lynn B. Jorde,

Josef T. Prchal, RiLi Ge (2010). Genetic Evidence for High-Altitude Adaptation in Tibet, *Science* 329, 72.

Stormont, 1951 – Stormont C. (1951). An example of a recessive blood group in sheep, *Genetics*, Vol. 36, pp. 577–578.

Stormont, 1958 – Stormont C. (1958). On the applications of blood Groups in Animal Breeding, *International Congress of Genetics*, Vol. 1, pp. 20–27.

Stormont, 1967 – Stormont C. (1967). Contribution of Blood typing to dairy science progress, *J. Dairy Sei*, Vol. 50, p. 253.

Stormont, Morris, 1992 – Stormont C., Morris B.G. (1992). New antibodies in beson blood tuping: 23ed Conf. Jnt. Sos. Anim. Genet. Interlaken, 3-7 Aud., 1992, *Anim. Genet*, 23, No. 1 Suppl, p. 12.

Zietkiewicz et al., 1994 – Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. (1994). Genome fingerprinting by sequence repeat (SSR) anchored polymerase chain reaction amplification, *Genomics*, V. 20, pp. 176–183.

УДК 539.1.047:575.224

Спектры ISSR-PCR маркеров в оценках внутривидовой генетической дифференциации карачаевской лошади

Татьяна Владимировна Голик ^a, Ирина Игоревна Гапонова ^a, Евгения Александровна Князева ^a, Тимур Алипович Эркенов ^a, Татьяна Теодоровна Глазко ^{a, b, *}

^a РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация

^b Центр экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий, Российская Федерация

Аннотация. Генофонд местных отечественных пород непрерывно сокращается, а, следовательно, происходит уменьшение биоразнообразия животных, обладающих высоким адаптивным потенциалом. Данная проблема требует развития методов, которые способны выявить уникальные особенности таких аборигенных животных и сохранить генетические ресурсы сельскохозяйственных видов млекопитающих. В данной работе выполнен анализ генотипов лошадей карачаевской породы из четырех различных хозяйств («Ахтамас», «Аргомак», «Икар», «Карплемхоз») по 39 локусам с применением методов генотипирования продуктов амплификации фрагментов геномной ДНК лошадей, фланкированных инвертированными повторами участков микросателлитных локусов (AG)₉C, (GA)₉C и (GAG)₆C с использованием полимеразной цепной реакции (Inter-Simple Sequence Repeats – ISSR-PCR маркеры). Был произведен анализ генотипов лошадей разных мастей, полученные результаты показывают, что животные с караковой мастью имеют более уникальную генетическую структуру по сравнению с лошадьми гнедой и вороной мастей и имеют свои особенности по происхождению, отличающие их от других лошадей карачаевской породы. Получены данные, свидетельствующие о достаточно высокой степени консолидированности исследованной группы животных, обнаружено, что в среднем индекс генетической идентичности между животными равен 0,8105. Относительно повышенным полиморфизмом отличались спектры продуктов амплификации у лошадей из ООО Плем-Репродуктора «Икар», а наибольшей консолидированностью обладали животные из хозяйства «Карплемхоз».

Ключевые слова: карачаевская порода лошадей, спектры продуктов амплификации, генетическая дифференциация, ISSR-PCR маркеры, консолидированность.

* Корреспондирующий автор

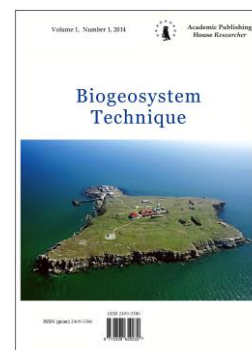
Адреса электронной почты: tglazko@rambler.ru (Т.Т. Глазко)

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 25-38

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.25
www.ejournal19.com



UDC 581.5

Mechanism of Migration Processes of Heavy Metals (Zn, Cu, Pb, Cd) in Agroecosystems by the Example of Cabbage and Fodder Beet (Root Crops)

Tatyana V. Perevolotskaya ^{a, *}, Vyacheslav S. Anisimov ^a, Lidia N. Anisimova ^a

^a Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russian Federation

Abstract

The studies of heavy metals behaviour into the components of “soil – plant” system is an important task of contemporary ecology, focused on scientific substantiation of permissible limits of man impact to natural complexes and agroecosystems, and control and regulation of chemical elements content in plant products. The paper presents an analysis of heavy metals migration in the system “soil – agricultural plants” based on accumulation coefficients of Cu, Zn, Pb, Cd on example of cabbage and fodder beet (root crops). The analysis was performed by statistical methods.

It was detected that distributions of accumulation coefficients of Cu, Zn, Pb, Cd for cabbage and fodder beet (root crops) in most cases do not follow the normal distribution law. It was shown that in the range of considered chemical elements the distributions of accumulation coefficients for cabbage could be presented as descending order: Zn > Cu > Cd > Pb.

It was established that soil type determines 52 % of variations of Cu accumulation in fodder beet (Fisher's ratio test is 9.22 at confidence level of $p=0.0019$). To the greater degree a variation of Zn accumulation in fodder beet could be caused by unsuspected factors (82 %). In this case the influence of soil type has also a higher probability (Fisher's ratio test is 2.0423 at confidence level of $p=0.12$), that highlights the significant effect of soil type on the processes of microelements accumulation by plant organism.

Keywords: heavy metals, accumulation coefficient, soil type, factor, chemical elements.

1. Введение

Из огромного числа разнообразных химических веществ, поступающих из антропогенных источников, обладающих высокой токсичностью и способностью включаться в биологический круговорот особое место занимают тяжелые металлы (ТМ) (Перельман, 1975; Дабахов и др., 2001; Adriano, 2001; Башкин, Касимов, 2004; Kabata-Pendias., 2011). ТМ во многом определяют риски для окружающей среды (Motuzova et al., 2014) конфликт биосферы и агроэкосистем (Glazko V., Glazko T., 2015), здоровье почвы (Глинушкин и др., 2016). Их миграция и перераспределение в компонентах экосистемы зависят как от целого комплекса природных факторов, так и от интенсивности и характера техногенеза (Прохорова, Матвеев, 1996; Sparks, 2005; Anisimov et al., 2015; Анисимов и др., 2016).

Установлено что, попадая на поверхность почвы, ТМ медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии, дефляции (Iimura et al., 1977;

* Corresponding author

E-mail addresses: forest_rad@mail.ru (T.V. Perevolotskaya)

Vazdyrev, 2001; Adriano, 2001). Первый период полуудаления для Zn составляет от 70 до 510 лет, для Cd – от 13 до 1100 лет, для Cu – от 310 до 1500 лет, для Pb – от 740 до 5900 лет (Ильин, Сысо, 2012).

Согласно результатам исследований растения поглощают из окружающей среды в больших или меньших количествах практически все известные химические элементы (Школьник (ред.), 1983; Ильин, 1985; Полевой, 1988; Greger, 1999; Min, 2007; Milner, 2008; Битюцкий, 2011). Но ввиду существования биогеохимических барьеров растения способны противостоять вредному влиянию находящихся в почве ТМ (Перельман, 1975; Цветкова, 1977; Baker, 1981; Baker et al., 2000; Нестерова, 1991; Cobbett, 2000; Cobbett et. al., 2002; Селезнева и др., 2005; Анисимов и др., 2013). Одни исследователи указывают на большую аккумуляцию ТМ в надземных органах (Шиханов, Юлушев, 1984), другие в корнях растений (Ильин, 1973; Diez, Krauss, 1992). Отмечаются различия концентраций ТМ в разных надземных органах (листья, стебли, плод), что объясняется видоспецифичностью метаболизма растений и физико-химическими свойствами самих элементов (Foy et. al., 1978, Godzik, 1991; Barber, 1995; Baldantoni et. al., 2009). Некоторые исследователи указывают на неоднозначную зависимость между доступностью ТМ для растений и их содержанием в разных частях растений (Второва, 1993). В исследованиях авторы широко обсуждают различные методические проблемы количественного изучения содержания ТМ в компонентах экосистем. Миграция и аккумуляция ТМ в почвах и природно-территориальных комплексах связана с комплексообразованием и ассоциацией ионов в почвенных растворах, которая во многом обуславливает эффект биогеохимических барьеров на границе «почва и ризосфера – растение» (Минкина и др., 2012; Ендовицкий и др., 2014; Endovitsky et al., 2014; Batukaev et al., 2016; Endovitsky et al., 2016; Kalinichenko, 2016a; Kalinichenko, 2016b).

Зависимость между содержанием ТМ в почве и их накоплением в растении нелинейная, она существенно варьирует в зависимости от условий эксперимента. Чем лучше в эксперименте или *in situ* условия для обеспечения функции биогеохимического барьера, тем в большей степени растение в состоянии обеспечить достижение генетически определенного ему вещественного состава, тем меньше зависимость вещественного растения от вещественного состава субстрата ризосферы. Наоборот, если возможности живого растения для реализации собственного потенциала формирования биогеохимического барьера на границе «почва и ризосфера – растение» исключены или слабые, то растение попадает в тяжелейшие условия органогенеза – клеточный сок практически полностью наследует вещественный состав почвенного раствора субстрата. Если субстрат загрязнен, то органогенез растения складывается настолько неблагоприятно, что возможны даже изменения в растении на генетическом уровне (Kwasniewska, 2014).

Исследование накопления ТМ в растениях важно для оценки состояния самого растения, а также и для научного обоснования допустимых пределов антропогенного воздействия на природно-территориальные комплексы и их отдельные элементы, а также для практических целей фиторемедиации почв (Прохорова, Матвеев, 1996; Chaney, 1997; Blaylock, 1999).

Разнообразие процессов, влияющих на поведение ТМ, обуславливает особенности статистических характеристик их содержания и распределения в почвах.

Цель исследования – выявить закономерности миграционных процессов ТМ с использованием статистических процедур на примере коэффициентов накопления (КН) Cu, Zn, Pb, Cd для капусты и свеклы кормовой (корнеплоды).

2. Объекты и методы

Анализ миграции ТМ в системе «почва – сельскохозяйственные растения» проводили на основе систематизации накопленных литературных данных (Свидетельство о государственной регистрации..., 2016), представленных КН Cu, Zn, Pb, Cd на примере капусты и свеклы кормовой (корнеплоды) умеренной климатической зоны с применением методов статистического анализа: описательная статистика, индуктивная статистика, дисперсионный анализ (Лакин, 1990).

Допущения, принятые при исследовании миграции ТМ Cu, Pb, Zn, Cd в системе «почва – сельскохозяйственные растения» методами статистического анализа, следующие:

- принятый критический уровень значимости $p=0,05$;
- при анализе рассматривались ТМ (Cu, Zn, Pb, Cd), которые относятся к числу приоритетных как для фонового мониторинга окружающей среды, так и экологических оценок территории;
- КН представляется отношением концентрации элемента в сухой массе растений к валовому (или общему) содержанию ТМ в почве (мг/кг сухого растения)/(мг/кг почвы). В качестве независимого показателя использовались массовые доли валового или общего содержания ТМ (Cu, Pb, Zn, Cd) в почвах;
- полученные результаты статистического анализа данных миграции ТМ в системе «почва – сельскохозяйственные растения» носят оценочный характер.

3. Результаты и их обсуждение

На предварительном этапе статистического анализа выполнена проверка распределения коэффициентов накопления Cu, Pb, Zn, Cd для капусты, произрастающей на дерново-подзолистых (П^Д), дерново-глубокоподзолистых (П^Д₃) почвах, черноземе выщелоченном (Ч^В) и черноземе типичном (Ч^Т) умеренной климатической зоны (Табл. 1).

Таблица 1. Результаты статистической оценки распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd для капусты, произрастающей на исследованных типах почв

Тип почвы	Среднее	Медиана (Me)	Стандартное отклонение	Нижний квартиль	Верхний квартиль	As	Ex
коэффициент накопления Zn							
П ^Д	0,3499	0,1681	0,4198	0,0473	0,6287	1,2073	-0,3895
П ^Д ₃	0,0282	0,0282	0,0171	0,0164	0,0411	0	0
Ч ^В	0,0343	0,0242	0,0203	0,0192	0,0521	0,9874	-0,8927
Ч ^Т	0,3025	0,3076	0,0766	0,2234	0,3765	-0,301	0
коэффициент накопления Cu							
П ^Д	0,0554	0,0280	0,0521	0,0148	0,1018	1,0186	-0,0667
Ч ^Т	0,0854	0,0853	0,0506	0,0469	0,1239	0,0099	-0,7102
коэффициент накопления Pb							
П ^Д	0,0667	0,0667	0,0236	0,0500	0,0833	0	0
П ^Д ₃	0,0047	0,0047	0,0014	0,0035	0,0059	0	0
Ч ^В	0,0064	0,0064	0,0019	0,0039	0,0078	0,4872	-1,0915
коэффициент накопления Cd							
П ^Д	0,0016	0,0016	0,0007	0,0010	0,0021	0	0

Сопоставление значений среднего и медианы свидетельствует об отклонении распределения КН Zn и Cu от нормального для капусты, произрастающей на П^Д почвах, что подтверждается рассчитанным критерием Шапиро-Уилка: Zn – $W=0,729$, $p=0,00162$; Cu – $W=0,819$, $p=0,0156$ (Табл. 1).

Несмотря на то, что по результатам проверки наблюдаются сопоставимые значения средних величин КН Zn и КН Pb по П^Д₃, КН Cu по Ч^Т, КН Pb и КН Cd по П^Д типам почв, гипотезу о распределении КН близкому к нормальному применять не корректно. В данном случае результат можно объяснить малым объемом выборки (от 2 до 4), что определяет принятие ошибки I рода (ошибка первого рода – если на самом деле верной является нулевая гипотеза, а будет принята альтернативная гипотеза $p(H_1/H_0)=\alpha$, ошибка второго рода – если на самом деле верной является альтернативная гипотеза, а будет принята нулевая гипотеза $p(H_0/H_1)=\beta$). В таких случаях, для описания асимметричных распределений, рекомендуется Me (50-й процентиль) и интерквартильный размах (интервал между 25-м и 75-м процентелями распределения). Следует отметить, что самое высокое значение КН цинка (медиана и интерквартильный размах) 0,3076 (от 0,2234 до 0,3765)

наблюдается для капусты, произрастающей на черноземе типичном, а минимальное – на ПДЗ и ЧВ (Табл. 1).

Для того чтобы определить какой объем выборки должен быть использован для получения надежных оценок и какова вероятность того, что статистический тест будет обнаруживать экспериментальные эффекты данной величины проведен анализ мощности статистических критериев и оценка объема выборки. Графический анализ статистической мощности и объема выборки показывает, что мощность достигает уровня 0,8 (обычно минимально допустимый уровень) на выборке, состоящей из 31 наблюдения (Рис. 1).

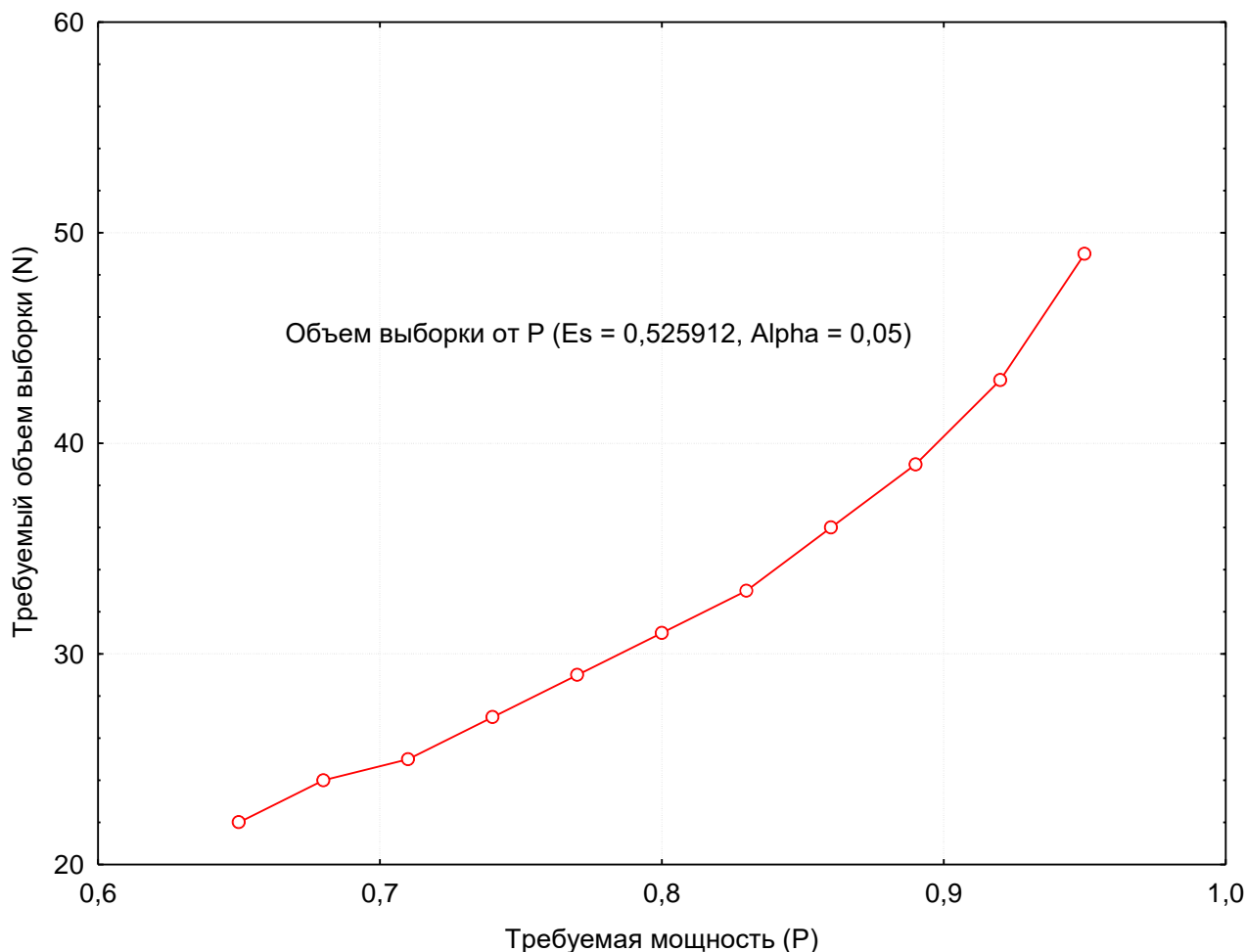


Рис. 1. Взаимосвязь мощности критерия и объема выборки исследуемых химических элементов для капусты

При этом следует отметить, что по мере того, как увеличивается объем выборки, происходит увеличение мощности одностороннего статистического критерия, и тем больше вероятность получения надежных оценок при описании распределения КН элементов.

Оценка степени влияния исследованных типов почв на КН Cu, Pb, Zn для капусты проведена на основе дисперсионного анализа (Табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о незначительной степени влияния исследованных типов почвы на КН Cu, Pb, Zn для капусты ($p > 0,05$), что можно объяснить малым объемом выборок и случайной вариацией признака. При этом следует отметить, что для КН Zn и Pb данный фактор определяет влияние на общую вариацию признака 24 % и 30 %, соответственно (Табл. 2).

Для установления существенности частных различий в распределениях между КН Zn и КН Pb применен критерий Краскела-Уоллиса (Табл. 3).

Таблица 2. Оценка степени влияния исследованных типов почв на КН Cu, Pb, Zn для капусты

Источник дисперсии	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости	Сила влияния фактора, %
коэффициент накопления Zn						
Тип почвы	3	1,3858	0,4619	2,2272	0,1148	24
Ошибка	21	4,3555	0,2074			
Всего	24	5,7413				
коэффициент накопления Cu						
Тип почвы	1	0,0556	0,0556	0,1950	0,6650	1,3
Ошибка	15	4,2830	0,2855			
Всего	16	4,3387				
коэффициент накопления Pb						
Тип почвы	2	1,3936	0,6968	2,2961	0,1511	31
Ошибка	10	3,0346	0,3034			
Всего	12	4,4283				

Анализируя полученные результаты можно указать достоверное различие характеристик КН Zn и КН Pb между исследуемыми типами почв для капусты: критерий Краскела-Уоллиса: $H(3, N=25)=17,765$, $p=0,0005$ и критерий Краскела-Уоллиса: $H(2, N=13)=6,685$, $p=0,035$, соответственно (табл. 3).

Таблица 3. Результаты согласно критерию Краскела-Уоллиса

Тип почвы	Допустимый объем	Сумма Ряды
коэффициент накопления Zn критерий Краскела-Уоллиса: $H(3, N=25)=17,765$, $p=0,0005$		
П ^д	12	209,00
П ^д ₃	2	9,00
Ч ^в	8	46,00
Ч ^т	3	61,00
коэффициент накопления Pb критерий Краскела-Уоллиса: $H(2, N=13)=6,685$, $p=0,0353$		
П ^д	3	36,00
П ^д ₃	2	9,00
Ч ^в	8	46,00

Вероятность различия КН Cu между типами почв также достаточно высока, критерий Вальда-Вольфовица: $Z=1,346$, $p=0,1784$.

В результате проведенного статистического анализа данных миграции ТМ в системе «почва – сельскохозяйственные растения» на примере Cu, Pb, Zn, Cd для капусты произрастающей на П^д, П^д₃, Ч^в и Ч^т выявлено:

– проверка распределения КН Zn Cu и Pb для капусты на П^д почвах свидетельствует об отклонении распределения КН от нормального, критерий Шапиро-Уилка: Zn – $W=0,729$, $p=0,00162$; Cu – $W=0,819$, $p=0,0156$. Сопоставимые значения средних величин (среднее и медиана) распределения КН Zn Cu и Pb П^д₃, Ч^в и Ч^т типам почв не позволяют сделать вывод

о распределении КН элементов близкому к нормальному, что объясняется малым объемом выборки (от 2 до 4);

– результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о незначительной степени влияния исследованных типов почвы на КН Cu, Pb, Zn ($p > 0,05$), что можно объяснить малым объемом выборок, случайной вариацией признака, но также и действием индивидуальных для каждого вида растения, причём зависящих от свойств почвы и условий органогенеза, биогеохимических барьеров. При этом следует отметить, что для КН Zn и Pb данный фактор определяет влияние на общую вариацию признака 24 % и 30 %, соответственно;

– достоверное различие характеристик КН Zn и КН Pb между исследуемыми типами почв для капусты, критерий Краскела-Уоллиса: $H(3, N=25)=17,765$, $p=0,0005$ и критерий Краскела-Уоллиса: $H(2, N=13)=6,685$, $p=0,0353$, соответственно. Вероятность различия КН Cu между типами почв также достаточно высока (критерий Вальда-Вольфовица: $Z=1,346$, $p=0,1784$);

– распределение КН Cu, Pb, Zn, Cd для капусты, в разрезе исследуемых элементов, можно представить в виде убывающего ряда: $Zn > Cu > Cd > Pb$. Наибольшая средняя величина КН цинка (медиана и интерквартильный размах) 0,3076 (от 0,2234 до 0,3765) наблюдается для капусты, произрастающей на Ч^г, а минимальная – на П^д₃ и Ч^в.

На основании предположения о нормальности распределения выполнена проверка распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd для свеклы столовой (корнеплоды), произрастающей на П^д, Ч^в и каштановых (К) почвах (Табл. 4).

Таблица 4. Результаты статистического анализа распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd для свеклы столовой (корнеплоды)

Тип почвы	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Нижний квартиль	Верхний квартиль	As	Ex
коэффициент накопления Zn							
П ^д	1,0744	1,0756	0,4524	0,6830	1,4659	-0,0012	-5,954
К	1,1509	0,9381	0,2341	0,8726	1,2481	0,3501	-1,852
Ч ^в	0,7880	0,7880	0,0877	0,7260	0,8500		
коэффициент накопления Cu							
П ^д	0,4336	0,2873	0,2919	0,2437	0,7697	1,6888	
К	0,2945	0,3419	0,1366	0,1618	0,4087	-0,3089	-1,270
Ч ^в	0,8025	0,8025	0,0530	0,7650	0,8400		
коэффициент накопления Cd							
П ^д	0,8781	0,8772	0,9002	0,0986	1,6577	0,0001	-5,997
коэффициент накопления Pb							
К	0,0009	0,0005	0,0006	0,0004	0,0012	1,3655	0,6601

Согласно анализу результатов проверки на нормальность распределения КН для свеклы (корнеплоды), произрастающей на каштановых почвах, можно констатировать близкое к нормальному распределение КН Zn, критерий Шапиро-Уилка $W=0,7878$, $p=0,0026$, распределение КН Cu не подчиняется закону нормального распределения, что подтверждается критерием Шапиро-Уилка $W=0,9248$, $p=0,2285$. Сопоставимые значения средних величин (среднее и медиана) КН исследуемых элементов для всех остальных почв позволяют выдвинуть предположение о нормальности распределения КН, однако следует указать, что небольшой объем выборок (от 2 до 4), а также количественные характеристики показателей вариации (Табл. 4) определяют принятие ошибки первого рода.

Результаты анализа мощности статистических критериев и оценка объема выборки свидетельствуют, что для получения надежных оценок при статистическом описании распределения КН элементов для свеклы (корнеплоды) достичь мощности одностороннего критерия 0,8 возможно на выборке, состоящей из 32 наблюдений (Рис. 2). Увеличение мощности одностороннего критерия до 0,9 определяет увеличение объема выборки до 42 наблюдения и, тем самым, большую вероятность получения надежных оценок при

статистическом описании распределения КН элементов для свеклы кормовой (корнеплоды). Для дальнейшего анализа КН исследуемых элементов рекомендуют применять медиану (Me) и интерквартильный размах (Табл. 4).

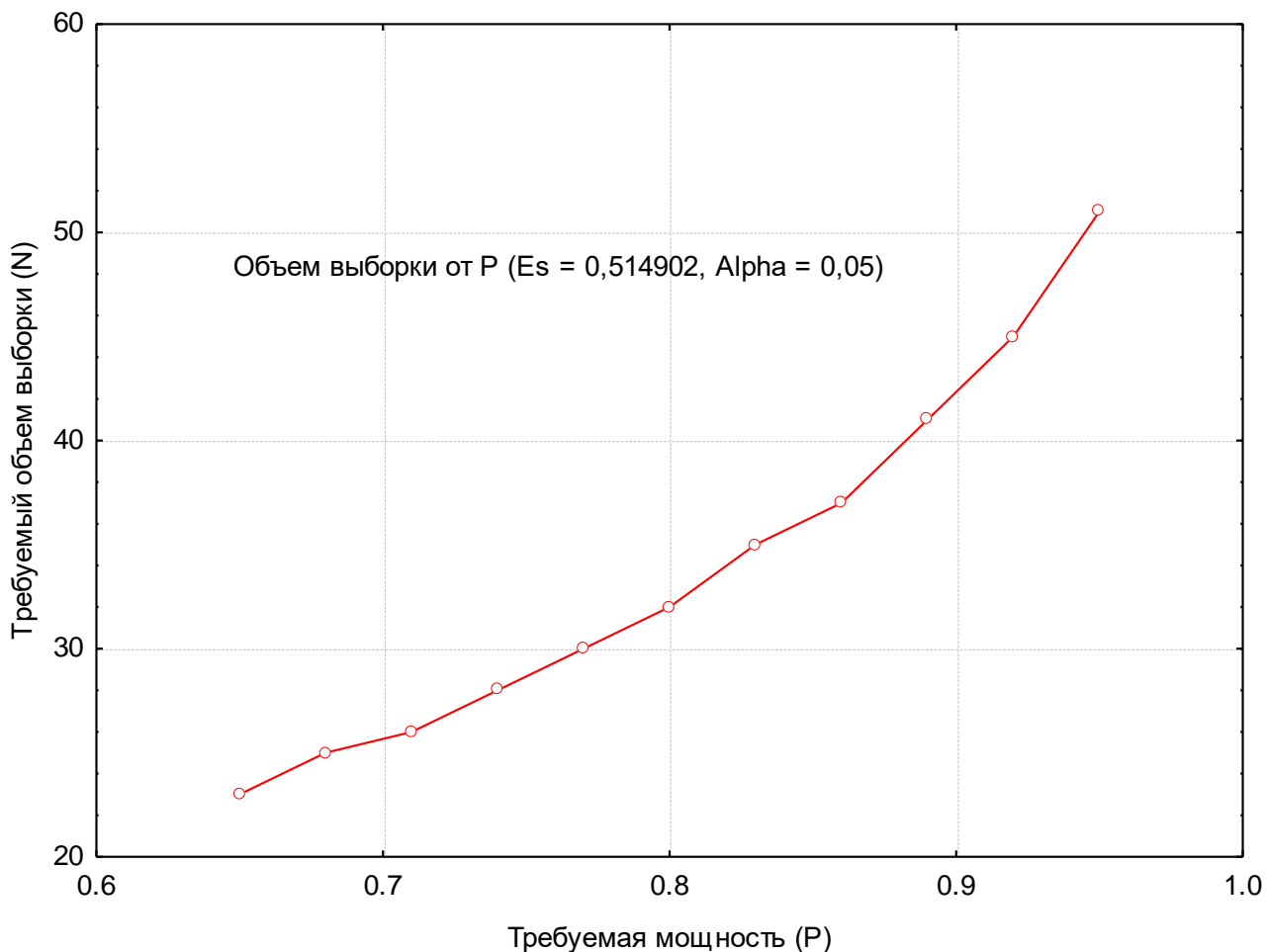


Рис. 2. Взаимосвязь мощности критерия и объема выборки исследуемых химических элементов для свеклы кормовой (корнеплоды)

В целом следует отметить, что КН Zn и КН Cu характеризуются наибольшими значениями средних величин: медиана (интерквартильный размах) для всех исследованных типов почв: КН Zn – от 0,7880 (от 0,7260 до 0,8500) на Ч^В до 0,9381 (от 0,8726 до 1,2481) на К почвах; КН Cu – от 0,2873 (от 0,2437 до 0,7697) на П^Д до 0,8025 (от 0,7650 до 0,8400) на Ч^В. Наименьшие значения средних величин КН Pb наблюдаются при произрастании свеклы на каштановых почвах – 0,0005 (от 0,0004 до 0,0012). Таким образом, значение средних величин КН Zn несколько выше для каштановых почв относительно дерново-подзолистых и чернозема выщелоченного, наибольшее значение КН Cu отмечено для Ч^В, наименьшее – для каштановых почв. Кадмий отличается высокой мобильностью в системе «почва – растение»: среднее значение КН Cd на П^Д для свеклы составляет 0,8772 (от 0,0986 до 1,6577) (Табл. 4).

Результаты оценки степени влияния типа почвы на КН Cu и Zn для свеклы кормовой (корнеплоды) с применением метода дисперсионного анализа представлены в табл. 5. Согласно результатам дисперсионного анализа, такой фактор как тип почвы определяет 52 % вариации КН Cu. Варьирование КН Zn, предположительно, в большей степени может быть обусловлено неучтенными факторами (82 %). При этом следует указать, что влияние типа почвы имеет высокую вероятность (критерий Фишера составляет 2,0423 при уровне значимости $p=0,15$) (Табл. 5).

Таблица 5. Оценка степени влияния исследованных типов почв на КН Cu и Zn

Источник дисперсии	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости	Сила влияния фактора, %
коэффициент накопления Zn						
Тип почвы	2	29,990	14,9952	2,0423	0,15	18
Ошибка	18	132,161	7,3423			
Всего	20	162,152				
коэффициент накопления Cu						
Тип почвы	2	0,4714	0,2357	9,22	0,0019	52
Ошибка	17	0,4344	0,0256			
Всего	19	0,9058				

Результаты анализа данных миграции ТМ Cu, Pb, Zn, Cd в системе «почва – сельскохозяйственные растения» на примере свеклы кормовой (корнеплоды), произрастающей на П^д, Ч^в и каштановых (К) почвах в условиях умеренной климатической зоны позволяют констатировать, что в большинстве вариантов распределение КН Cu, Pb, Zn, Cd не подчиняется закону нормального распределения.

Наибольшими значениями средних величин (медиана и интерквартильный размах) для всех исследованных типов почв характеризуются КН Zn и КН Cu:

– значения средних величин КН Zn для Ч^в фиксируется на уровне 0,7880 (от 0,7260 до 0,8500), а для П^д оно возрастает до 1,0756 (от 0,6830 до 1,4659);

– значения средних величин КН Cu составляют 0,2873 (от 0,2437 до 0,7697) для П^д, а для Ч^в 0,8025 (от 0,7650 до 0,8400).

Тип почвы определяет 52 % вариации КН Cu для свеклы (критерий Фишера составляет 9,22 при уровне значимости $p=0,0019$), это очень высокий показатель, он свидетельствует, что в эксперименте, данные которого взяты в расчёт, биогеохимический барьер на границе «почва и ризосфера – растение» функционировал относительно слабо. Согласно расчёту, варьирование КН Zn в решающей степени обусловлено неучтенными факторами (82 %), но при этом влияние типа почвы имеет статистически значимую вероятность (критерий Фишера составляет 2,0423 при уровне значимости $p=0,15$), в этом случае биогеохимический барьер на границе «почва и ризосфера – растение», функционировал достаточно эффективно, отстраивая влияние ТМ, содержащихся в почве, на растение.

4. Заключение

Анализ миграции тяжёлых металлов в системе «почва – сельскохозяйственные растения» с применением статистических методов позволяет констатировать, что в большинстве своем, распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd для капусты и свеклы кормовой (корнеплоды) не подчиняются закону нормального распределения.

Распределения КН Cu, Pb, Zn, Cd для капусты, в разрезе исследуемых элементов, можно представить в виде убывающего ряда: Zn > Cu > Cd > Pb. Наибольшая средняя величина КН цинка (медиана и интерквартильный размах) 0,3076 (от 0,2234 до 0,3765) наблюдается для капусты, произрастающей на черноземе типичном, а минимальная – на П^{д3} и Ч^в. Такой фактор как тип почвы определяет 24 % вариации КН Zn и 30 % КН Pb для капусты.

Наибольшими значениями средних величин (медиана и интерквартильный размах) для всех исследованных типов почв характеризуются КН Zn и КН Cu для свеклы кормовой (корнеплоды). Среднее значение КН Zn фиксируется на уровне 0,7880 (от 0,7260 до 0,8500) на Ч^в, а на П^д оно возрастает до 1,0756 (от 0,6830 до 1,4659). Среднее значение КН Cu составляет 0,2873 (от 0,2437 до 0,7697) на П^д, а на Ч^в 0,8025 (от 0,7650 до 0,8400). Тип почвы определяет 52 % вариации КН Cu и 18 % КН Zn для свеклы кормовой (корнеплоды).

Результаты проведенного статистического анализа позволяют констатировать, что влияние на процессы накопления микроэлементов растительным организмом оказывает

множество факторов. Можно заключить, что фактор типа почвы является существенным, статистически значимо обуславливая часть изменчивости использованных в расчёте данных.

Применение системного подхода при исследовании миграции Cu, Pb, Zn, Cd в системе «почва – сельскохозяйственные растения» методами статистического анализа позволило на основе систематизации данных и их количественного описания посредством основных статистических показателей, а также сопоставления значимости и характера влияния факторов, выявить закономерности накопления ТМ исследуемыми видами растительности. Полученные результаты могут быть применены для дальнейшей разработки и усовершенствования стратегии статистических исследований, и в процедурах принятия управленческих решений при производстве овощей на различных почвах в условиях загрязнения ТМ.

Литература

Анисимов и др., 2013 – Анисимов В.С., Санжарова Н.И., Анисимова Л.Н., Гераськин С.А., Дикарев Д.В., Фригидова Л.М., Фригидов Р.А., Белова Н.В. (2013). Оценка миграционной способности и фитотоксичности Zn в системе почва-растение // *Агрехимия*, № 1, С. 64–74.

Анисимов и др., 2016 – Анисимов В. С., Кочетков И. В., Дикарев Д. В., Анисимова Л.Н., Корнеев Ю. Н., Фригидова Л. М. (2016). Влияние физико-химических характеристик почв на биологическую доступность природного и радиоактивного цинка // *Почвоведение*, № 8, С. 942–954.

Баздырев и др., 2004 – Баздырев Г.И., Пронина Н.Б., Родригес Д.Р. Тяжелые металлы в системе почва–растение на склоновых землях // *Известия ТСХА*. 2001. Вып. 2. С. 81–104.

Башкин, 2004 – Башкин В.Н., Касимов Н.С. (2004). Биогеохимия. М.: Научный мир, 648 с.

Битюцкий, 2011 – Битюцкий Н.П. (2011). Микроэлементы высших растений. СПб.: Изд-во С.-Петербург. гос. ун-та, 368 с.

Второва, 1993 – Второва В.Н. (1993). Изменчивость элементного состава у представителей родов *Populus*, *Lycium* и *Tamarix* на засоленных почвах // *Ботанический журнал*, Т. 78, С. 17–33.

Глинушкин и др., 2016 – Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю. (2016). Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. М.: «Издательство Агрорус», 288 с.

Дабахов и др., 2001 – Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. (2001).. Экотоксикология тяжелых металлов. Н. Новгород: НГСХА, 135 с.

Ендовицкий и др., 2014 – Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Минкина Т.М. Состояние свинца и кадмия в черноземе после внесения фосфогипса // *Почвоведение*, 2014, № 3, С. 340–350, doi:10.7868/S0032180X14030058

Ильин, 1973 – Ильин В.Б. (1973). Биохимия и агрохимия микроэлементов в южной части Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 389 с.

Ильин, 1985 – Ильин В.Б. (1985). Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 129 с.

Ильин, Сысо, 2012 – Ильин В.Б., Сысо А.И. (2012). Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 220 с.

Лакин, 1990 – Лакин Г.Ф. (1990). Биометрия. М.: Высш. шк., 352 с.

Минкина и др., 2012 – Минкина Т.М., Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Федоров Ю.А. (2012). Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 376 с.

Нестерова, 1991 – Нестерова А.Н. (1991). Изменение организации меристемы главных корней проростков кукурузы при действии некоторых тяжелых металлов // *Владивосток: Современные проблемы экологии и анатомии растений: Материалы 2 Всесоюзного совещ.* 10 – 16 сент. 1990, С. 109–111.

Перельман, 1975 – Перельман А.И. (1975). Геохимия ландшафтов. М: Выс. Шк., 342 с.

Полевой, 1988 – Полевой В.В. (1989). Физиология растений. М.: Высшая школа, 464 с.

Прохорова, Матвеев, 1996 – Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. (1996). Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза // *Вестник СамГУ*, № 3. С. 125–148.

Свидетельство о государственной регистрации..., 2016 – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016621301, 22 сентября 2016 г. «Систематизация результатов исследований по миграции тяжелых металлов ТМ в системе почва – сельскохозяйственные растения».

Селезнева и др., 2005 – Селезнева Е.М., Анисимов В.С., Гончарова Л.И., Анисимова Л.Н., Белова Н.В. (2005). Влияние свинца и ультрафиолетового излучения на продуктивность растений и накопление металла в зерне ярового ячменя // *Агрехимия*, № 5, С. 82–86.

Цветкова, 1977 – Цветкова Н.Н. (1977). Микроэлементы в жизни степного леса, Днепропетровск: Вопросы степного лесоведения и охраны природы, С. 50–54.

Шиханов, Юлушев, 1984 – Н.С. Шиханов, И.Г. Юлушев (1984). О фоновом содержании некоторых микроэлементов в растениях на территории Кировской области. Пермь: Рациональное использование и охрана лугов Урала, С. 127–131.

Школьник (ред.), 1983 – Растения в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования. Под ред. М.Я. Школьника и Н.В. Алексеевой-Поповой. Л.: Наука, 1983. С. 140–148.

Anisimov et al., 2015 – Anisimov V.S., Kochetkov I.V., Dikarev D.V., Anisimova L.N., Korneev Y.N. (2015) Effects of physical-chemical properties of soils on ⁶⁰Co and ⁶⁵Zn bioavailability // *J. Soils Sediments*, Vol. 15, Is. 11, pp. 2232-2243 doi 10.1007/s11368-015-1153-z.

Adriano, 2001 – Adriano D.C. (2001). Trace elements in terrestrial environments. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.

Baker, 1981 – Baker A.J.M (1981). Accumulators and excluders – Strategies in the response of plants to heavy metals // *Plant Nutrition*, Vol. 3, pp. 643-654.

Baker et al., 2000 – Baker A.J.M., McGrath S.P., Reeves R.D., Smith J.A.C. (2000). Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metalpolluted soils. In: Terry N, Banuelos G (eds) *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Lewis Publication, Boca Raton.

Baldantoni, 2009 – Baldantoni D, Ligrone R, Alfani A (2009). Macro- and trace-element concentrations in leaves and roots of *Phragmites australis* in a volcanic lake in Southern Italy // *J Geochem Explor* 101:166–174.

Barber, 1995 – Barber S.A. (1995) Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach (second edition). John Wiley & Sons, New York.

Batukaev et al., 2016 – Batukaev Abdulmalik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7, Issue 2, 415-423, doi: 10.5194/se-7-415-2016

Blaylock, 1999 – Blaylock M.J., Haung J.W. (1999). Phytoextraction of metals. In: Raskin I, Ensley BD (eds) *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. Wiley, New York.

Chaney, 1997 – Chaney RL, Malik M, Li YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, Baker AJM (1997). Phytoremediation of soil metals. *Curr Opin Biotechnol* 8:279–284.

Cobbett, 2000 – Cobbett C. (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification // *Plant Physiol* 123:825–832.

Cobbett et al., 2002 – Cobbett C., Goldsbrough P. (2002). Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis // *Annu Rev Plant Biol* 53:159–182.

Diez, Krauss, 1992 – Diez Th., Krauss M (1992). Schwermetallgehalte und Schwermetallanreicherung in landwirtschaftlich genutzten B (den Bayerns) // *Bayer. Land. wirt. Jahrb*, B. 69.3 pp. 343-355.

Endovitsky et al., 2014 – Endovitsky A.P., Minkina T.M. Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Sushkova S.N. (2014). The association of ions in the soil solution of saline soils // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 9 (2): 238-244, 2014, doi: 10.3844/ajabssp.2014.238.244

Endovitsky et al., 2016 – Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A.

Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*, Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

Foy et al., 1978 – Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. (1978). The physiology of metal toxicity in plants // *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, Vol. 294, pp. 511-566.

Glazko V., Glazko T., 2015 – Glazko Valery I., Glazko Tatiana T. (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (1), Is. 1, pp. 4–16, doi: 10.13187/ijep.2015.1.4

Godzik, 1991 – Godzik B. (1991). Accumulation of heavy metals in *Biscutella laevigata* (Cruciferae) as a function of their concentration in substrate // *Pol. Bot. Stud.*, Vol. 2, pp. 241–246.

Greger, 1999 – Greger, M. (1999). Metal availability and bioconcentration in plants, in *Heavy Metal Stress in Plants*, Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J., eds., Springer, Heidelberg,

Iimura et al., 1977 – Iimura R., Ito H., Chino M. (1977). Behaviour of contaminant heavy metals in soil-plant system // Tokyo: Proc. Inst. Sem. SEFMIA, P. 357-364.

Kabata-Pendias, 2011 – Kabata-Pendias A. (2011). Trace elements in soils and plants. London: CRC Press, 505 p.

Kalinichenko, 2016a – Kalinichenko Valery P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

Kalinichenko, 2016b – Kalinichenko Valery P. (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

Kwasniewska, 2014 – Kwasniewska J (2014) Molecular Cytogenetics Serves Environmental Monitoring // Published in abstract book of 3rd ScienceOne International Conference on Environmental Sciences, Page No. 25. Proceeding <http://thescienceone.com/ices/proceedingsices2014.php> 4/16

Min, 2007 – Min Y., Boging T., Meizhen Y., Aoyana I. (2007). Accumulation of manganese in a hyperaccumulator. *Phytolacca Americana* // *Minerals Eng.* 20:188–190.

Milner, 2008 – Milner M.J., Kochian L.V. (2008). Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system // *Ann. Bot.* 102:3–13.

Motuzova et al., 2014 – Motuzova, G. V., Minkina, T. M., Karpova, E. A., Barsova, N. U. & Mandzhieva, S. S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 241-246, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>

Sparks, 2005 – Sparks D.L. (2005) Toxic metals in the environment: the role of surfaces // *Elements* 1:193–197.

References

Anisimov et al., 2013 – Anisimov V.S., Sanzharova N.I., Anisimova L.N., Geraskin S.A., Dikarev D.V., Frigidova L.M., Frigidov R.A., Belova N.V. (2013). Assessment of the migratory ability and phytotoxicity of Zn in the soil-plant system, *Agrochemistry*, No. 1, pp. 64-74.

Anisimov et al., 2016 – Anisimov VS, Kochetkov IV, Dikarev DV, Anisimova LN, Korneev Yu. N., Frigidova LM (2016). Influence of physical and chemical characteristics of soils on the biological availability of natural and radioactive zinc, *Pochvovedenie*, № 8, pp. 942-954.

Bazdyrev, 2001 – Bazdyrev G.I., Pronina N.B., Rodrigues D.R. (2001). Heavy metals in the soil-plant system on slope lands, *Izvestia TSHA*, Issue 2: 81-104.

Bashkin, 2004 – Bashkin VN, Kasimov NS (2004). Biogeochemistry. M.: The scientific world, 648 p.

Bitjuckij, 2011 – Bitjuckij N.P. (2011). Mikrojelementy vysshih rastenij. S-Pb.: Izd-vo S.Peterb. gos. un-ta, 368 p.

Vtorova, 1993 – Vtorova V.N. (1993). Variability of elemental composition in representatives of the genera *Populus*, *Lycium* and *Tamarix* on saline soils, *Botanical Journal*, T. 78, C.17-33.

Glinushkin et al., 2016 – Glinushkin AP, Sokolov MS, Toropova EY (2016). Phytosanitary and hygienic requirements for healthy soil. M.: "Agrorus Publisher", 288 p.

- Dabakhov et al., 2001 – Dabakhov MV, Dabahova EV, Titova VI (2001). Ecotoxicology of Heavy Metals. N. Novgorod: NGSAA, 135 pp.
- Endovitsky et al., 2014 – Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Minkina T.M. (2014). State of lead and cadmium in chernozem after making phosphogypsum, *Pochvovedenie*, 3, 340-350, doi:10.7868/S0032180X14030058. (in Russian)
- Ilyin, 1973 – Ilyin V.B. (1973). Biochemistry and agrochemistry of microelements in the southern part of Western Siberia. Novosibirsk: Science, 389 p.
- Ilyin, 1985 – Ilyin V.B. (1985). Elementary chemical composition of plants. Novosibirsk: Science, 129 p.
- Ilyin, Syso, 2012 – Ilyin VB, Syso AI (2012). Heavy Metals and Non-Metals in the Soil-Plant System. Novosibirsk: Izd. SB RAS, 220 p.
- Lakin, 1990 – Lakin G.F. (1990). Biometrics. M: High. Shk., 352 c.
- Minkina et al., 2012 – Minkina T.M., Endovitskii A.P., Kalinichenko V.P. Fedorov Y.A. (2012). Calcium carbonate equilibrium in the system water-soil. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing, 376 p.
- Nesterova, 1991 – Nesterova A.N. (1991). Changes in the organization of the meristem of the main roots of corn seedlings under the action of some heavy metals. Vladivostok: Modern problems of ecology and plant anatomy: Materials of the 2 All-Union. Sovshch. 10-16 Sept. 1990, pp. 109-111.
- Perelman, 1975 – Perelman AI (1975). Geochemistry of landscapes. M: High. Shk., 342 p.
- Polevoy, 1988 – Polevoy V.V. (1989) Plant physiology. Moscow: Higher School, 464 p.
- Prokhorova, Matveev, 1996 – Prokhorova N.V., Matveev N.M. (1996). Heavy metals in soils and plants in conditions of technogenesis, *Bulletin of Samgoru State University*, No. 3, pp. 125–148.
- Certificate of state registration..., 2016 – Certificate of state registration of the database No. 2016621301, September 22, 2016 «Systematization of research results on the migration of heavy metals in the soil system – agricultural plants».
- Selezneva et al., 2005 – Selezneva E.M., Anisimov V.S., Goncharova L.I., Anisimova L.N., Belova N.V. (2005). The influence of lead and ultraviolet radiation on the productivity of plants and the accumulation of metal in the grain of spring barley, *Agrochemistry*, No 5, pp. 82-86.
- Tsvetkova, 1977 – Tsvetkova N.N. (1977). Trace Elements in the Steppe Forest. Dnipropetrovsk: Questions of Steppe Forest Science and Conservation, pp. 50-54.
- Shikhanov, Yulushev, 1984 – N.Shikhanov, I.G. Yulushev (1984). On the background content of some microelements in the plant in the Kirov region. Perm: Rational use and protection of the meadows of the Urals, pp. 127–131.
- Shkolnik (Ed.), 1983 – Plants in extreme conditions of mineral nutrition: Ecological and physiological studies. Ed. M.Ya. Shkolnik and N.V. Alekseeva-Popova. L.: Science, 1983. pp. 140-148.
- Anisimov et al., 2015 – Anisimov V.S., Kochetkov I.V., Dikarev D.V., Anisimova L.N., Korneev Y.N. (2015) Effects of physical-chemical properties of soils on ⁶⁰Co and ⁶⁵Zn bioavailability, *J. Soils Sediments*, Vol. 15, Is. 11, pp. 2232-2243, doi: 10.1007/s11368-015-1153-z.
- Adriano, 2001 – Adriano D.C. (2001). Trace elements in terrestrial environments. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- Baker, 1981 – Baker A.J.M (1981). Accumulators and excluders – Strategies in the response of plants to heavy metals, *Plant Nutrition*, Vol. 3. pp. 643-654.
- Baker et al., 2000 – Baker A.J.M., Mcgrath S.P., Reeves R.D., Smith J.A.C. (2000). Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metalpolluted soils. In: Terry N, Banuelos G (eds) *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Lewis Publication, Boca Raton.
- Baldantoni, 2009 – Baldantoni D, Ligrone R, Alfani A (2009). Macro- and trace-element concentrations in leaves and roots of *Phragmites australis* in a volcanic lake in Southern Italy, *J Geochem Explor* 101: 166–174.
- Barber, 1995 – Barber S.A. (1995). Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach (second edition). John Wiley & Sons, New York.
- Batukaev et al., 2016 – Batukaev Abdulmalik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 7, Issue, 2, 415-423, doi: 10.5194/se-7-415-2016

Blaylock, 1999 – *Blaylock M.J., Haung J.W.* (1999). Phytoextraction of metals. In: Raskin I, Ensley BD (eds) *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. Wiley, New York.

Chaney, 1997 – *Chaney RL, Malik M, Li YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, Baker AJM* (1997). Phytoremediation of soil metals, *Curr Opin Biotechnol* 8:279–284.

Cobbett, 2000 – *Cobbett C.* (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification, *Plant Physiol* 123:825–832.

Cobbett et al., 2002 – *Cobbett C., Goldsbrough P.* (2002). Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis, *Annu Rev Plant Biol* 53: 159–182.

Diez, Krauss, 1992 – *Diez Th., Krauss M* (1992). Schwermetallgehalte und Schwermetallanreicherung in landwirtschaftlich genutzten B (den Bayerns), *Bayer. Land. wirt. Jahrb*, B.69.3 pp. 343-355.

Endovitsky et al., 2014 – *Endovitsky A.P., Minkina T.M. Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Sushkova S.N.* (2014). The association of ions in the soil solution of saline soils, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 9 (2): 238-244, 2014. doi: 10.3844/ajabssp.2014.238.244

Endovitsky et al., 2016 – *Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov* (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem, *Journal of Geochemical Exploration*, Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

Foy et al., 1978 – *Foy C.D., Chaney R.L., White M.C.* (1978). The physiology of metal toxicity in plants, *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, Vol. 29, pp. 511–566.

Glazko V., Glazko T., 2015 – *Glazko Valery I., Glazko Tatiana T.* (2015). Conflicts of Biosphere and Agroecosystems, *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (1), Is. 1, pp. 4–16. doi: 10.13187/ijep.2015.1.4

Godzik, 1991 – *Godzik B.* (1991). Accumulation of heavy metals in *Biscutella laevigata* (Cruciferae) as a function of their concentration in substrate, *Pol. Bot. Stud.*, Vol. 2, pp. 241–246.

Greger, 1999 – *Greger, M.* (1999). Metal availability and bioconcentration in plants, in *Heavy Metal Stress in Plants*, *Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J.*, eds., Springer, Heidelberg,

Iimura et al., 1977 – *Iimura R., Ito H., Chino M.* (1977). Behaviour of contaminant heavy metals in soil-plant system, Tokyo: Proc. Inst. Sem. SEFMIA, pp. 357–364.

Kabata-Pendias, 2011 – *Kabata-Pendias A.* (2011). Trace elements in soils and plants. London: CRC Press, 505 p.

Kalinichenko, 2016a – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

Kalinichenko, 2016b – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

Kwasniewska, 2014 – *Kwasniewska J* (2014) Molecular Cytogenetics Serves Environmental Monitoring // Published in abstract book of 3rd ScienceOne International Conference on Environmental Sciences, Page No. 25. Proceeding <http://thescienceone.com/ices/proceedingsices2014.php> 4/16

Min, 2007 – *Min Y., Boging T., Meizhen Y., Aoyana I.* (2007). Accumulation of manganese in a hyperaccumulator. *Phytolacca Americana, Minerals Eng.* 20:188–190.

Milner, 2008 – *Milner M.J., Kochian L.V.* (2008). Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system, *Ann. Bot.* 102:3–13.

Motuzova et al., 2014 – *Motuzova, G. V., Minkina, T. M., Karpova, E. A., Barsova, N. U. & Mandzhieva, S. S.* (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment, *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 241-246, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>

Sparks, 2005 – Sparks D.L. (2005) Toxic metals in the environment: the role of surfaces, *Elements* 1:193–197.

УДК 581.5

Закономерности миграционных процессов тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) в агроэкосистемах на примере капусты и свеклы кормовой (корнеплоды)

Татьяна Витальевна Переволоцкая ^{a, *}, Вячеслав Сергеевич Анисимов ^a,
Лидия Николаевна Анисимова ^a

^a Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Российская Федерация

Аннотация. Изучение закономерностей поведения тяжелых металлов в компонентах «почва – растение» является важнейшей задачей современной экологии, направленное на научное обоснование допустимых пределов антропогенного воздействия на природные комплексы и агроэкосистемы, контроль содержания химических элементов в растительной продукции и его регулирование. В работе проведен анализ миграции тяжёлых металлов в системе «почва – сельскохозяйственные растения» на основе литературных данных, представленных коэффициентами накопления Cu, Zn, Pb, Cd на примере капусты и свеклы кормовой (корнеплоды) с применением методов статистического анализа. Выявлено, что распределения коэффициентов накопления Cu, Pb, Zn, Cd для капусты и свеклы кормовой (корнеплоды) в большинстве своем, не подчиняются закону нормального распределения. Показано, что в разрезе исследуемых элементов распределения коэффициентов накопления для капусты можно представить в виде убывающего ряда: Zn > Cu > Cd > Pb. Установлено, что тип почвы определяет 52 % вариации накопления Cu для свеклы кормовой (критерий Фишера составляет 9,22 при уровне значимости $p=0,0019$). В большей степени варьирование накопления Zn для свеклы кормовой может быть обусловлено неучтенными факторами (82 %), при этом влияние типа почвы имеет также высокую вероятность (критерий Фишера составляет 2,0423 при уровне значимости $p=0,15$), что указывает на существенное влияние типа почвы на процессы накопления микроэлементов растительным организмом.

Ключевые слова: тяжелые металлы, коэффициент накопления, тип почвы, фактор, элементы.

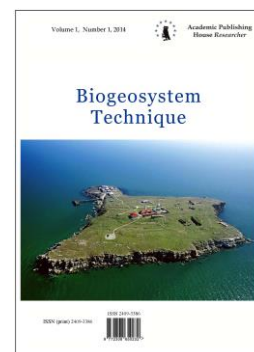
* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: forest_rad@mail.ru (Т.В. Переволоцкая)

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 39-65

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.39
www.ejournal19.com



UDC 631.67:574.42

Method of Intra-Soil Pulse Continuous-Discrete Moistening (Model Experiment)

Artyom E. Rykhlik ^{a,*}, Olga S. Bezuglova ^b

^a Institute of Soil Fertility in the South Russia, Russian Federation

^b Southern Federal University, Russian Federation

Abstract

The conventional imitational frontal gravitational continual-isotropic irrigation and drainage paradigm leads to negative results – destruction of soils and natural-territorial complexes, loss of fresh water. An experimental substantiation was fulfilled of the new intra-soil pulse continually-discrete irrigation paradigm, proposed in the framework of the scientific-technical direction "Biogeosystem Technique". The base element of model system was a plastic transparent cylinder of 20 cm in height and diameter of 5 cm, in which the soil was placed. The soil – a bulk sample of chernozem from the 0–30 cm soil layer, grated and compacted close to the natural density. An intra-soil pulse continual-discrete moistening of the soil was simulated with a 20 ml medical syringe, equipped with 12 cm medical spinal needle. The experiment was conducted with culture of spring barley at the initial stage of its organogenesis under natural insolation. Surface irrigation, sprinkling, drip irrigation, and a new intra-soil pulsed continual-discrete method of soil moistening were performed. After surface irrigation, sprinkling and drip irrigation the water percolation through soil was observed in an amount of 30–50 % of supply, general subsidence of the soil surface was observed, and then crusts formed on it. At drip irrigation, subsidence of the surface and the formation of the crust appeared locally under the dropper. At intra-soil pulse continually-discrete moistening, the soil in the base cylinder was discreetly moistened in the cylinder of 5-15 cm of depth and diameter of 2 cm, the soil surface till experiment remained the same to initial moment of experiment, the crust was not formed. In model system, the barley plants under new moistening method were better developed, and water consumption was 1.5–2.5 times lower than with standard methods of plants watering. The model experiment was performed in a focus of the soil intra-soil pulse continually-discrete moistening process robotics capabilities.

Keywords: modeling, surface irrigation, sprinkling, drip irrigation, crust formation, Biogeosystem Technique, intra-soil pulse continually-discrete soil moistening, barley, organogenesis.

1. Введение

Применение стандартных приемов ирригации как способов достижения диссипации воды в почве, включая капельный, внутрипочвенный полив, довольно быстро приводит к длительным неблагоприятным изменениям в почвах и ландшафтах (Назарова, Курвантаев, 2016). После прекращения орошения его отрицательные результаты сохраняются в течение

* Corresponding author

E-mail addresses: tyoma-4444@yandex.ru (A.E. Rykhlik)

десятилетий в богарной и дождевой агротехнике (Калиниченко и др., 2013).

Современные способы полива, имитируя естественное увлажнение почвы, дают нисходящий неуправляемый режим промачивания почвы. Это вызывает выщелачивание содержащихся в ней веществ. Происходит гравитационное водное переуплотнение почвы. В результате того, что почва избыточно увлажнена, происходит водная флотация ее агрегатов и гранулометрических элементов, и их переупаковка. Затем следует этап высушивания и формируется более плотная упаковка механических элементов, чем исходная, почва становится плотной и твердой. Динамика усадочных напряжений в цикле «увлажнение – высушивание» неблагоприятна с точки зрения формирования агрофизических свойств почвы (Минкин и др., 1980; Минкин и др., 1982). Природа почвообразующей породы орошаемых почв чаще всего эоловая или кольматационная. Переувлажнение губительно влияет на структуру такой легко подверженной разрушающему действию воды почвы, проявляется супердисперсное состояние тонкодисперсной фазы почвы (Топунова и др., 2010), развивается слитизация почв (Белицина и др., 1988; Чижикова, 1995; Безуглова, 2001; Приходько, 2003), и резко ухудшаются условия развития ризосферы растений и организмов (Rasmussen et al., 1972). Разрушение почвы, синтез в ней новых минералов наблюдают вплоть до уровня минералогической композиции (Barrй et al., 2009). При современной ирригации расход воды превышает расчетную потребность в 4–15 раз (Ильинская, Шкодина, 2009; Ochoa et al., 2014), что абсолютно неприемлемо с точки зрения сохранения экосферы и экономических результатов природопользования.

Общепринятая в мире имитационная фронтальная гравитационная континуально-изотропная парадигма ирригации и дренажа на протяжении тысячелетий не претерпевает изменений. Она отличается совмещением фазы увлажнения и фазы распределения воды в почве – техническими средствами имитируют природные фронтальные гидрологические, русловые, гидрологические явления поступления и режима воды в биосфере. Стандартная ирригация обуславливает деградацию почв, разрушение природно-территориальных комплексов (Бронфман, Хлебников, 1985). Тем не менее, тиражирование устаревших технологий ирригации продолжается (Ростов-на-Дону, 2017).

Преодолеть последствия применения устаревшей парадигмы ирригации позволяют методы биогеосистемотехники (Калиниченко, 2012; Kalinitchenko et al., 2016).

1.1. Достигнутый уровень и оценка перспектив ирригации

Роль ирригации в обеспечении устойчивого производства продовольствия непреходяща (Tyagi, 2017). Ввиду современной неопределенности водного режима Земли, уменьшения доступности воды как ресурса, важна оптимизация режима орошения (Anvari et al., 2017).

Констатируют наличие у растений ирригационного стресса различного уровня в зависимости от режима орошения (Shadman et al., 2017), но что надо делать с почвой, растением и водой, чтобы избежать стресса – не указано.

Показан дефицит воды и энергии для аграрной деятельности, и авторы задаются резонным вопросом – может ли модернизация ирригации быть ответом на вызов современности (Ahmad, Khan, 2017). Но, предлагая ответ, лишь констатируют имеющееся, по их мнению, преимущество дождевания перед поверхностным поливом.

В настоящее время заявлена высокая роль международной программы по ирригации и дренажу в преодолении неопределенности производства продовольствия (Role of International..., 2017). Но при этом, не указывают, на какой технологической платформе видится перспектива развития. Рассматривают роль рынка, поведение фермеров в преодолении ограниченности водных ресурсов (Du et al., 2017). Уделяют внимание только выбору режима орошения в сфере ранее известных способов полива, и развитию рынка с точки зрения стандартных экономических воззрений. В то же время техника подачи воды внутрь почвы без ущерба почве, окружающей среде, комфортное снабжение растений водой, экономия воды за счёт возможностей принципиально нового подхода к управляемому режиму её диссипации внутри почвы (Batukaev et al., 2016b) пока не являются предметом широкого интереса.

Ошибочными, хотя на первый взгляд, привлекательными, выглядят предложения экономить воду, уменьшая её подачу растениям в завершающей стадии органогенеза, не меняя способа полива (Banihabib, 2017). В результате имеет место не столько экономия воды, сколько

обращение органогенеза растений в зону стресса. Это ввиду непреодолимости в традиционной парадигме ирригации режима фронтального просачивания воды – вода, будучи поданной в малом количестве, оказывается размещенной в верхнем слое почвы. Потому в большой степени она расходуется не на транспирацию, а на физическое испарение, причём в более глубоких слоях почвы имеет место диапазон низкой влажности, ограничивающий развитие корневой системы и успех органогенеза в виде биологической продукции.

Несовершенство техники полива приводит к постановке задач, противоречащих природе увлажнения почвы. Пример тому – повторное использование дренажной воды (Wahba, 2017). Если иметь в виду строгую постановку задачи увлажнения почвы, то избыточная вода, стекающая из почвенного профиля в процессе и после завершения полива, к собственно обсуждаемому явлению создания почвенного раствора для питания растений не имеет отношения. Появление такой воды – всего лишь результат неверного решения задачи диссипации воды внутри почвы, продукт неверного учета свойств этой дисперсной системы при попытке управлять системой. Следовательно, надо не утилизировать теряемую из почвы воду, а преодолевать предпосылки этого явления, используя принципиально новые технические решения.

Показано, что полив дождеванием обуславливает неравномерность промачивания почв (Jangra et al., 2017). Проблему соответствия интенсивности искусственного дождя и скорости инфильтрации почвы решают известным путем увеличения скорости перемещения дождевального устройства и уменьшения интенсивности дождя (Zhu et al., 2017). Но на почвах относительно тяжелого гранулометрического состава, склонных к стадии супердисперсности при увлажнении (Топунова и др., 2010), предлагаемый подход ведёт к удорожанию полива, причём это всё равно не снимает проблему ирригационной деградации почвы.

Показано, что после полива дождеванием даже при малой поливной норме 300 м³/га, имеет место значительная дифференциация влажности почвы (Балакай и др., 2017). Это установлено как по данным визуального обследования процесса локального поверхностного стока в процессе полива и непосредственно по его завершении, так и на основе определения содержания влаги в почве после полива. Авторы относят проблему на счет несовершенства системы распределения воды существующими дождевальными устройствами, и предлагают использовать дождевальные аппараты с индивидуальными регуляторами, работающими по алгоритму с наперед заданными данными о влажности почвы и возможностью подачи воды и вещества путём online-коррекции, учитывая также данные дистанционного зондирования Земли. Отметим, что предложенный способ решения задачи равномерного увлажнения почвы не позволяет преодолеть системный недостаток полива дождеванием, вытекающий из принятой в настоящее время устаревшей парадигмы ирригации.

При капельном поливе (Ясониди, 2011) также показана вертикальная неоднородность увлажнения почвы под капельницей (Штанько и др., 2017; Рыжаков и др., 2017), причем по данным авторов непосредственно под капельницей влажность высокая, достигающая значений наименьшей влагоёмкости (НВ), и контур НВ выходит на поверхность, что указывает на вероятность повышенного расхода воды на испарение. Констатируется, что отсутствует согласованная методика синтеза двухмерного образа распределения влаги в почве при капельном поливе. С учётом неравномерности расходных параметров индивидуальных капельниц, возрастающей в период эксплуатации за счёт механических повреждений, забивания и седиментации, подтверждается мнение о вероятном латеральном и профильном перераспределении воды при капельном поливе, избыточном расходе воды на эвапотранспирацию, просачивании воды в виде преференсных потоков из почвы в зону аэрации (Шейн и др., 2009; Затинацкий и др., 2007). Всё это является обоснованием причин повышенного расхода воды на проведение капельного полива (Воеводина, 2011; Воеводина, 2016).

На период 2041–2070 гг. предлагают применять субирригацию для экономии воды (Baule et al., 2017), но не указывают, что происходит с почвой и растением, как идут преференсные потоки влаги, а они непременно имеют место при локальной избыточной влажности почвы, характерной для современной парадигмы ирригации, включая субирригацию. Влажность почвы при сосредоточенном поступлении воды из подпочвенных оросителей высокая. Иначе не может быть, поскольку в оросителе имеет место поток воды,

гидравлическое сопротивление оросителя меньше, чем прилегающей к нему почвы, следовательно, в контакте почвы с перфорационными отверстиями оросителя и почва полностью насыщена водой.

За счет уменьшения предельного значения потенциала воды в почве перед поливом снижают потребность в воде на 50 % (Casanova et al., 2017). Но при этом не меняют парадигмы ирригации – не учитывают режим распределения воды в почве. Потенциал воды перед поливом принят авторами в пределах -1.2 МПа и ниже. Но что происходит с водой в почве после полива? Авторы об этом не пишут. Коль скоро применена традиционная парадигма ирригации, то непосредственно после полива потенциал в увлажненном слое почвы будет равен нулю. Потому будет иметь место разрушение структуры почвы, как и избыточное расходование воды на эвапотранспирацию. В результате экономия воды составляет у авторов всего лишь 50 %, причем в ущерб органогенезу и продуктивности растений, так как не все факторы экономии воды учтены авторами при постановке задачи поиска решения.

На основании статистических расчётов указано, что коэффициент водопотребления варьирует обратно размеру урожайности, при этом водопотребление ирригационного агроценоза остается примерно одним и тем же, и вода расходуется примерно в одном и том же количестве в разных вариантах эксперимента соответственно свойствам почвы, величине оттока в зону насыщения, инсоляции (Paredes et al., 2017). Очевидно, являются неработоспособными и изученный авторами ирригационный режим, и использованная для его описания модель. Следовательно, с одной стороны, подача воды на экспериментальные участки избыточна, с другой стороны, стандартная ирригационная агротехника и режим распределения воды внутри почвы не в состоянии обеспечить надлежащий режим потребления воды растениями.

Изучена подача оросительной воды в размере 100, 75, и 50 % относительно расчетной эвапотранспирации (Elsayed et al., 2017). Но тогда какова надежность самого расчета, если его данные можно затем изменить в два раза? Рекомендуют для увеличения степени надежности прогноза применять физиологическое обоснование отклика растений на ирригацию. Но при этом важным указанием авторы упускают обстоятельство содержания воды и движущих сил переноса воды к корням растений, которые определяют возможность протекания и эффективность, с точки зрения создания биомассы, физиологических процессов в растении, находящегося в условиях искусственного увлажнения и на разных почвах. При таком, детализированном подходе (с позиции физиологии растений и водоудерживания в почве), режим орошения можно будет регламентировать в более узком диапазоне подачи воды, повысить надежность прогноза результатов применения того или иного режима орошения.

Заявлена необходимость экономии воды в силу ограничений, которые накладывает воздействие ирригации на окружающую среду. Эвапотранспирацию изучали стандартным полуэмпирическим методом, а также согласно водно-балансовой модели FAO-56. Исследователи констатируют избыточный полив, но ответственность за это возложена исключительно на фермеров (Battude et al., 2017). Тем не менее, отметим, что ирригационная активность фермеров целиком лежит в пределах ограничений, которые накладывают техника и технология полива в рамках стандартной парадигмы ирригации. И именно эти технологии надо менять, предлагая фермерам новые современные возможности.

Рассматривали пространственную вариабельность влажности почв (Wang et al., 2017), установили, что влияние свойств почвы (глинистая, песчаная и пр.) на региональную пространственную вариабельность влажности почв сильнее, чем влияние метеорологических факторов, при этом роль растительности и топографии оказалось незначительной. Следовательно, используя выводы авторов, управляя свойствами почвы, конструируя почвы с заданными параметрами можно обеспечивать меньшую, предсказуемую пространственную вариабельность влажности почв, преодолевать неопределенность водного режима ландшафта, увеличивать его биологическую продуктивность и устойчивость, компенсировать флуктуации климата.

В настоящее время ввиду развития методов визуализации моделей преференсных потоков влаги в почве и зоне аэрации получили широкое распространение компьютерные графические модели переноса. Однако не все вопросы относительно самой сути процесса

переноса воды и его драйверов в настоящее время сняты, поэтому моделирование следует продолжать, дополнять физическим экспериментом. Возможности прямого эксперимента достаточно проблематичны, поскольку даже для одного и того же объекта, ввиду стохастического характера водно-физических свойств почвы или грунта, параметры переноса различаются. Причём изменение параметров переноса обусловлено действием потока воды. В результате оказывается неопределённой основная гидрофизическая характеристика объекта (Jarvis et al., 2017). Это неприемлемый результат в фокусе корректного и надёжного управления водным режимом почвы. Поэтому устойчивое воспроизведение связи ненасыщенной влагопроводности и потенциала воды в почве удастся получить только для песка (Zhuang et al., 2017).

Состояние дел с изучением переноса воды в почве, особенно в части практических приложений этого важнейшего явления, требует нового импульса развития. Пока лишь констатируют, что расчетный диапазон доступной растениям влаги в почве – величина, которую следует применять с осторожностью, поскольку в зависимости от объекта, а также от способа подготовки образца имеет место расхождение с данными, полученными с использованием натурной и расчетной кривых водоудерживания (Silva et al., 2014). Никаких сомнений, ведь модельная система, в виду во многом необратимого воздействия воды на состояние почвы и её водно-трансферные функции, существенно меняется при каждом определении даже для одного и того же образца. Для достижения более-менее приемлемого результата экспериментов и расчетов водоудерживания в почве применяют её специальную подготовку, регламентируют режим определения. Но такая система лишь в малой степени соответствует реальной почве, находящейся под воздействием воды. Потому следует констатировать, что только изменение режима подачи воды в почву, особенно – кардинальное изменение режима распределения воды из состояния потока в режим почвенной влаги, позволит получить приемлемые в отношении стабильности результаты наблюдений и, особенно, результаты управления влажностью почвы.

В стандартной парадигме ирригации нет кардинального ответа на вопрос, как избежать разрушительного воздействия высокого содержания воды на почву.

Отметим, что дифференциация растительности и почв по локальным экотопам является свойством биосферы (Лисецкий и др. 2016; Калиниченко и др., 1997), и это следует учитывать при планировании хозяйственной деятельности. Для контроля влажности почвы в корнеобитаемом слое предлагают дистанционные методы (Hassan-Esfahani, 2017), что будет полезно для получения пространственной картины увлажнения элементов природно-территориального комплекса. Особенно ввиду того, что ранее показана необходимость регулирования гидрологического режима пространственно неоднородной структуры почвенного покрова (Минкин, Калиниченко, 1981; Калиниченко, 1990).

Стратегия развития ирригации, водная стратегия в целом, должна учитывать взаимосвязи в системе «вода – энергия – продовольствие». Только такой подход позволит обеспечить приемлемые условия жизни и сохранить окружающую среду (El Gafy et al., 2017). Следовательно, имея катастрофические последствия стандартной ирригации в виде избыточно расхода воды, деградации почв, неопределённой перспективы получения продовольствия на деградированных землях, необходимо применять новую парадигму ирригации (Калиниченко и др., 2012; Калиниченко и др., 2013б; Glazko, Sister, 2016; Kalinichenko et al., 2015a; Kalinichenko et al., 2015b; Калиниченко, 2016; Kalinichenko, 2016a; Kalinichenko et al., 2016; Batukaev et al., 2016; Endovitsky et al., 2016; Kalinitchenko, 2016b).

Ввиду того, что пресная вода является глобальным дефицитом, для кардинального преодоления проблем современной ирригации в рамках биогеосистемотехники предложена новая водная стратегия (Kalinitchenko et al., 2014). Для её реализации разработан импульсный внутрпочвенный континуально-дискретный способ увлажнения почвы (Калиниченко, 2010а; Калиниченко, 2010б), учитывающий принципы термодинамики воды в почве (Shein et al., 2013). Способ предусматривает подачу воду дозированно дискретно, что обеспечивает доставку воды непосредственно в подлежащий увлажнению индивидуальный микрообъем, представляющий собой дискретный микро-цилиндр первичного увлажнения диаметром 2–3 см, расположенный на глубине 8–35 см, минуя стадию переноса воды сквозь почву. Затем в течение 5–10 минут заданный микрообъем почвы, под действием разности потенциалов воды и почвы, распределяется капиллярно в дискретном микро-цилиндре

результатирующего увлажнения диаметром 4–5 см на глубине 5–45 см до потенциала $-0,1-0,2$ МПа, оптимального для органогенеза растений (Зайцева и др., 2013). После, по достижении почвой влажности разрыва капиллярной связи, перенос и расход воды из дискретного микро-цилиндра результирующего увлажнения идёт в виде перегонки пара.

Поиски методологии расчета статистической неопределенности порового пространства дисперсной системы (Meng, Li, 2017) следует учитывать с позиции того, что эта неопределенность является исконным свойством почвы, причём неопределенность возрастает в процессе стандартного ее увлажнения, и, в свою очередь, усиливает неопределенность результата увлажнения, что требует принятия мер преодоления неопределенности. Неопределенность гидрологических параметров – предмет параметризации новых источников структурной неопределённости, которыми ранее полагали возможным пренебречь (Sikorska, Renard, 2017). В качестве такого гидрологического параметра следует применять новую парадигму ирригации, использование этого параметра даст принципиально новую, более определенную, гидрологическую картину ирригационного объекта, и водосбора в целом.

Реальная иерархия элементарных почвенных частиц значима для верного понимания явления переноса в почвах (Морозов, Безуглова, 2011; Шеин и др., 2016). Существующие модели порового пространства почвы построены на упрощенном представлении формы структурных элементов, что ухудшает их репрезентативность и работоспособность. На основе 3D X-ray микротомографии реальных элементов агрегатного устройства почвы предложена нейромодель гидравлической проводимости почвы с учётом множественной иерархии формы и размера агрегатов, формирующих структуру порового пространства почвы (Miao et al., 2017). Это является дополнительным основанием применения нового способа увлажнения почвы, который позволяет преодолеть опасность нарушения не вполне ещё изученной даже на механическом уровне картины устройства почвенного континуума структуры почвы, обеспечить высокую степень определенности свойств почвы в процессе, и после увлажнения, на долгосрочной шкале.

Существует концепция логнормального распределения эффективного радиуса пор для расчёта гидравлической проводимости и построения основной гидрофизической характеристики объекта (почвы, грунта) (Terleev et al., 2017). Следует заметить, что в случае почвы её увлажнение изменяет распределение пор по размерам. Следовательно, предложенная авторами модель работоспособна только для почв с устойчивой структурой. В то же время, большинство почв имеют динамичную в связи с переносом воды структурную организацию, и это обуславливает проявление гистерезиса водоудерживания, ухудшает условия потребления растениями воды.

Рассмотренные неблагоприятные обстоятельства переноса воды в почве преодолеваются с использованием импульсного внутрипочвенного континуально-дискретного способа увлажнения почвы.

Для эмпирического обоснования этого способа выполнен модельный эксперимент.

2. Объект и методы

Модельный эксперимент имел целью эмпирическое представление теоретически обоснованного режима увлажнения почвы при ее импульсном внутрипочвенном континуально-дискретном увлажнении на начальном этапе органогенеза ячменя. Эксперимент выполнен в четырёх повторениях.

Техника эксперимента. Для создания модельной системы использовали пластмассовые прозрачные цилиндры высотой 20 см диаметром 5 см. Почва – чернозем обыкновенный, насыпной образец перетертой почвы из слоя 0–30 см. Для имитации дискретного полива использовали шприц медицинский 20 мл, иглу медицинскую спинальную длиной 12 см. Способ создания модельной системы – насыпка почвы с уплотнением до состояния, близкого к естественному сложению и плотности.

Способ создания модельного агрофитоценоза – предварительное проращивание семян злака на влажном пористом субстрате с целью обеспечения 100 % прорастания и нивелирования стартовых условий развития отдельных растений, отбраковка семян с низкой всхожестью. Проросшие семена помещали в почву модельной емкости вручную на

глубину 2 см. В процессе закладки эксперимента обеспечивали нивелирование последующего развития растений. Культура – ячмень.

Способ подачи воды – периодический или постоянный – имитация выбранных вариантов способа полива.

Имитировали стандартные способы полива: поверхностный (или дождевание), капельный, моделировали внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный полив (Рис. 1).



Рис. 1. Способы полива

При применении на черноземах поверхностный, капельный способы полива, дождевание функционально тождественны, поскольку все перечисленные способы полива обеспечивают доставку воды на поверхность почвы, после чего вода просачивается вглубь. Причем, например, при расчетной глубине промачивания 60 см сквозь первый сантиметр почвы проходит в 60 раз больше воды, чем необходимо для увлажнения этого слоя. По этой причине идет интенсивное разрушение почвы. Подпочвенный способ полива не рассматривали ввиду того, что его отрицательное экологическое влияние заложено уже в названии: Для его выполнения надо создать искусственный уровень грунтовых вод. Это неприемлемо с точки зрения экономии воды как глобального ограниченного ресурса.

При имитации поверхностного полива (дождевания) применили два варианта поливной нормы: стандартная поливная норма, сокращенная поливная норма.

При имитации капельного полива применили два варианта интенсивности подачи воды по критерию равенства объема подачи, соответственно: стандартная поливная норма, сокращенная поливная норма.

Имитировали внутрипочвенный импульсный дискретный способ полива. Применили два варианта: доза полива в объеме сокращенной поливной нормы имитации поверхностного полива, минимальная доза полива. Способ подачи воды – периодический рассредоточенный впрыск воды, включая стартовый объем вглубь почвы, затем – равномерная подача в процессе извлечения иглы. В среднем каждый день полив (вечером) 10 мл один полив: 5 недель 35 дней 350 мл, всего слой 17,5 см. Детально подача воды рассмотрена ниже по вариантам эксперимента.

Варианты эксперимента:

1. Без полива (стандарт).
2. Имитация традиционного способа полива. Поливная норма 200 м³/га 20 мм, 2 см (объем 39,2 мл/емкость). Всего за эксперимент (интенсивность в среднем в день): 1 неделя – 15 мл/день, 105/20=5 см; 2–4 неделя 20 мл/день, 420/20=21 см; с 5 недели 25 мл/день, 175/20=8,5 см, всего слой воды 34,5 см.
3. Имитация традиционного сокращенного способа полива. Поливная норма 133 м³/га 13,3 мм, 1,33 см. (объем 19,6 мл/емкость). Всего за эксперимент (интенсивность в среднем в день): 1 неделя – 10 мл/день, 70/20=3,5 см; 2–4 неделя 15 мл/день, 315/20=15,8 см; с 5 недели 20 мл/день, 140/20=7 см, всего слой воды 26,3 см.
4. Имитация капельного полива. Интенсивность подачи воды 10 мл в день, с 5-й недели 20 мл в день. Всего за эксперимент 420 мл, всего слой воды 21 см. Интенсивность 12–15 кап/мин, продолжительность подачи воды согласно дневной дозе. Диаметр контура увлажнения на поверхности не более 1,5 см.
5. Имитация сокращенного капельного полива. Интенсивность подачи воды 5 мл в день, с 5-й недели 10 мл в день. Всего за эксперимент 210 мл, всего слой воды 10,5 см. Интенсивность 12–15 кап/мин, продолжительность подачи воды согласно дневной дозе. Диаметр контура увлажнения на поверхности не более 1,5 см.
6. Внутрипочвенный дискретный полив. Глубина увлажнения шприцем 4–20 см равномерно по высоте емкости. Разовый объем 5 мл/емкость, начиная с 4 недели 10 мл. Всего за эксперимент слой воды 16,2 см.
7. Внутрипочвенный минимальный дискретный полив. Глубина увлажнения шприцем 4–20 см равномерно по высоте емкости. Разовый объем 3 мл/емкость, с 4 недели 5 мл. Всего за эксперимент слой воды 6,7 см.

Варианты эксперимента представлены ниже в Табл. 1.

Имитация традиционного способа полива выполнялась по стандарту – начало полива при состоянии влажности почвы 0,7 НВ.

Имитация традиционного сокращенного способа полива выполнялась в те же сроки, что и имитация традиционного способа полива.

Капельный полив – регулирование интенсивности подачи воды по объему подачи традиционного способа полива или, соответственно, традиционного сокращенного способа полива

Внутрипочвенный дискретный полив проводили ежедневно.

Микроклимат – естественный для начальной стадии органогенеза ячменя ярового.

Инсоляция – естественная.

Состояние почвы определяли визуально и органолептически.

Эксперимент выполнен в 4 повторениях.

Статистическая обработка данных – Excel Microsoft-Office 2007.

3. Результаты и обсуждение

Количественные показатели увлажнения почвы и состояние растений в эксперименте по вариантам приведены в Табл. 1.

Таблица 1. Результаты модельного эксперимента

Вариант	Способ полива	Срок выполнения первая неделя. Дозы орошения	Срок выполнения 2–4 недели. Дозы орошения	Начиная с 5 недели	Комментарий о состоянии растений и почвы в процессе и по завершении эксперимента
1	Контроль	10 мл имитация средне сухого года	Орошение отсутствует	Орошение отсутствует	Растение гибнет
2	Традиционный	15 мл	20 мл	25 мл	Вода задерживается на поверхности почвы. Сильное уплотнение почвы при поливе. Вследствие полива появление трещин на почве

3	Традиционный сокращенный	10 мл	15 мл	20 мл	Уплотнение почвы, наблюдаются мелкие трещины на поверхности почвы
4	Капельный	10 мл	10 мл	20 мл	Более сильное уплотнение почвы, чем в варианте «Капельный сокращенный»
5	Капельный сокращенный	5 мл	5 мл	10 мл	В почве наблюдается центр уплотнения
6	Внутрипочвенный дискретный полив	5 мл	10 мл	10 мл	Растения визуально выглядят хорошо, но уступают варианту «Традиционный» по высоте в среднем на 2,3 см
7	Внутрипочвенный минимальный дискретный полив	3 мл	5 мл	5 мл	На первой стадии эксперимента растения развивались лучше остальных. В конце эксперимента наблюдалось замедление в развитии

По мере продолжения эксперимента началась дифференциация растений по его вариантам. Состояние растения в контрольном варианте было плохим (Рис. 2).



Рис. 2. Состояние растения в контрольном варианте.

Согласно Рис. 3, после стандартного полива на поверхности почвы формируется кратковременный слой воды.

После полива в течение 5 мин наблюдали просачивание воды сквозь почву в количестве 30–50 % объема подачи как результат формирования преференсных потоков на этапе эксперимента, отраженном на рис. 3, дренажный сток составил 10 мл, в следующие 5 мин из почвы стекло еще 6 мл, что указывает на наличие преференсных потоков даже в достаточно рыхлой и однородной по структуре почве, специально подготовленной для эксперимента. В реальных условиях современной ирригации вклад преференсных потоков воды существенно больше (Ильинская, Шкодина, 2009).



Рис. 3. Стандартный полив нормой 60 мл за полив

При имитации традиционного способа полива растения получали достаточное количество влаги, но при этом страдали агрофизические свойства почвы. На поверхности почвы образовывалась ирригационная корка. Внутри почвы распространялись трещины. Имело место общее оседание почвы в экспериментальной емкости (рис. 4).

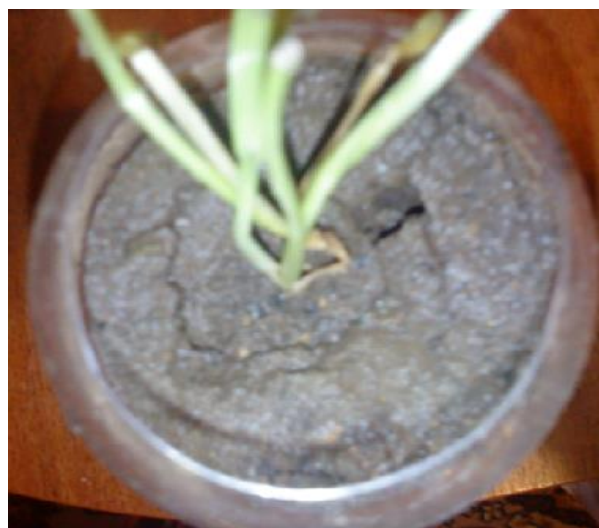


Рис. 4. Поверхность почвы после стандартного полива

В результате имитации традиционного сокращенного способа полива растения получали мало воды. Это очевидно по нижней границе промачивания, которая располагается после полива на глубине 4–6 см. Результат следует из почвенно-гидрологических закономерностей. В процессе подачи вода увлажняет почву до состояния полной влагоемкости. Затем идет перераспределение воды вглубь почвы под действием капиллярных сил, влажность в верхнем слое почвы устанавливается на уровне НВ. Сброс воды между блоками почвы первого порядка в виде преференсных потоков воды идет только до нижней границы промачивания и, в силу малого количества воды, не достигает

дна экспериментальной емкости. Действительно, рассматриваемый вариант подтверждает, что применение сокращенных поливных норм способствует уменьшению потери воды в глубокие горизонты. Однако вариант подтверждает также и то обстоятельство, что в таком случае промачивается очень малый слой почвы, нарушение агрофизических свойств поверхности почвы идет столь же интенсивно, как при подаче полной поливной нормы. В результате имеет место высокая интенсивность непроизводительного расходования воды, которая, как известно, интенсивно испаряется из верхнего 0–5 см слоя почвы, особенно при наличии корки на поверхности почвы (Рис. 5).



Рис. 5. Поверхность почвы при имитации традиционного сокращенного способа полива

Картина эксперимента в обоих вариантах капельного полива практически стереотипна двум рассмотренным вариантам. Единственное существенное отличие состоит в том, что воздействие воды в процессе ее поступления в почву имеет место только на часть поверхности, поэтому образование корки выражено при капельном поливе в меньшей степени.

При внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива поверхность почвы сохраняется в том же виде, что и после засыпки экспериментальной емкости почвой. Не образуется корка (Рис. 6).



Рис. 6. Растения при внутрипочвенном дискретном поливе. Слева – стандартный, справа – минимальный.

При сокращенной норме увлажнения в том же объеме, что и при имитации традиционного сокращенного способа полива, растения на внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива развиваются значительно лучше, чем при имитации традиционного сокращенного способа полива.

При внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива и минимальном внутрипочвенном импульсном дискретном способе полива вода располагается внутри почвы, ее распределение идет без вертикального транзита, сохраняется не увлажненный каркас почвы, который поддерживает цилиндр первичного увлажнения, вода из цилиндра первичного увлажнения распространяется в прилегающий объем почвы с большой скоростью. Это помогает решить задачу управления структурой почвы. «Память» почвы на таком отрезке почвы достаточна для сохранения механического каркаса, так как гидродинамически в процессе впрыска воды разрушается небольшая часть элементов её структуры, а остальные получают воду капиллярным и пленочным путем. Их структура только частично подвергается действию воды, т.е. сохраняется. Проседания почвы после отдельно полива, как и после цикла поливов, не зарегистрированы.

Характерным отличием импульсного внутрипочвенного континуально-дискретного способа увлажнения почвы является особенность влагопереноса воды внутри почвы в парообразном состоянии. Наблюдали различие переноса воды в экспериментальных емкостях по вариантам. Такая возможность имеется, поскольку в каждой повторности эксперимента емкости прозрачные, имеют ограниченный размер, их боковая и нижняя поверхности непроницаемы для воды, что дает возможность наблюдать на них конденсацию водяных паров.

После стандартного полива конденсат на стенках емкости с внутренней стороны был обильным. Размер капель 1–3 мм, расположение часто почти слитное. Это свидетельствует, что относительное количество воды избыточно с точки зрения оптимального для растений соотношения «почвенная вода – почвенный воздух». Вода перемещается вглубь профиля почвы в виде потока, потому в почве идет интенсивный перенос воды к поверхности испарения. Если на внутренних стенках емкости вода конденсируется обильно, то понятно, что и сквозь поверхность почвы она столь же легко уходит в атмосферу. Следовательно, имеет место непроизводительное расходование воды на испарение. Также имеются предпосылки утраты структуры почвы ввиду вероятности супердисперсного состояния твердой фазы на границе раздела «почвы – вода в виде потока».

После дискретного полива конденсата на стенках емкости с внутренней стороны образовывался в значительно меньшем количестве, чем после стандартного полива. Размер капель был 0,2–0,5 мм, расположение капель выраженное раздельное. Это подтверждает, что в почве рассматриваемого варианта не идет интенсивный перенос воды в виде потока, потому перенос воды в виде пара менее интенсивен, но достаточен для формирования доступного растениям достаточно концентрированного почвенного раствора, поскольку расстояние парообразного переноса не более 1–2 см. Соответственно, сквозь поверхность почвы в атмосферу теряется меньше воды. Проблема актуальна для любых жизненных форм растений (Аджиев и др., 2013; Зармаев, 2001; Зармаев, 2007; Калиниченко, 2015; Калиниченко и др., 2013а).

Очевидно, что ярко выраженное отличие внутрипочвенного импульсного континуально-дискретного способа увлажнения почвы, суть которого в доставке воды в индивидуальные объемы почвы без вертикального переноса сквозь почвенное тело, а также в не совмещении фаз доставки воды в почву и её диссипации в увлажняемой дисперсной системе, даёт принципиально новые возможности сохранения структуры и сложения почвы. Обеспечивается устойчивость и определенность влагопроводности и основной гидрофизической характеристики почвы, что позволяет сформулировать новый класс задач теории дискретно-континуального переноса в дисперсной системе.

Новые задачи можно сформулировать, в частности, из следующих соображений.

Скорость перемещения воды и стохастический характер потока в дисперсной системе зависят от уровня и иерархии организации поровой системы (de Vries et al., 2017). Внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы позволяет преодолеть неблагоприятную динамику соотношения агрегатов

водопроницаемости в процессе увлажнения почвы, поскольку исключена фаза транзита и избыточного смачивания агрегатов почвы в зоне увлажнения.

Кроме того, показано, что испарение воды и осаждение солей пропорциональны модулю потенциала воды в почве (Salomé et al., 2017). При внутрипочвенном импульсном континуально-дискретном способе увлажнения почвы потенциал воды в ней ниже, следовательно, ниже и физическое испарение, и транспирация ввиду большей, чем обычно, концентрации почвенного раствора и, соответственно, большего потока питательных веществ. Ниже степень слитизации почвенной массы и больше внутренняя поверхность почвы для осаждения легкорастворимых солей. К тому же, количество доставляемых в почву с водой легкорастворимых солей в несколько раз меньше по причине меньшей потребности в воде.

3.1. Применение результатов эксперимента к решению задач сохранения и расширенного воспроизводства биогеохимического цикла экосферы

Способ увлажнения почвы, результаты моделирования которого описаны в настоящем сообщении, также имеет приложения в сохранении и расширенном воспроизводстве биогеохимического круговорота экосферы, включая рециклинг отходов.

Проблему загрязнения экосферы решают путем очистки сточных вод (Mujtaba and Lee, 2017). В связи с этим имеются опасения по поводу долгосрочной работоспособности систем рециркуляции воды для питьевого водоснабжения (West et al., 2017). Указывают на ошибки и несоответствия в понимании и практическом выполнении адсорбции загрязнений из водных растворов (Tran et al., 2017). При этом оставляют без внимания возможность получения мультипликативного эффекта – очистки воды, улучшения агрофизических, химических, физико-химических свойств, улучшения здоровья почвы, повышения уровня питания растений. Попытки использовать такого рода возможности в сфере ирригации предпринимаются. Однако если подавать неочищенную воду в почву посредством поверхностного полива или дождевания, то инфекции и опасные вещества, содержащиеся в стоках, распространяются эоловым, латеральным, гравитационным путями.

Если стоки подавать в закрытую сеть внутрипочвенного полива, то в почве и зоне аэрации проявляются эффекты преференсных потоков воды, и связанная с ними опасность загрязнения грунтовых вод. Есть опасность потери пропускной способности труб по причине седиментации и забивания их ввиду слабой транспортирующей способности в отношении взвешенных веществ, присутствующих в потоке воды, проходящем в капельном увлажнителе.

Подавать стоки в поверхностную или закрытую сеть капельного полива невозможно, поскольку капельницы выйдут из строя. Поэтому регламент капельного полива не просто не предусматривает подачу какого-либо не полностью растворенного вещества в поливные ленты, но, более того, предусматривает предварительную фильтрацию подаваемой для полива растений воды.

Следовательно, попытки очистить воду в почве, используя для этого возможности стандартной парадигмы ирригации, весьма сомнительны.

Наоборот, в новой парадигме ирригации трофические и геохимические цепи неконтролируемого распространения содержащихся в воде веществ за пределы почвы исключены, обеспечены надежные геохимические барьеры (Endovitsky et al., 2015), и любые вещества, даже белый фосфор (Миндубаев и др., 2015), перерабатываются сапрофитами в элементы питания растений в специально сконструированной дисперсной системе почвы.

Если отходы в определенных пределах надежно и безопасно для окружающей среды вносить внутрь почвы, в частности, путем внутрипочвенной фертигации (Kalinichenko, 2016b), то они уже не смогут стать всё новыми источниками эмиссии парниковых газов, как это имеет место в настоящее время (Willis et al., 2017).

Предложено новое обоснование возможности вносить в почву золу, терриконовую породу (Головина и др., 2017). При этом развитие корневой системы растений следует стимулировать, направленно синтезируя свойства почвы (Чайка, Гурина, 2017), и обеспечивая её устойчивость и минимально необходимое достаточное для максимальной интенсивности развития растений и геобионтов увлажнение.

Новая парадигма ирригации позволяет выполнить продуктивное развитие фертигации. Будут исключены трофические цепи распространения инфекций, условия распространения токсических веществ. В то же время, создаются приоритетные условия для деятельности сапрофитов и переработки вносимого в почву вещества в элементы питания растений (Калиниченко, 2017).

Несколько отдалённой темой от поставленной на обсуждение, на первый взгляд, являются польдерные системы (Gao et al., 2017). Однако смысл обсуждения и этой проблемы в заданном в настоящем сообщении контексте имеется, так как, если применять внутрипочвенную фертигацию, то будет ослаблена проблема неблагоприятных эффектов польдерных систем городских агломераций. Значительная часть сбросных вод будет размещаться внутри почвы, а не поступать в водоприемники. Это уменьшит межвенный расход водоприемника, увеличит градиент открытой водной поверхности, и повысит надёжность сброса паводка.

Представленные материалы следует рассматривать в фокусе синтеза перспективной ниши цивилизации (Москаленко и др., 2013; Bohle, 2017; Cuomo, 2017), роботизации технологического процесса увлажнения почвы.

4. Заключение

Современные способы полива чаще всего обуславливают неблагоприятные изменения в почвах и ландшафтах, что является органичным следствием дифференциации подачи воды в почву из гидротехнической проводящей системы. Причина такого положения – отсутствие в действующей имитационной фронтальной континуально-изотропной парадигме ирригации контроля распределения воды внутри почвы.

Выполненный модельный эксперимент внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации показал, что такое увлажнение почвы практически исключает фазу просачивания воды в глубокие горизонты, обеспечивает разнесение во времени фазы подачи воды в почву и фазы диссипации воды в почве. В свою очередь это обеспечивает устойчивое управление поведением воды от момента ее состояния как потока или объема, и до момента завершения диссипации воды в капиллярном и парообразном состоянии в дисперсной системе почвы, а также экономию воды, лучшие условия развития растений, и сохранение почвы.

Результаты модельного эксперимента позволяют констатировать, что перспективной альтернативой действующей имитационной фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигме ирригации и дренажа является внутрипочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма ирригации, которая разработана в рамках научно-технического направления «биогеосистемотехника».

Результаты модельного эксперимента могут быть использованы для разработки роботизированного технологического процесса увлажнения почвы.

5. Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность Валерию Петровичу Калиниченко за разработку теории внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации, лежащей в основе методики модельного эксперимента, содействие реализации эксперимента, участие в подготовке рукописи.

Литература

Аджиев и др., 2013 – Аджиев А.М., Егоров Е.А., Зармаев А.А., Дружинин Е.А. (2013). Научно-прикладные аспекты инновационного развития и модернизации виноградо-винодельческой отрасли России, Махачкала.

Балакай и др., 2017 – Балакай Г.Т., Васильев С.М., Бабичев А.Н. (2017). Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 2(26), с. 1–18. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf

Безуглова, 2001 – Безуглова О.С. (2001). Гумусное состояние почв юга России, Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ, 228 с.

Белицина и др., 1988 – Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И. (1988). Почвоведение, Том 1, М.: Высшая школа, 400 с.

Бронфман, Хлебников, 1985 – Бронфман А.М., Хлебников Е.П. (1985). Азовское море. Основы реконструкции / под ред. проф. А.И. Симонова. Л.: Гидрометеиздат, 272 с.

Воеводина, 2011 – Воеводина Л.А. (2011). Влияние переполивов при капельном орошении на мелиоративное состояние земель // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина, Новочеркасск: Геликон, вып. 45, С. 49–56.

Воеводина, 2016 – Воеводина Л.А. (2016). Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1 (21), С. 134–154, http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec398-field6.pdf

Головина и др., 2017 – Головина Н.А., Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. (2017). Разработка экологически безопасного фильтрующего элемента для капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), с. 144–155

Зайцева и др., 2013 – Зайцева Р.И., Комаров Н.М., Гришина Р.В., Кириченко А.В., Егоров Ю.В., Муромцев Н.А. (2013). Устойчивость сортов ярового ячменя в фазе прорастания – всходы к засолению почвы и к дефициту влаги при проращивании семян на растворах // Современное состояние черноземов. Мат. между. научной конф., 24–26 сентября 2013, Ростов-на-Дону, С. 113–116.

Зармаев, 2001 – Зармаев А.А. (2001). Виноградарство на основе адаптивной интенсификации // Виноделие и виноградарство. № 3. С. 28–30.

Зармаев, 2007 – Зармаев А.А. (2007). Адаптивный потенциал сортов винограда в Чеченской Республике // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 5. С. 35–36.

Затинацкий и др., 2007 – Затинацкий Н.В., Зейлигер А.М., Губер А.К., Хитров Н.Б. (2007). Исследование предпочтительных потоков влаги в лугово-черноземной почве Саратовского Заволжья // Почвоведение, № 5, С. 585–599.

Ильинская, Шкодина, 2009 – Ильинская И.Н., Шкодина О.П. (2009). Нормирование водоотведения – фактор рационального водопользования / Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. Новочеркасск: РосНИИПМ, вып. 41, с. 74–84.

Калиниченко, 1990 – Калиниченко В.П. (1990). Регулирование гидрологического режима при мелиорации пространственно-неоднородных структур почвенного покрова степной и сухостепной зон юго-востока ЕТС / автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Москва, МГУ.

Калиниченко и др., 1997 – Калиниченко В.П., Назаренко О.Г., Ильина Л.П. (1997). Особенности структурной организации почвенной массы в переувлажненных почвах склонов черноземной зоны // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук, № 5, С. 22–24.

Калиниченко, 2010а – Калиниченко В.П. (2010). Патент на изобретение RU №2386243 С1. Способ внутрипочвенного импульсного дискретного полива растений. МПК А01G 25/06 (2006.01) А01С 23/02 (2006.01). Патентообладатель Калиниченко В.П. Заявка № 2009102490/12 от 16.01.09. Опубликовано 20.04.2010. Бюл. № 11. 9 с.: 4 ил.

Калиниченко, 2010б – Калиниченко В.П. (2010). Патент на изобретение RU №2411718 С2. Устройство для выполнения способа внутрипочвенного импульсного дискретного полива растений. Патентообладатель Калиниченко В.П. Заявка № 2009110757/20(016023) от 30.03.09. Опубликовано 20.02.2010. Бюл. № 5. 10 с.: 2 ил.

Калиниченко, 2012 – Калиниченко В.П. (2012). Биогеосистемотехника как гносеологическая основа управления экосистемами // Живые и биокосные системы. Декабрь. Вып. 1.

Калиниченко, 2015 – Калиниченко В.П. (2015). Создание почв, систем питания и полива ботанических садов методами биогеосистемотехники // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия. Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 100-летию Южного федерального университета. 27 – 30 мая 2015 г. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, С. 50–54.

Калиниченко, 2016 – Калиниченко В.П. (2016). Биогеосистемотехника – инновационный метод управления продуктивностью и здоровьем почвы // Международная

научно-практическая конференция СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕРБОЛОГИИ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ПОЧВ (21–23 июня 2016 г.). Большие Вяземы, С. 246–263.

Калиниченко, 2017 – Калиниченко В.П. (2017). Эффективное использование фосфогипса в земледелии // *Вестник питания растений*, № 1, С. 2.33.

Калиниченко и др., 2012 – Калиниченко В.П., Зармаев А.А., Безуглова О.С., Сквонень А.Н., Черненко В.В., Ильина Л.П., Болдырев А.А. (2012). Возможности и перспективы внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной концепции ирригации как составляющей новой водной стратегии РФ // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*, № 3, С. 80-84.

Калиниченко и др., 2013а – Калиниченко В.П., Батукаев А.А., Зармаев А.А., Чулков В.В., Мамилев Б.Б., Черненко В.В., Лохманова О.И. (2013). Патент на изобретение RU №2498550 С2. Способ создания многолетних насаждений. МПК А01В 79/02 А01G 17/00. Заявка № 2012102879(004261) от 27.01.2012. Опубликовано 20.11.2013. Бюл. №32. 4 с. : ил.

Калиниченко и др., 2013б – Калиниченко В.П., Минкина Т.М., Безуглова О.С., Зармаев А.А., Романов О.В., Ким В.Ч.-Д. (2013). Концепция внутрипочвенной дискретной импульсной ирригации // *Природообустройство*, № 2, С. 6–11.

Лисецкий и др. 2016 – Лисецкий Ф.Н., Судник-Войциковская Б., Мойсиенко И.И. (2016). Дифференциация флор по локальным экотопам в трансзональном контексте изучения курганов лесостепи и степи // *Известия Российской академии наук, Серия биологическая*, № 2, С. 207.

Миндубаев и др., 2015 – Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Горбачук Е.В., Кулик Н.В., Алимова Ф.К., Минзанова С.Т., Миронова Л. Г., Сапармырадов К. А., Хаяров Х. Р., Яхваров Д.Г. (2015). Включение белого фосфора в природный круговорот веществ. Культивирование устойчивой микрофлоры // *Бутлеровские сообщения*, 41, 54–81, DOI: jbc-01/15-41-3-54

Минкин и др., 1980 – Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А. (1980). Солонцы юго-востока Ростовской области, Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 272 с.

Минкин, Калиниченко, 1981 – Минкин М.Б., Калиниченко В.П. (1981). Интенсификация мелиоративного процесса на почвах солонцовых комплексов посредством регулирования гидрологического режима // *Почвоведение*, № 11, С. 88–99.

Минкин и др., 1982 – Минкин М.Б., Горбунов Н.И., Садименко П.А. (1982). Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв, Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 280 с.

Морозов, Безуглова, 2011 – Морозов И.В., Безуглова О.С. (2011). Классификации элементарных почвенных частиц в разных школах почвоведения // *Фундаментальные исследования*, № 12-2, С. 281–285.

Москаленко и др., 2013 – Москаленко А.П., Калиниченко В.П., Овчинников В.Н., Москаленко С.А., Губачев В.А. (2013). Биogeосистемотехника – основа практики экологической политики и экологической экономики // *Экономика и предпринимательство*, № 12-3 (41-3), С. 160–165.

Назарова, Курвантаев, 2016 – Назарова С., Курвантаев Р. (2016). Эволюция и прогноз развития орошаемых почв нижней части долины Зерафшана // *Живые и биокосные системы*, № 17, URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-7>

Приходько, 2003 – Приходько В.Е. (2003). Развитие почв Поволжья под влиянием орошения / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Пушино, <http://www.dissercat.com/content/razvitie-pochv-povolzhya-pod-vliyaniem-orosheniya>

Ростов-на-Дону, 2017 – Ростов-на-Дону (2017), 02 Июнь, 18:20 1695, РБК: <http://rostov.rbc.ru/rostov/02/06/2017/593161e89a79476e75b4af1a?from=main>

Рыжаков и др., 2017 – Рыжаков А.Н., Шкура В.Н., Штанько А.С. (2017). Очертания контуров увлажнения, формируемых при капельном орошении // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 2(26), с. 98–114. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec483-field6.pdf

Топунова и др., 2010 – Топунова И.В., Приходько В.Е., Соколова Т.А. (2010). Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов

Ростовской области (Багаевско-Садковская оросительная система) // Вестник Московского университета, Серия 17: Почвоведение, № 1, С. 3–10.

Чайка, Гурина, 2017 – *Чайка Н.И., Гурина И.В.* (2017). Эколого-мелиоративная и биологическая характеристика корневых систем растений на породных отвалах угольных шахт Донбасса // // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), С. 50–68. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec480-field6.pdf

Чижикова, 1995 – *Чижикова Н.П.* (1995). Влияние орошения на изменение минералогического состава черноземов и каштановых почв // Почвоведение, № 1, С. 128–144.

Шейн и др., 2009 – *Шейн Е.В., Щеглов Д.И., Умарова А.Б., Соколова И.В., Милановский Е.Ю.* (2009). Структурное состояние техноземов и формирование в них преимущественных потоков влаги // Почвоведение, № 66 С. 687–695.

Шейн и др., 2016 – *Шейн Е.В., Скворцова Е.Б., Дембовецкий А.В., Абросимов К.Н., Ильин Л.И., Шнырев Н.А.* (2016). Распределение пор по размерам в суглинистых почвах: сравнение микротомографического и капилляриметрического методов определения // Почвоведение, № 3, С. 344–354.

Штанько и др., 2017 – *Штанько А. С., Ю. Ю. Глуценко, О. В. Воронов* (2017). Оценка точности аппроксимации положения изоплет локальных контуров увлажнения при капельном поливе // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(26), с. 69–86. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf

Ясониди, 2011 – *Ясониди, О.Е.* (2011). Капельное орошение. Новочеркасск: Изд-во НГМА, 322 с.

Ahmad and Khan, 2017 – *Ahmad A., and Khan S.* (2017). Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer? // *Irrig. and Drain.*, 66: 34–44. doi: 10.1002/ird.2021

Anvari et al., 2017 – *Anvari S., Mousavi S. J. and Morid, S.* (2017). Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions // *Irrig. and Drain.*, Vol. 66, Is. 2, pp. 163–172, doi: 10.1002/ird.2130

Banihabib, 2017 – *Banihabib M.E., Zahraei A., and Eslamian, S.* (2017). Dynamic Programming Model for the System of a Non-Uniform Deficit Irrigation and a Reservoir // *Irrig. and Drain.*, 66: 71–81. doi: 10.1002/ird.2055

Barrů et al., 2009 – *Barrů P., Berger G., Velde B.* (2009)/ How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils // *Geoderma* 151 (2009) 22–30.

Baule et al., 2017 – *Baule William, Barry Allred, Jane Frankenberger, Debra Gamble, Jeff Andresen, Kpoti M. Gunn, Larry Brown* (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019>

Batukaev et al., 2016a – *Batukaev Abdul-Malik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova* (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7, Iss. 2, 415–423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Batukaev et al., 2016b – *Batukaev Abdulmalik, Valery Kalinitchenko, Ali Zarmaev, Andrey Skoupen, Zaurbek Dikaev, Vaha Jusupov, Artem Rykhlik, Bauer Tatiana* (2016). Biogeosystem technique as a base of Sustainable Irrigated Agriculture // EGU General Assembly. Vienna, 2016. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3416

Battude et al., 2017 – *Battude Marjorie, Ahmad Al Bitar, Aurore Brut, Tiphaine Tallec, Mireille Huc, Jérôme Cros, Jean-Jacques Weber, Ludovic Lhuissier, Vincent Simonneaux, Valérie Demarez* (2017). Modeling water needs and total irrigation depths of maize crop in the south west of France using high spatial and temporal resolution satellite imagery // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.018>

Bohle, 2017 – *Bohle Martin* (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche // *Geosciences*, 7(1), 18; Published: 22 March 2017, doi:10.3390/geosciences7010018

Casanova et al., 2017 – *Casanova L., M. Corell, M.P. Suárez, P. Rallo, M.J. Martín-Palomo, M.R. Jiménez* (2017). Bruising susceptibility of Manzanilla de Sevilla table olive cultivar under

Regulated Deficit Irrigation // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.012>

[Cuomo, 2017](#) – Cuomo, C. (2017). 'Anthropocene': An Ethical Crisis, Not a Geological Epoch, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-17142.

[de Vries et al., 2017](#) – de Vries Enno T., Amir Raoof, Martinus Th. van Genuchten (2017). Multiscale modelling of dual-porosity porous media; a computational pore-scale study for flow and solute transport // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.013>

[Du et al., 2017](#) – Du, E., X. Cai, N. Brozović, and B. Minsker (2017), Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction // *Water Resour. Res.*, 53, doi: 10.1002/2016WRO20287

[El Gafy et al., 2017](#) – El Gafy, I., Grigg, N., and Reagan, W. (2017). Dynamic Behaviour of the Water–Food–Energy Nexus: Focus on Crop Production and Consumption // *Irrig. and Drain.*, 66: 19–33. doi: 10.1002/ird.2060

[Elsayed et al., 2017](#) – Elsayed Salah, Mohamed Elhoweity, Hazem H. Ibrahim, Yaser Hassan Dewir, Hussein M. Migdadi, Urs Schmidhalter (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.001>

[Endovitsky et al., 2015](#) – Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Sushkova S.N. (2015). Ion's association in soil solution as a factor of geochemical barrier's stability. The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 644–646.

[Endovitsky et al., 2016](#) – Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

[Gao et al., 2017](#) – Gao Yuqin, Yu Yuan, Huaizhi Wang, Arthur R. Schmidt, Kexuan Wang, Liu Ye (2017). Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model // *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 2130–2138; doi: 10.2166/wst.2017.023

[Glazko, Sister, 2016](#) – Glazko VI, Sister VG (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres // *Theoretical & Applied Science*, No 04(36): 46–68. SOI:<http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-36-9>, doi:<http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>

[Jangra et al., 2017](#) – Jangra, P., Jhorar, R.K., Kumar, S., and Kamra, S.K. (2017). Performance Evaluation of a Traveller Irrigation System // *Irrig. and Drain.*, 66: 173–181. doi: 10.1002/ird.2097

[Jarvis et al., 2016](#) – Nicholas Jarvis, John Koestel, Mats Larsbo (2016). Understanding Preferential Flow in the Vadose Zone: Recent Advances and Future Prospects // *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.09.0075

[Hassan-Esfahani, 2017](#) – Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., and Mckee, M. (2017). Spatial Root Zone Soil Water Content Estimation in Agricultural Lands Using Bayesian-Based Artificial Neural Networks and High- Resolution Visual, NIR, and Thermal Imagery // *Irrig. and Drain.*, 66: 273–288. doi: 10.1002/ird.2098

[Kalinitchenko et al., 2016](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, EGU2016-3419

[Kalinichenko, 2016a](#) – Kalinichenko Valery P. (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem

Technique (Problem-Analytical Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinitchenko, 2016b](#) – Kalinitchenko Valery P. (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

[Kalinitchenko et al., 2014](#) – Kalinitchenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov (2014). Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH Iupac international congress of pesticide chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10–14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. p. 37.

[Kalinichenko et al., 2015a](#) – Kalinitchenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U. (2015). Implementation of the Principals of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique // Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452-456.

[Kalinichenko et al., 2015b](#) – Kalinichenko VP, Lyakhov VP, Yusupov VU, Khalilov RR. (2015). Biogeosystem technique as a new basis for the synthesis of ideas and attributes of national security in the 21st century // *State and Municipal government. Scientific notes SKAGS*, № 3, pp. 144–149.

[Kalinichenko et al., 2017](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Magomed Batukaev, and Tatiana Minkina (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate // *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna.

[Meng, Li, 2017](#) – Meng Jin, Heng Li (2017). An efficient stochastic approach for flow in porous media via sparse polynomial chaos expansion constructed by feature selection // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.019>

[Miao et al., 2017](#) – Miao Xiuxiu, Kirill M. Gerke, Timofey O. Sizonenko (2017), A new way to parameterize hydraulic conductances of pore elements: A step towards creating pore-networks without pore shape simplifications // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.021>

[Mujtaba and Lee, 2017](#) – Mujtaba Ghulam, Kisay Lee (2017). Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.078>

[Ochoa et al., 2014](#) – Ochoa Carlos, Steve Guldán, Alexander Fernald, Vince Tidwell, Emile Elias, Karina Gutierrez, and Mike Borman (2014). Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agro-ecosystems of the western USA // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 16, EGU2014-3161

[Paredes et al., 2017](#) – Paredes Paula, Luis S. Pereira, Gonçalo C. Rodrigues, Nuno Botelho, Maria Odete Torres (2017). Using the FAO dual crop coefficient approach to model water use and productivity of processing pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by irrigation strategies // *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>

[Rasmussen et al., 1972](#) – Rasmussen W.W., D.P. Moore and L.A. Alban (1972). Improvement of a Solonchic (Slick Spot) Soil by Deep Plowing, Subsoiling, and Amendments, *Soil Science Society of America Journal* 36:137-142 doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600010032x

[Role of International..., 2017](#) – (2017). Role of International Research Program for Irrigation and Drainage (IRPID) // *Irrig. and Drain.*, 66: 141. doi:10.1002/ird.2120

[Salomé et al., 2017](#) – Salomé M.S. Shokri-Kuehni, Mansoureh Norouzi Rad, Colin Webb, Nima Shokri (2017). Impact of type of salt and ambient conditions on saline water evaporation from porous media // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.004>

[Shadman et al., 2017](#) – Shadman Veysi, Abd Ali Naseri, Saeid Hamzeh, Harm Bartholomeus (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields //

Agricultural Water Management, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016>

[Shein et al., 2013](#) – Shein E.V., Milanovskii E.Y., Khaidapova D.D., Nikolaeva E.I., Rusanov A.M. (2013). Mathematical models of some soil characteristics: substantiation, analysis, and using features of model parameters // *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, № 5, pp. 541–547, doi:10.1134/S1064229313050128

[Sikorska and Renard, 2017](#) – Sikorska Anna E. , Benjamin Renard (2017). Calibrating a hydrological model in stage space to account for rating curve uncertainties: general framework and key challenges // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.011>

Silva et al., 2014 – Silva Bruno Montoani, Érika Andressa da Silva, Geraldo César de Oliveira, Mozart Martins Ferreira, Milson Evaldo Serafim (2014). Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications // *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Vol. 38, No. 2, Viçosa Mar./Apr. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>

[Terleev et al., 2016](#) – Terleev Vitaly , Aleksandr Nikonorov, Vladimir Badenko, Inna Guseva, Yulia Volkova, Olga Skvortsova, Sergey Pavlov, and Wilfried Mirschel (2016). Modeling of Hydrophysical Properties of the Soil as Capillary-Porous Media and Improvement of Mualem-Van Genuchten Method as a Part of Foundation Arrangement Research // *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2016, Article ID 8176728, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8176728>

[Tran et al., 2017](#) – Tran Hai Nguyen, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Huan-Ping Chao (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 88–116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>

[Tyagi, 2017](#) – Tyagi, A.C. (2017). Role of Irrigation for Sustainable Food Production: outcomes of Second World Irrigation Forum // *Irrig. and Drain.*, 66: 289–290. doi: 10.1002/ird.2134

[Wahba, 2017](#) – Wahba, M.A.S. (2017). Assessment of Options for the Sustainable Use of Agricultural Drainage Water For Irrigation in Egypt by Simulation Modelling // *Irrig. and Drain.*, 66: 118–128. doi: 10.1002/ird.2029

[Wang et al., 2017](#) – Wang, T., T. E. Franz, R. Li, J. You, M. D. Shulski, and C. Ray (2017). Evaluating climate and soil effects on regional soil moisture spatial variability using EOFs // *Water Resour. Res.*, 53, doi:10.1002/2017WR020642

[West et al., 2017](#) – West Camilla, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan (2017). Expert opinion on risks to the long-term viability of residential recycled water schemes: An Australian study // *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.077>

[Willis et al., 2017](#) – Willis John L., Ahmed Al-Omari, Robert Bastian, Bill Brower, Christine DeBarbadillo, Sudhir Murthy, Christopher Peo, Zhiguo Yuan (2017). A greenhouse gas source of surprising significance: anthropogenic CO₂ emissions from use of methanol in sewage treatment // *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 1997-2012; doi: 10.2166/wst.2017.033

[Zhu et al., 2016](#) – Zhu, X., Peters, T., and Neibling, H. (2016). Hydraulic Performance Assessment of Lesa at low Pressure // *Irrig. and Drain.*, 65: 530–536. doi: 10.1002/ird.1982

[Zhuang et al., 2017](#) – Zhuang L., C.R. Bezerra Coelho, S.M. Hassanizadeh, M.Th. van Genuchten (2017). Analysis of the Hysteretic Hydraulic Properties of Unsaturated Soil // *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.11.0115

References

[Adzhiev et al., 2013](#) – Adzhiev A.M., Egorov E.A., Zarmaev A.A., Druzhinin E.A. (2013). Scientific and Applied Aspects of Innovative Development and Modernization of the Grapes and Wine Industry of Russia, Makhachkala.

[Balakay et al., 2017](#) – Balakay G.T., Vasiliev S.M., Babichev A.N. (2017). The concept of new generation irrigation machines for precision irrigation technology, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 1–18. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf

[Bezuglova, 2001](#) – Bezuglova OS (2001). Humus condition of soils of the South Russia, Rostov-on-Don: Publisher SKNC VSh, 228 p.

[Belitsyna et al., 1988](#) – Belitsyna GD, Vasilyevskaya VD, Grishina LA, Evdokimova TI (1988). Soil Science, Vol. 1, M.: Higher School, 400 c.

[Bronfman, Khlebnikov, 1985](#) – Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. (1985). Azov sea. Bases for reconstruction / Ed. Prof. A.I. Simonov. L.: Gidrometeoizdat, 272 p.

[Voyevodina, 2011](#) – Voyevodina L.A. (2011). Influence of overwatering during the drip irrigation on land reclamation state, Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture: coll. Art. FGNU "RosNIIPM" / Ed. VN Shchedrin, Novochoerkassk: Helikon, vol. 45, pp. 49–56.

[Voyevodina, 2016](#) – Voyevodina LA (2016). The structure of the soil and the factors that modify it under irrigation, *Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Journal*, No. 1 (21), pp. 134–154. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec398-field6.pdf

[Golovina et al., 2017](#) – Golovina N.A., Yu.Ye. Domashenko, S.M. Vasiliev (2017). Development of environmentally safe filter element for drip irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 144–155

[Zaitseva et al., 2013](#) – Zaitseva RI, Komarov, NM, Grishina RV, Kirichenko AV, Egorov, YV, Muromtsev NA (2013). Resistant varieties of spring barley in the phase of germination – the shoots to soil salinity and moisture deficit during the germination of seeds in solutions. The current state of chernozems. Mat. Int. Conf., September 24–26, 2013 Rostov-on-Don, pp. 113–116.

[Zarmaev, 2001](#) – Zarmaev AA (2001). Viticulture on the basis of adaptive intensification, *Wine-making and viticulture*, No. 3, pp. 28-30.

[Zarmaev, 2007](#) – Zarmaev AA (2007). Adaptive potential of grape varieties in the Chechen Republic, *Vestnik of Russian Agricultural Science*, No. 5, pp. 35-36.

[Zatinatsky et al., 2007](#) – Zatinatsky NV, Zeyliger AM. Guber AK, Khitrov NB (2007). Investigation of preferred moisture fluxes in meadow-chernozem soil of the Saratov Zavolzhye, *Pochvovedenie*, No. 5, pp. 585-599.

[Iljinskaya, Shkodina, 2009](#) – Iljinskaya IN, Shkodina OP (2009). Rationing of water drainage – a factor of water management / Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. RosNIIPM: Novochoerkassk, 2009. Vol. 41. P. 74–84.

[Kalinitchenko, 1990](#) – Kalinitchenko V.P. Regulation of hydrological regime for reclamation of spatially inhomogeneous soil cover structures of steppe and dry steppe areas of South-East of European Territory of USSR / Dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Moscow, MSU, 1990.

[Kalinitchenko et al., 1997](#) – Kalinitchenko V.P., Nazarenko O.G., Il'ina L.P. (1997). Structural organization of soil body in overmoistened soils on slopes in the chernozemic zone, *Proceedings of Russian Academy of Agricultural Sciences*, No. 5, pp. 22–24.

[Kalinichenko, 2010a](#) – Kalinichenko V.P. (2010). Patent for invention RU № 2386243 C1. Method of intra-soil pulse discrete plant watering. IPC A01G 25/06 (2006.01) A01C 23/02 (2006.01). Patent owner Kalinichenko V.P. Application No. 2009102490/12 16.01.09. Published 04/20/2010. Bul. №11. 9 p.: 4 fig.

[Kalinichenko, 2010b](#) – Kalinichenko V.P. (2010). Patent for invention RU No. 2411718 C2. The device for performing method of intra-soil pulse discrete plant watering. Patent owner Kalinichenko V.P. Application No. 2009110757/20 (016023) 30.03.09. Published 02/20/2010. Bul. №5. 10 p. : 2 fig.

[Kalinitchenko, 2012](#) – Kalinitchenko VP (2012). Biogeosystem technique as an epistemological framework for ecosystems managing, *Live and bioinert systems*, December, Issue. 1.

[Kalinichenko, 2015](#) – Kalinichenko V. (2015). Creating soil supply systems and irrigation methods for botanical gardens on the method of Biogeosystem Technique // The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 50-54.

[Kalinichenko, 2016](#) – Kalinichenko VP (2016). Biogeosystem technique – an innovative method of managing productivity and soil health, International Scientific and Practical Conference Modern problems of herbology and improvement of soil health (21–23 June 2016), Big Vyazemy, pp. 246–263.

[Kalinichenko, 2017](#) – Kalinichenko VP (2017). Effective use of phosphogypsum in agriculture, *Bulletin of Plant Nutrition*, No. 1, p. 2.33.

[Kalinitchenko et al., 2012](#) – Kalinichenko VP, Zarmaev AA, Solntseva NG, Skovpen AN, AP Endovitsky, Boldyrev AA, AE Rychlik (2012). Rationale of Intrasoil discrete pulse concept of irrigation and its implementation, Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences, No. 2, pp. 81-85.

[Kalinichenko et al., 2013a](#) – Kalinichenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Chulkov V.V., Mamilov B.B., Chernenko V.V., Lohmanova O.I. (2013). Patent RU № 2498550 C2. Method of planting trees. IPC A01B 79/ 02. Application number 2012102879 (004261) from 27.01.2012. Published on 20.11.2013. Bull. No. 32. 4 p :fig.

[Kalinichenko et al., 2013b](#) – Kalinichenko VP, Minkina TM, Bezuglova OS, Zarmaev AA Romanov OV, Kim V.CH.-D. (2013). Concept of subsurface discrete pulse irrigation, *Environmental Engineering*, № 2, pp. 6–11.

[Lisetskii et al., 2016](#) – Lisetskii F.N., Sudnik-Wojcikowska B., Moysiienko I.I. (2016). Flora differentiation among local ecotopes in the transzonal study of forest–steppe and steppe mounds, *Biology Bulletin*, Vol. 43, № 2, pp. 169–176.

[Mindubaev et al., 2015](#) – Mindubaev AZ, Voloshin AD, Gorbacuk EV, Kulik, NV, Alimov, FC, ST Minzanova, Mironova LG, Saparmuradov KA, Hayarov HR, Yahvarov DG (2015). Entering white phosphorus into the natural cycle of substances. Cultivation of resistant microorganisms, *Butlerov Communications*. 41, 54–81, roi: jbc-01/15-41-3-54

[Minkin et al., 1980](#) – Minkin MB, Babushkin VM, Sadimenko P.A. (1980). Solonetz of Southeast of Rostov region, Rostov-on-Don: The Publishing House of Rostov University, 272 p.

[Minkin, Kalinichenko, 1981](#) – Minkin M.B., Kalinichenko V.P. (1981). Intensification of melioration process on the soils of solonetz complexes by means of regulation of hydrological regime, *Soil Science*, No. 11, pp. 88–99.

[Minkin et al., 1982](#) – Minkin MB, Gorbunov NI, Sadimenko PA (1982). Actual questions of physical and colloidal chemistry of soils, Rostov-on-Don: The Publishing House of Rostov University, 280 p.

[Morozov, Bezuglova, 2011](#) – Morozov IV, Bezuglova OS (2011). Classification of elementary soil particles at different schools of Soil Science, *Basic Research*, № 12-2, pp. 281–285.

[Moskalenko et al., 2013](#) – Moskalenko AP Kalinichenko VP Ovchinnikov V. Moskalenko SA, VA Gubachev (2013). Biogeosystem technique – the practice framework for environmental policy and environmental economics, *Economy and Entrepreneurship*, No. 12-3 (41-3), pp. 160–165.

[Nazarova, Kurvantaev, 2016](#) – Nazarova S., Kurvantaev R. (2016). Evolution and prognosis of the development of irrigated soils in the lower part of the Zerafshan valley, *Live and biocose systems*, № 17, URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-7>

[Prikhodko, 2003](#) – Prikhodko V.E. (2003). Development of soil in the Volga region under the influence of irrigation / Dissertation author's abstract on the degree of Doctor of Biological Sciences / Pushchino

[Rostov-on-Don, 2017](#) – Rostov-on-Don (2017), 02 June, 18:20 1 695, RBC: <http://rostov.rbc.ru/rostov/02/06/2017/593161e89a79476e75b4af1a?from=main>

[Ryzhakov et al., 2017](#) – Ryzhakov A.N., Shkura V.N., Shtanko A.S. (2017). Moisture contours profile formed by drop irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 98–114. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec483-field6.pdf

[Topunova et al., 2010](#) – Topunova IV, Prikhodko VE, Sokolova TA (2010). Influence of irrigation on the content and mineralogical composition of the clay fraction of chernozems in the Rostov Region (Bagaevsko-Sadkovskaya irrigation system), *Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science*, № 1, pp. 3–10.

[Chaika and Gurina, 2017](#) – Chaika N.I., Gurina I.V. (2017). Ecological-meliorative and biological characteristics of plants root systems on Donbass coal mines waste dumps, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 50–68. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec480-field6.pdf

[Chizhikova, 1995](#) – Chizhikova N.P. (1995). Influence of irrigation on the change in the mineralogical composition of chernozems and chestnut soils, *Pochvovedenie*, No. 1, pp. 128-144.

[Shein et al., 2009](#) – Shein E.V., Umarova A.B., Sokolova I.V., Milanovskii E.Yu., Shcheglov D.I. (2009). Structural status of technogenic soils and the development of preferential water flows, *Eurasian Soil Science*, Vol. 42, No. 6, pp. 636-644.

Shein EV et al, 2016 – Shein EV, EB Skvortsova, Dembovetsky AV Abrosimov KN, Ilyin LI, NA Shnyrev (2016). Pore size distribution in the loamy soils: a comparison of tomographic and micro-capillaries methods of the metric determining, *Soil Science*, No. 3, pp. 344–354.

Shtanko et al., 2017 – Shtanko A. S., Yu. Yu. Glushchenko, O. V. Voronov (2017). Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation Accuracy evaluation of approximation of isopleths position of local moisture countours under drip irrigation, *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 2(26), pp. 69–86. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec481-field6.pdf

Yasonidi, 2011 – Yasonidi, O.E. (2011). Drip irrigation. Novocherkassk: Izd-vo NGMA, 322 p.

Ahmad and Khan, 2017 – Ahmad A., and Khan S. (2017). Water and Energy Scarcity for Agriculture: Is Irrigation Modernization the Answer?, *Irrig. and Drain.*, 66: 34–44. doi: 10.1002/ird.2021

Anvari et al., 2017 – Anvari S., Mousavi S. J. and Morid, S. (2017). Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions, *Irrig. and Drain.*, Vol. 66, Is. 2, pp. 163–172, doi:10.1002/ird.2130

Banihabib, 2017 – Banihabib M.E., Zahraei A., and Eslamian, S. (2017). Dynamic Programming Model for the System of a Non-Uniform Deficit Irrigation and a Reservoir, *Irrig. and Drain.*, 66: 71–81. doi: 10.1002/ird.2055

Barrů et al., 2009 – Barrů P., Berger G., Velde B. (2009)/ How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils // *Geoderma* 151 (2009) 22–30.

Baule et al., 2017 – Baule William, Barry Allred, Jane Frankenberger, Debra Gamble, Jeff Andresen, Kpoti M. Gunn, Larry Brown (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019>

Batukaev et al., 2016a – Batukaev Abdul-Malik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 7, Iss. 2, 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Batukaev et al., 2016b – Batukaev Abdulmalik, Valery Kalinitchenko, Ali Zarmaev, Andrey Skoupen, Zaurbek Dikaev, Vaha Jusupov, Artem Rykhlik, Bauer Tatiana (2016). Biogeosystem technique as a base of Sustainable Irrigated Agriculture, EGU General Assembly. Vienna, 2016. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-3416

Battude et al., 2017 – Battude Marjorie, Ahmad Al Bitar, Aurore Brut, Tiphaine Tallec, Mireille Huc, Jérôme Cros, Jean-Jacques Weber, Ludovic Lhuissier, Vincent Simonneaux, Valérie Demarez (2017). Modeling water needs and total irrigation depths of maize crop in the south west of France using high spatial and temporal resolution satellite imagery, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.018>

Bohle, 2017 – Bohle Martin (2017). Ideal-Type Narratives for Engineering a Human Niche, *Geosciences*, 7(1), 18; Published: 22 March 2017, doi:10.3390/geosciences7010018

Casanova et al., 2017 – Casanova L., M. Corell, M.P. Suárez, P. Rallo, M.J. Martín-Palomo, M.R. Jiménez (2017). Bruising susceptibility of Manzanilla de Sevilla table olive cultivar under Regulated Deficit Irrigation, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.012>

Cuomo, 2017 – Cuomo, C. (2017). 'Anthropocene': An Ethical Crisis, Not a Geological Epoch, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-17142.

de Vries et al., 2017 – de Vries Enno T., Amir Raoof, Martinus Th. van Genuchten (2017). Multiscale modelling of dual-porosity porous media; a computational pore-scale study for flow and solute transport, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.013>

Du et al., 2017 – Du, E., X. Cai, N. Brozović, and B. Minsker (2017), Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction, *Water Resour. Res.*, 53, doi: 10.1002/2016WR020287

[El Gafy et al., 2017](#) – *El Gafy, I., Grigg, N., and Reagan, W.* (2017). Dynamic Behaviour of the Water–Food–Energy Nexus: Focus on Crop Production and Consumption, *Irrig. and Drain.*, 66: 19–33. doi: 10.1002/ird.2060

[Elsayed et al., 2017](#) – *Elsayed Salah, Mohamed Elhoweity, Hazem H. Ibrahim, Yaser Hassan Dewir, Hussein M. Migdadi, Urs Schmidhalter* (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.001>

[Endovitsky et al., 2015](#) – *Endovitsky A.P., Batukaev A.A., Dikaev Z.S., Minkina T.M., Kalinichenko V.P., Sushkova S.N.* (2015). Ion's association in soil solution as a factor of geochemical barrier's stability. The role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 644–646.

[Endovitsky et al., 2016](#) – *Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov* (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem, *Journal of Geochemical Exploration*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

[Gao et al., 2017](#) – *Gao Yuqin, Yu Yuan, Huaizhi Wang, Arthur R. Schmidt, Kexuan Wang, Liu Ye* (2017). Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model, *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 2130-2138; doi: 10.2166/wst.2017.023

[Glazko, Sister, 2016](#) – *Glazko VI, Sister VG* (2016). Biogeosystem technique as a method to attenuate the conflict between bio-, agri- and techno- spheres, *Theoretical & Applied Science*, No 04(36): 46-68. SOI:<http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-36-9>, doi:<http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.04.36.9>

[Jangra et al., 2017](#) – *Jangra, P., Jhorar, R.K., Kumar, S., and Kamra, S.K.* (2017). Performance Evaluation of a Traveller Irrigation System, *Irrig. and Drain.*, 66: 173–181. doi: 10.1002/ird.2097

[Jarvis et al., 2016](#) – *Nicholas Jarvis, John Koestel, Mats Larsbo* (2016). Understanding Preferential Flow in the Vadose Zone: Recent Advances and Future Prospects, *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.09.0075

[Hassan-Esfahani, 2017](#) – *Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., and Mckee, M.* (2017). Spatial Root Zone Soil Water Content Estimation in Agricultural Lands Using Bayesian-Based Artificial Neural Networks and High- Resolution Visual, NIR, and Thermal Imagery, *Irrig. and Drain.*, 66: 273–288. doi: 10.1002/ird.2098

[Kalinichenko et al., 2016](#) – *Kalinichenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova* (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, EGU2016-3419

[Kalinichenko, 2016a](#) – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

[Kalinichenko, 2016b](#) – *Kalinichenko Valery P.* (2016). Technologies and Technical Means for Matter Recycling into the Soil (Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (3), Is. 1, pp. 58–85. doi: 10.13187/ijep.2016.3.58

[Kalinichenko et al., 2014](#) – *Kalinichenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov* (2014). Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10–14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. p. 37.).

[Kalinichenko et al., 2015a](#) – Kalinitchenko V.P., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Startsev V.F., Usupov V.U. (2015). Implementation of the Principals of Geoethics to Technologies of Biosphere by Biogeosystem Technique, Role of botanic gardens in the conservation and monitoring of biodiversity. The collection of materials of the International scientific conference devoted to the 100th anniversary of the Southern Federal University. 27 – 30 May 2015 Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, pp. 452-456.

[Kalinichenko et al., 2015b](#) – Kalinichenko VP, Lyakhov VP, Yusupov VU, Khalilov RR. (2015). Biogeosystem technique as a new basis for the synthesis of ideas and attributes of national security in the 21st century, *State and Municipal government. Scientific notes SKAGS*, № 3, pp. 144–149.

[Kalinichenko et al., 2017](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Magomed Batukaev, and Tatiana Minkina (2017). Biogeosystem Technique as a method to correct the climate, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-2540, EGU General Assembly, Vienna.

[Meng, Li, 2017](#) – Meng Jin, Heng Li (2017). An efficient stochastic approach for flow in porous media via sparse polynomial chaos expansion constructed by feature selection, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.019>

[Miao et al., 2017](#) – Miao Xiuxiu, Kirill M. Gerke, Timofey O. Sizonenko (2017), A new way to parameterize hydraulic conductances of pore elements: A step towards creating pore-networks without pore shape simplifications, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.021>

[Mujtaba and Lee, 2017](#) – Mujtaba Ghulam, Kisay Lee (2017). Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.078>

[Ochoa et al., 2014](#) – Ochoa Carlos, Steve Guldán, Alexander Fernald, Vince Tidwell, Emile Elias, Karina Gutierrez, and Mike Borman (2014). Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agro-ecosystems of the western USA, *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 16, EGU2014-3161

[Paredes et al., 2017](#) – Paredes Paula, Luis S. Pereira, Gonçalo C. Rodrigues, Nuno Botelho, Maria Odete Torres (2017). Using the FAO dual crop coefficient approach to model water use and productivity of processing pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by irrigation strategies, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>

[Rasmussen et al., 1972](#) – Rasmussen W.W., D.P. Moore and L.A. Alban (1972). Improvemet of a Solonetzic (Slick Spot) Soil by Deep Plowing, Subsoiling, and Amendments, *Soil Science Society of America Journal* 36:137-142 doi:10.2136/sssaj1972.03615995003600010032x

[Role of International..., 2017](#) – (2017). Role of International Research Program for Irrigation and Drainage (IRPID), *Irrig. and Drain.*, 66: 141. doi:10.1002/ird.2120

[Salomé et al., 2017](#) – Salomé M.S. Shokri-Kuehni, Mansoureh Norouzi Rad, Colin Webb, Nima Shokri (2017). Impact of type of salt and ambient conditions on saline water evaporation from porous media, *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.004>

[Shadman et al., 2017](#) – Shadman Veysi, Abd Ali Naseri, Saeid Hamzeh, Harm Bartholomeus (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields, *Agricultural Water Management*, Vol. 189, 31 July 2017, pp. 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016>

[Shein et al., 2013](#) – Shein E.V., Milanovskii E.Y., Khaidapova D.D., Nikolaeva E.I., Rusanov A.M. (2013). Mathematical models of some soil characteristics: substantiation, analysis, and using features of model parameters, *Eurasian Soil Science*, Vol. 46, № 5, pp. 541–547, doi:10.1134/S1064229313050128

[Sikorska and Renard, 2017](#) – Sikorska Anna E , Benjamin Renard (2017). Calibrating a hydrological model in stage space to account for rating curve uncertainties: general framework and key challenges // *Advances in Water Resources*, Vol. 105, July 2017, pp. 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.011>

[Silva et al., 2014](#) – Silva Bruno Montoani, Érika Andressa da Silva, Geraldo César de Oliveira, Mozart Martins Ferreira, Milson Evaldo Serafim (2014). Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications, *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Vol. 38, No. 2, Viçosa Mar./Apr. 2014 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>

Terleev et al., 2016 – Terleev Vitaly, Aleksandr Nikonorov, Vladimir Badenko, Inna Guseva, Yulia Volkova, Olga Skvortsova, Sergey Pavlov, and Wilfried Mirschel (2016). Modeling of Hydrophysical Properties of the Soil as Capillary-Porous Media and Improvement of Mualem-Van Genuchten Method as a Part of Foundation Arrangement Research, *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2016, Article ID 8176728, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8176728>

Tran et al., 2017 – Tran Hai Nguyen, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Huan-Ping Chao (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 88–116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>

Tyagi, 2017 – Tyagi, A.C. (2017). Role of Irrigation for Sustainable Food Production: outcomes of Second World Irrigation Forum, *Irrig. and Drain.*, 66: 289–290. doi: 10.1002/ird.2134

Wahba, 2017 – Wahba, M.A.S. (2017). Assessment of Options for the Sustainable Use of Agricultural Drainage Water For Irrigation in Egypt by Simulation Modelling, *Irrig. and Drain.*, 66: 118–128. doi: 10.1002/ird.2029

Wang et al., 2017 – Wang, T., T. E. Franz, R. Li, J. You, M. D. Shulski, and C. Ray (2017). Evaluating climate and soil effects on regional soil moisture spatial variability using EOFs, *Water Resour. Res.*, 53, doi:10.1002/2017WR020642

West et al., 2017 – West Camilla, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan (2017). Expert opinion on risks to the long-term viability of residential recycled water schemes: An Australian study, *Water Research*, Vol. 120, 1 September 2017, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.077>

Willis et al., 2017 – Willis John L., Ahmed Al-Omari, Robert Bastian, Bill Brower, Christine DeBarbadillo, Sudhir Murthy, Christopher Peo, Zhiguo Yuan (2017). A greenhouse gas source of surprising significance: anthropogenic CO₂ emissions from use of methanol in sewage treatment, *Water Science and Technology*, May, 75 (9) 1997-2012; doi: 10.2166/wst.2017.033

Zhu et al., 2016 – Zhu, X., Peters, T., and Neibling, H. (2016). Hydraulic Performance Assessment of Lesa at low Pressure, *Irrig. and Drain.*, 65: 530–536. doi: 10.1002/ird.1982

Zhuang et al., 2017 – Zhuang L., C.R. Bezerra Coelho, S.M. Hassanizadeh, M.Th. van Genuchten (2017). Analysis of the Hysteretic Hydraulic Properties of Unsaturated Soil, *Vadose Zone Journal*, doi: 10.2136/vzj2016.11.0115

УДК 631.67: 574.42

Способ внутрипочвенного импульсного непрерывно-дискретного увлажнения (модельный эксперимент)

Артём Эдуардович Рыхлик ^{a, *}, Ольга Степановна Безуглова ^b

^a Институт плодородия почв юга России, Российская Федерация

^b Южный федеральный университет, Российская Федерация

Аннотация. Общепринятая имитационная фронтальная гравитационная непрерывно-изотропная парадигма ирригации и дренажа приводит к отрицательным результатам в виде разрушения почв и природно-территориальных комплексов, утраты пресной воды. Для экспериментального обоснования новой внутрипочвенной импульсной непрерывно-дискретной парадигмы ирригации, которая предложена в рамках научно-технического направления «биogeосистемотехника», выполнен модельный эксперимент с целью изучения последствий процесса увлажнения почвы при разных способах полива. Элементы модельной системы – пластмассовые прозрачные цилиндры высотой 20 см, диаметром 5 см, в которые помещалась почва – чернозем обыкновенный, насыпной образец из слоя 0–30 см, перетертый, с уплотнением до состояния, близкого к естественному слоению и плотности. Импульсную непрерывно-дискретную подачу

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: tyoma-4444@yandex.ru (А.Э. Рыхлик)

воды внутрь почвы имитировали с помощью шприца медицинского 20 мл, иглы медицинской спинальной длиной 12 см. Эксперимент проводили с культурой ячменя ярового на начальном этапе органогенеза при естественной инсоляции. Выполняли поверхностный полив, дождевание, капельный полив, и новый внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы. После поверхностного полива, дождевания, капельного полива наблюдали просачивание воды сквозь почву в количестве 30–50 % объема водоподачи, после полива наблюдали общее проседание поверхности, образование на ней корки. При капельном поливе проседание поверхности и образование корки шло локально непосредственно под капельницей. При внутрипочвенном импульсном континуально дискретном увлажнении почву увлажняли цилиндр 5-15 см глубиной, диаметром 5 см, поверхность почвы сохраняется в том же виде, что и после засыпки экспериментальной емкости почвой, корка не образуется. В модельной системе растения ячменя при новом способе увлажнения были развиты лучше, а расход воды был в 1,5–2,5 раза меньше, чем при стандартных способах полива растений. Модельный эксперимент выполнили в фокусе разработки роботизированной внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной системы увлажнения почвы.

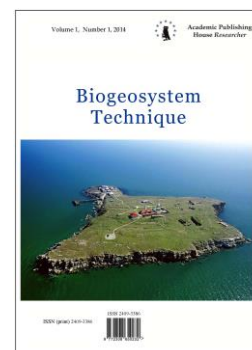
Ключевые слова: моделирование, поверхностный полив, дождевание, капельный полив, образование корки, биогеосистемотехника импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы, ячмень, органогенез.

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 66-81

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.66
www.ejournal19.com



UDC 630

Salt Neoformations in Soils of Central Mongolia

Evgeny V. Shein ^{a, *}, Galina V. Kharitonova ^b, Bayasgalan Amgalan ^c, Gantumur Sambuu ^c,
Valeria O. Krutikova ^{b, d}, Evgeny V. Kharitonov ^b

^a Lomonosov Moscow State University, Russian Federation

^b Institute of Water and Ecological Problems Far East Branch of RAS, Russian Federation

^c Mongolian State University of Science and Technology, Mongolia

^d Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch of RAS, Russian Federation

Abstract

Diagnosis of saline neoformations is an important characteristic of the solid phase of arid soils, since the formation of salt accumulations is closely related to the problem of the genesis of soil profiles, and to the possibility of their agricultural use. The formation of certain morphological forms (impregnation, powdering, concretion forms, cutans, individual crystals, their aggregates, etc.) depends on many factors – the granulometric composition of the soils, the type and characteristics of the water regime, the nature of the evaporation of solutions and the temperature differences. We considered the composition and forms of salt neoformations in the soils of Central Mongolia, in which unique conditions for their manifestation are realized. The most important of them are sandy coarse-grained granulometric composition with a high content of coarse sandy particles and clastic material, extremely low water flows, relatively small temporal variability in soil moisture and extreme daily and annual temperature differences. The use of modern methods of electron microscopy revealed that in the studied soils slow crystallization and the small number of nucleation centers lead to the formation of predominantly needle-like crystals and "brushes" of salts – calcite, barite and astrachanite. Furthermore, in these circumstances, and halite forms a highly unusual for him needle-like crystals. For soils this phenomenon observed for the first time. Also the formation of acicular salt crystals in the investigated soils was noted due to specific thermo-hydrological phenomena and was explained by the forces arising under these conditions.

Keywords: saline soils, aggregates, salt formations, Mongolia.

1. Introduction

Mongolia has an arid and cold climate due to its geographical settings of inland and mid-latitude highlands. A high moisture deficit, low humidity and low levels of incident energy characterize it. Despite 260 days (more than 3000 hours) of sunshine, total heat units above 10°C rarely exceed 2000 and in some areas are less than 1000. Snow cover is very light so soils are completely frozen in the winter. The depth of soil freezing (1.6–1.7 m for the Gobi Desert and 3.2–3.5 m for the forest steppe) during mid-October to early April ([Jambajamts, 1989](#)). Precipitation is generally low, ranging from less than 50 mm per year in the extreme south (Gobi desert region)

* Corresponding author

E-mail addresses: evgeny.shein@gmail.com (E.V. Shein)

to just over 500 mm per year in limited areas in the north. The average countrywide precipitation is about 200–230 mm that is almost exactly matched by the annual evapotranspiration: roughly 90–95 % of this amount returns to the atmosphere through evapotranspiration (Batjargal, 1992; Li et al., 2007; Nandintsetseg, Shinoda, 2011; Robock et al., 2000; Zhang et al., 2005). This is an extremely high evapotranspiration rate compared to other regions of the world. Only about 3 % of the total annual precipitation infiltrates into the soil to replenish aquifers and becomes potentially available as a water resource in the form of soil moisture or ground water. This proportion is very low compared to the water balances of other regions in Asia in which not less than 30–40 % of precipitation remains available (for example, the Amur river basin, Russia). Because of the continental climate, fluctuations in temperature are extreme, both annually and diurnally. Fluctuations can be as high as 30 °C in single day and the difference between average winter low temperature and summer high temperature in excess of 50 °C as compared to 25 °C range in Europe (Batjargal, 1992).

The features of soil formation processes in different natural and landscape zones of Mongolia are not identical, but are characterized by some common specificities, the most important of which are the slowness of weathering and clay formation processes and, as a consequence, the widespread distribution of soils of sandy granulometric composition with a high content of coarse sandy particles and clastic material. In addition, the small thickness of the soil profiles and their humus strata, the slowness of the biological cycle, the shallow penetration of the root systems into the soil, the nature of the soil-forming rocks (crushed stone and sanding) limit the manifestation of all water flows (Nogina, Dorzhgotov, 1982). The thickness of the moistured layer rarely exceeds 20–30 cm (Chizhikova, 1988; Yamanaka et al., 2007). The seasonal change in soil moisture was small (≈ 10 mm), which is consistent with the studies of Nogina et al. (1975), Robock et al. (2000), Ni-Meister et al. (2005) and Nandintsetseg, Shinoda (2011), and vertical profiles are almost constant with depth (Robock et al., 2000; Ni-Meister et al., 2005). Thus, soil moisture in Mongolia is characterized by relatively small temporal variability. Over Mongolia, the available soil moisture was about 30 % of the soil field capacity during the warm season, while, in the Gobi Desert zone, the available soil moisture was close to the wilting point throughout the year (Nandintsetseg, Shinoda, 2011; Nogina et al., 1975).

Zonal soils of the main natural zones of Mongolia are characterized by the absence of salinity, since the parent rocks are mainly represented by a low-power gravelly eluvo-deluvium slightly carbonate, not saline and without gypsum. Groundwater is deep and does not affect the processes of modern soil formation and salt accumulation. The special situation is occupied by closed depressions and soils that fill geological faults. These are areas of accumulation of surface and underground runoff, soils are often saline in these conditions. Within the Gobi Desert, red-colored deposits of Cretaceous age of various granulometric composition (from sand to clay) are quite widely developed, mostly in the saline (Polynov, 1952; Pankova, Rubtsova, 1983). Saline soils are not common, but their area is near 10.5 % (Pankova, 1986; Bepalov, 1951). They are genetically associated with ancient accumulations of salts and/or with the processes of modern salt accumulation, confined to the zone of modern geochemically subordinate hydromorphic landscapes.

Diagnosis of saline neoformations is an important characteristic of the solid phase of arid soils, is under the influence of soil solution equilibrium (Endovitsky et al., 2016; Batukaev et al., 2016), since the formation of salt accumulations is closely related to the problem of the genesis of soil profiles, and their presence in soils influences the possibility and methods of their agricultural use. The composition of salt accumulations depends on the composition of soil-forming rocks and soil solutions and the depth of groundwater. In their turn, with a close mineralogical composition, their (morphological) shape and dimensions can be completely different: impregnation, powdering, concretion forms, cutans, individual crystals, their aggregates, etc. The formation of certain morphological forms depends on many factors – the granulometric composition of the soils, the type and characteristics of the water regime, the nature of the evaporation of solutions and the temperature differences, the mode of soil processing and moistening (Kovda, 1946; Minashina, 1978; Shoba et al., 1983; Kalinitchenko, 2016; Kalinitchenko et al., 2014, 2016).

The purpose of this work is to consider the composition and forms of salt neoformations in the soils of Central Mongolia, in which unique conditions for their manifestation are realized – a sandy coarse-grained (granular) granulometric composition and low variations in soil moisture under extreme daily and annual temperature differences.

2. Materials and methods

Study area and soils

The study was focused on the soils of Central Mongolia: Gobi desert and Steppe Region (Fig. 1A). The warm period (April – October) is the main time of the soil evolution processes, the Gobi Desert and Steppe regions under study are characterized by the following temperature regime, the amount of precipitation and soil moisture (0–50 cm layer). According to the Institute of Meteorology and Hydrology of Mongolia for the period 1986–2005, the mean values of temperature, precipitation, and soil moisture for these zones are 14.2 ± 6.7 °C, 118 ± 4 mm, 16.1 ± 2.9 mm and 12.0 ± 6.7 °C, 199 ± 8 mm, 25.7 ± 3.5 mm, respectively (Nandintsetseg, Shinoda, 2011). Soil samples were taken to the depth of the soil moistening (0–20 cm) in September 2016.



Fig. 1. A. Sketch map of location of study areas (region1 and region 2). B. Typical landscapes of sampling sites: a–d – Gobi Desert Zona (region 1, sites 1–3 and 5 respectively); e, f – Steppe Zone (region 2, sites 6 and 8 respectively). Field photos, for other explanations see text

Gobi Desert Zone

Site 1. The northern alluvial fan descending from Züün Saihan ridge, at 2 km down from its foot, the bank of erosional gully about 1 m deep. Coordinates of the soil profile: latitude –

43°33/17.3// N, longitude – 104°06/57.3// E, altitude – 1968 m. Soil type: Endosalic Calcisols Yermic, loam (WRB 2006). The soil sample 1.1 was taken from the soil surface layer 0–20 cm, sample 1.2 – the same location at 20–35 cm depth, as a parent material (Fig.1Ba)

Site 2. The base of alluvial fan from Züün Saihan ridge, where the topography is getting nearly flat, at about 17 km north of the foot of the ridge. Coordinates of the soil profile:

43°40/46.7 //, 104°09/53.0//, 1513 m. Soil type: Endosalic Calcisols Sodic, sandy; depth of soil sampling 0–15 cm (Fig.1Bb)

Site 3. The Bayan Zag saxaul forest, the edge of the eolian sand dunes, at 3 km northwest from the famous Flaming Cliff dinosaur site of Berkey and Andrews. Coordinates of the soil profile: 44°10/11.7//, 103°42/15.8//, 1242 m. Soil type: Sand grandular; depth of soil sampling 0–15 cm; iron in the form of films on the grain surface (Fig. 1Bc) and there is soda, which gives a high pH and electrical conductivity (Table 1).

Site 4. The northern piedmont plain of the Gurvan, where the locals plant vegetables, such as carrots, potato, melon onion. Coordinates of the soil profile: 44°05/47.9 //, 103°32/57.3//, 1306 m. Soil type: Endosalic Calcisols Sodic, sandy; depth of soil sampling 0–15 cm.

Site 5. The active eolian sand dune within the piedmont hills of Gobi Altay range, top. Coordinates: 44°13/37.2//, 103°18/48.1//, 1132 m. Soil type: Sand; depth of sampling 0–10 cm (Fig.1Bd)

Steppe Zone

Site 6. The narrow zone with solonchak soil along the NE trending fault. Coordinates of the soil profile: 46°02/98.7//, 103°52/38.2//, 1478 m. Soil type: Haplic Solonchaks Aridic, sandy loam; depth of soil sampling 0–15 cm (Fig. 1Be)

Site 8. The ancient active sand dunes of Elsen Tasarhai. Coordinates of sampling site: 47°20/12.4//, 103°41 / 04.8 //, 1268 m; depth of sampling 0–5 cm. Sand (Fig. 1Bf).

A brief description of some physical and chemical properties of soils is given in Table 1.

Table 1. Brief description of the physical and chemical properties of soils

No	Soil type	Depth, cm	pH	σ^* ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Content of granulometric fractions, %		Gross composition of fine earth, %			
					< 2 mkm	2–50 mkm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
Gobi Desert (region 1)										
1	Endosalic Calcisols Yermic (WRB, 2006), loam	0–20	8.0	161.9	4.7	45.5	56.54	12.44	6.72	2.55
2	Endosalic Calcisols Sodic, sandy	0–15	8.1	88.6	0	27.2	58.60	12.60	6.31	2.60
3	Sand grandular	0–15	9.9	382.0	0	3.3	81.95	8.75	1.61	2.43
4	Endosalic Calcisols Sodic, sandy	0–15	8.5	154.0	0	7.2	72.64	10.13	2.95	2.80
5	Sand	0–10	7.4	10.6	0	0	72.34	12.64	1.58	4.58
Steppe (region 2)										
6	Haplic Solonchaks Aridic, sandy loam	0–15	9.7	270.0	11.6	58.9	60.93	14.61	2.58	3.73
8	Sand	0–5	6.4	11.3	0	0	84.79	6.62	1.40	2.06

Note. N – Sampling site, * – specific electrical conductivity of water extraction

Methods of study

The study was based on granulometric and gross analyzes, which were supplemented by electron microscopic studies (SEM analysis). The SEM analysis was carried out on a scanning electron microscope VEGA 3 LMH (TESCAN, Czech Republic). For the survey, the samples (preliminary grinded and sieved through a 2-mm sieve) were prepared by the method of pouring, Pt-spraying, magnification - up to 20,000. A backscattered electron detector (BSE detector) was used for the analysis of phases with a high atomic number. When images are acquired using a BSE detector, phases with a high average atomic number are reflected in contrast more vividly than those with a lower atomic number. The X-max 80 energy dispersive spectrometer (Oxford Instruments, Great Britain) was used to analyze the elemental composition of the most representative regions. The capture area of the microanalysis is about 1 μm in diameter. If the analyzed object has smaller, the result of the analysis is distorted due to the influence of the surrounding matrix or the carbon table of the device.

The granulometric composition of the samples as a whole was determined by the sieve method (particle size distribution <2; 2–10; and >10 mm), fine earth fraction <2 mm by laser diffraction (particle size distribution from 0.01 to 2000 μm) on a size analyzer Particles SALD-2300 (SHIMADZU, Japan) (Fraunhofer, 1817; Vadjunina, Korchagina, 1973; Shein et al., 2006; Wolform, 2011). The total composition was determined by the X-ray fluorescence method (Pioneer S4, Bruker AXS, Germany) using the silicate analysis technique.

3. Results and discussion

Particle-size distribution data

Before characterizing the salt neoformations in the studied soils, we introduced data on particle-size distribution, which is one of the fundamental features of soils and sediments, in many ways determining their physical and chemical properties. Additionally, particle-size distribution is a source of important information about the origin of sediments (alluvial, marine, and eolian), their transport history and sedimentation conditions (van Genuchten et al., 1999; Buurman et al., 2001; Eshel et al., 2004; Pachepsky, 2004; Rawls, 2004; Iatrow et al., 2007; Segal et al., 2009).

Figure 2 shows generalized curves of particle-size distribution (differential and integral) for studied soils. Thus, there is clearly a much more pronounced differentiation of the ancient deflated dunes on the differential curves (Fig. 2a, site 8) as compared to the younger sand dunes (Fig. 2b, site 5). If the fraction of fine sand (100–250 μm) is the most representative for the first, then for the latter – the fraction of medium sand (250–500 μm). In turn, solonchak (Fig. 2c, site 6) and foothill soil (Fig. 2d, site 1) are characterized by much smaller differentiation of the particles in size and a high content of silt and clay particles <50 μm – 70 and 50 % respectively (Fig. 2c, d).

Changes in the granulometric composition of soils from the foothills to the plain are extremely interesting. So if in the foothills in the soaking layer a high content of dust (a wide peak with a maximum of 60 μm) is accompanied by a significant content of clay fraction (a clear peak of 0.3 μm), then differentiation of particles by size is noted for plain soils (Fig. 2e, f). On the differential figures, peaks of fractions of medium dust, fine (100–250 μm) and medium (100–250 μm) sand are clearly distinguished. The peak for medium dust of the garden soil is much lower. It is believed that with wind erosion by a strong wind over long distances (hundreds and thousands of kilometers), particles of <50 μm in size (Igarashi et al., 2011) are mainly transported. But, apparently, the bulk of the transported particles is medium dust and smaller particles (<10 μm).

The gross composition of fine earth clearly corresponds to the granulometric analysis: sands (sites 3, 5 and 8) contain significantly more SiO_2 (72–85 %) than foothills and plains (57–73 %). The content of Na_2O and K_2O indicates a high content of Na- and K-feldspars, the content of which is maximal in young sands (site 5) – 4.6 and 3.6 %, respectively. The solonchak (site 6) is characterized by an increased content of Na and S, chlorine is also present (according to the XRD analysis, the AXS method), but its content is significantly lower than the accuracy of its determination by the silicate method, by which the samples are analyzed.

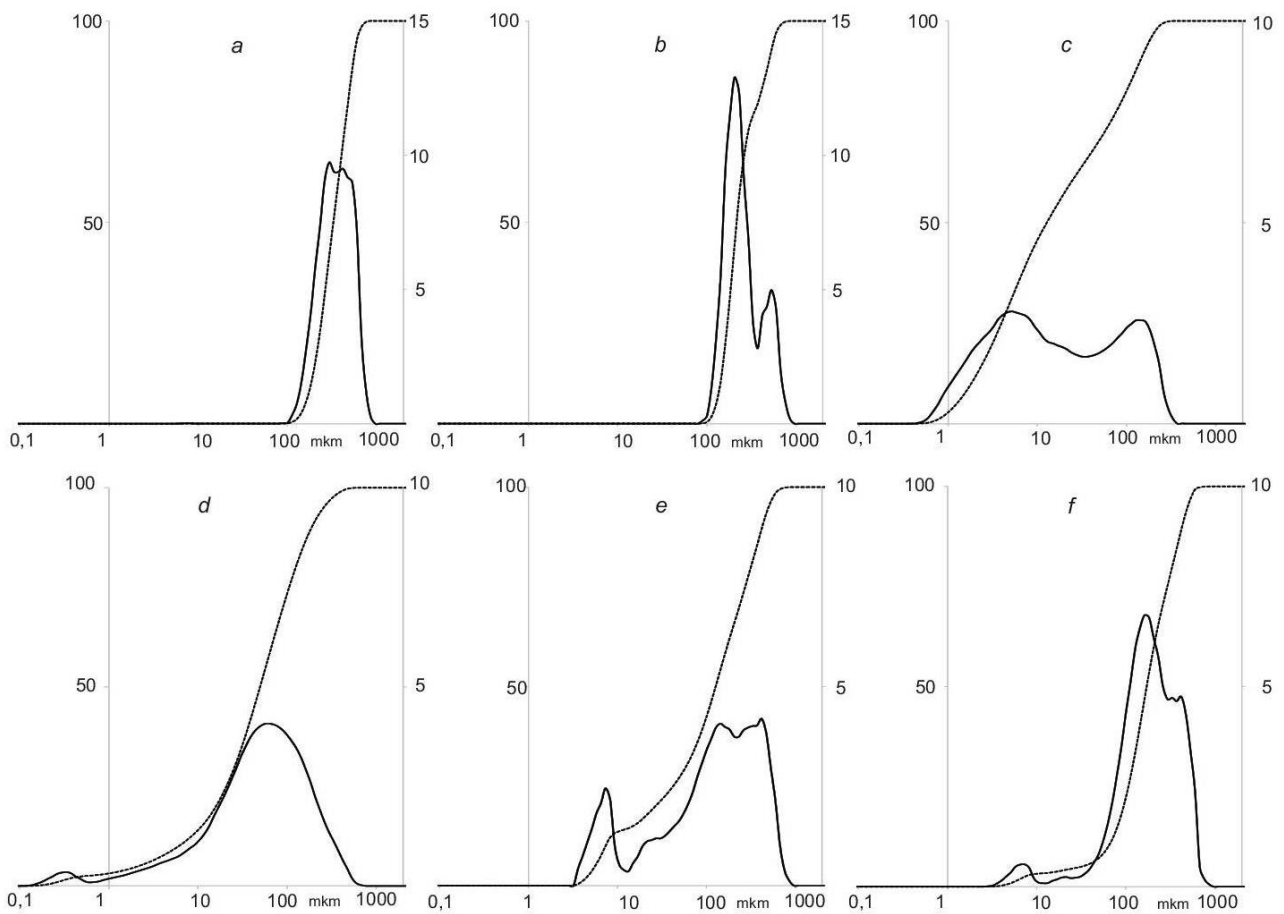


Fig. 2. Particle-size distribution in the soils (the left axis of ordinates is the percentage of particles for cumulative curves; the right axis of ordinates is the percentage of particles for differential curves): *a* – relatively young sands of barkhan site 5; *b* – old sands, site 8; *c* – solonchak, site 6; *b–d* – desert soils of point 1, 2 and 3 (4)

Consider the manifestations of salt growths in the studied soils. Carbonates in the Gobi Desert soils form clayey-sandy in composition, rounded and rather loose microaggregates up to 300 μm in size (Fig. 3*a, b*, sites 1 and 2). Microaggregates formed in irrigated lands (Bulgan Garden, site 4), denser, larger size 100–700 μm (Fig. 3*c, d*). However, their number is much smaller: the grains of primary minerals predominate in the soil. Microaggregates are characterized by the presence of round pores with a diameter of 10–20 μm . The vesicular voids are originated as a result of the changes in the moisture and temperature conditions (McFadden et al., 1998; Lebedeva et al., 2016) for watering and drying.

On the surface of grains of primary minerals larger than 2 mm and predominantly more than 10 mm, calcite forms large enough cutans (fur coats) from intergrown needles that grow perpendicular to the surface of the grain. The thickness of the cutans reaches 300 μm (Fig. 3*e, f*). Similar formations, consisting of acicular crystals, are more rounded due to weathering, occur in the reddish sands of site 3 (Fig. 3*g*). In addition to cutan from needle crystals, "calcite brushes" are formed. Their thickness is substantially less than 100 μm , and they consist of separate thin (up to 2–3 μm) acicular calcite crystals (Fig. 3*h*).

Needle calcite crystals are found in soils quite often, but needle-like crystals of NaCl were first discovered in soils (Fig. 4*a, b* – solonchak, site 6). It could be assumed that they can be formed by the roots of plants (Fig. 4*b*), but the formation of "brushes" (Fig. 4*a*) with a high degree of probability makes it possible to assert that in these conditions it is precisely needle-like crystals that can grow. Most likely, they are formed on the surface of large enough primary particles. On the surface of clay microaggregates, only NaCl crystals of cubic form are encountered (Fig. 4*c, d*), which is most typical for crystals of this salt. Needle crystals of radial-ray packing on the surface of

microaggregates and grains of primary minerals also form astrachanite – $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ – sodium and magnesium double sulfate (Fig. 4e, f). Sodium sulfate Na_2SO_4 (thenardite) on the soil surface forms only microcrystalline accumulations of anhydrous salt (Fig. 4g), it is possible that in these conditions due to desiccation, needle crystals, characteristic of $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (mirabilite) crystal hydrate, are simply not stable. In addition, soda was diagnosed in the composition of clay-salt microaggregates (minerals 2: 1 of illite-smectite group) (Fig. 4h).

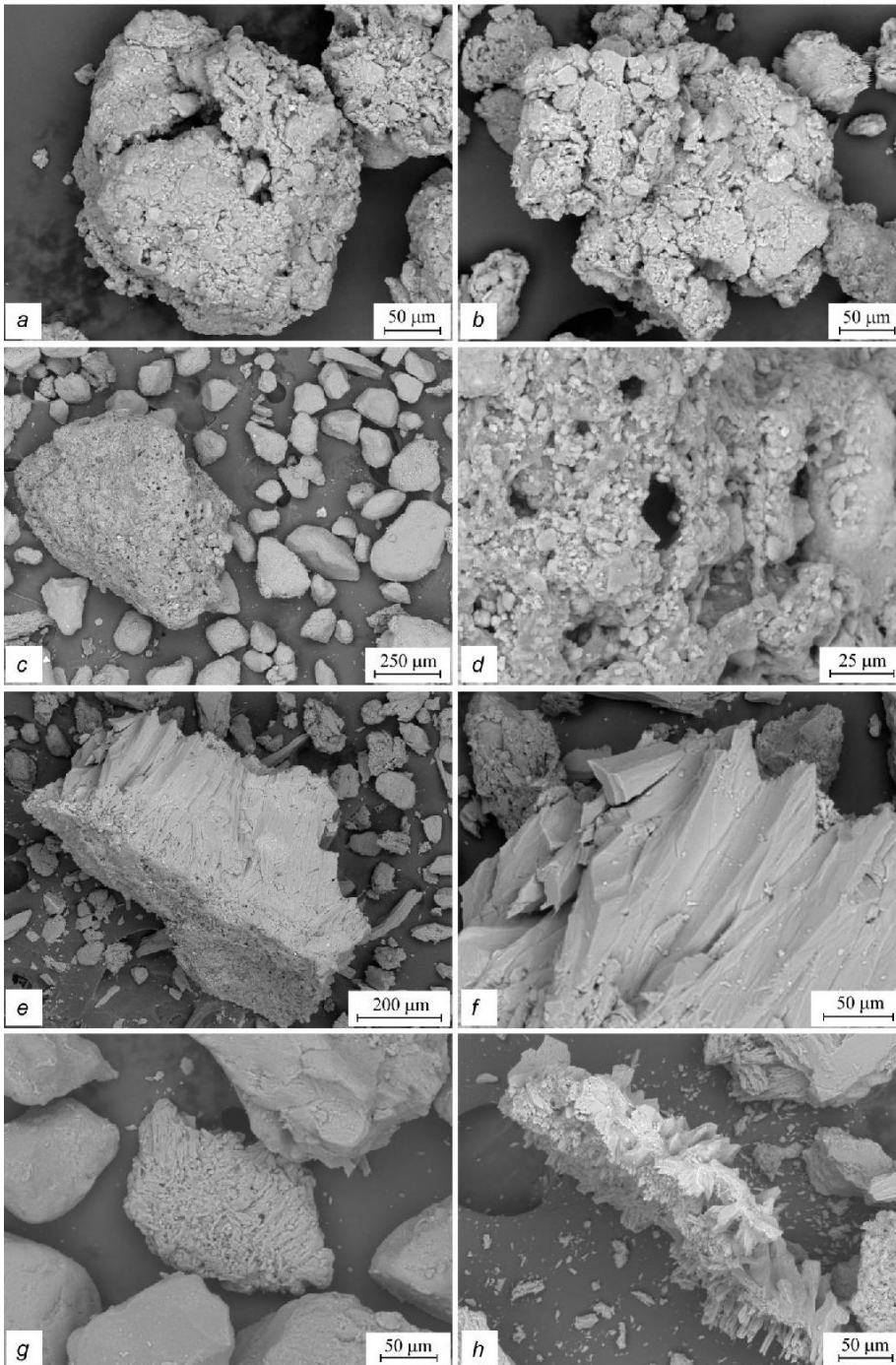


Fig. 3. Micrographs of calcite microaggregates (*a-d*) and needle precipitates of calcite (*e-h*): *a* – site 1 (0–20 cm layer); *b* – site 2; *c* – site 4, *d* – increased fragment of microaggregate; *e, f* – site 1 (0–20 cm layer) calcite from the surface of particles larger than 10 mm; *g* – site 3; *h* – site 1 (20–35 cm layer) calcite from the surface of particles larger than 10 mm (SEM, BSE-detector)

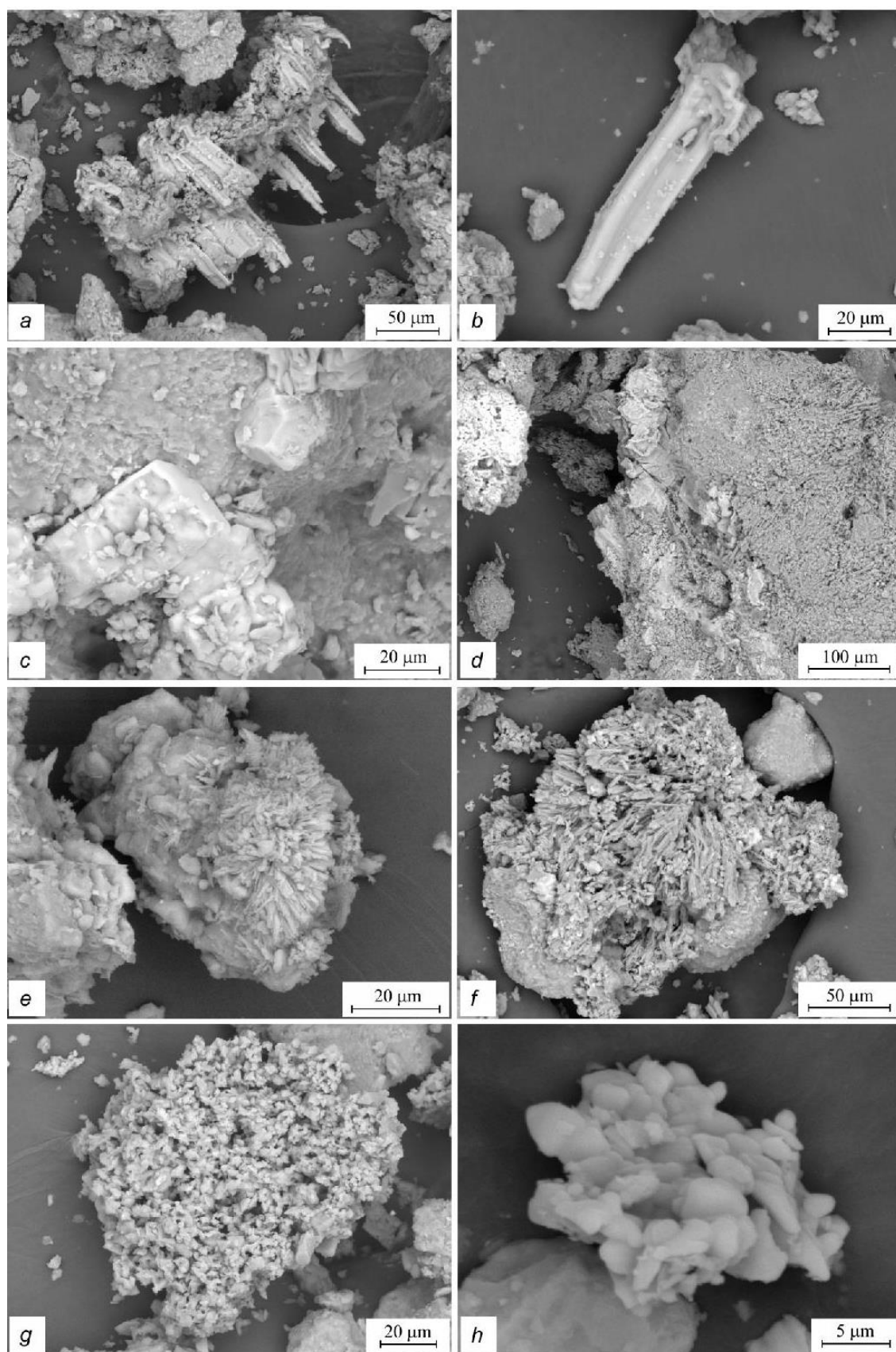


Fig. 4. Microphotographs of salt formations of solonchak (site 6): *a, b* – acicular crystals of NaCl; *c, d* – cubic crystals of NaCl and *e, f* – needle crystals of Na_2MgSO_4 on the surface of clay microaggregates; *g* – fine crystalline Na_2SO_4 , *h* – microaggregate of soda and smectite crystallites (SEM, BSE-detector)

Soda was also found in sample 3 (red sands, eolian sand dune) in the calcite-clay (minerals 2:1 of illite-smectite group) pseudomycelium (Fig. 5a). The latter holds together and retains the grains of the primary minerals. The presence of soda explains the extremely high pH values of ~10 of the aqueous extract of this sample, close to the pH values of the solonchak. The alkaline reaction of the medium involves the formation of Fe- and Mn-Fe-oxide "coats" (films) on the surface of microaggregates and primary particles (Fig. 5b, c). The high content of soda (and, correspondingly, the pH of the water extract) is due to the high content of Na-feldspars, the weathering of which leads to the formation of soda (Polynov, 1952). So, mosaic films were found on the surface of weathered (with the formation of parallel needles) grains of Na-feldspar, whose composition is close to the composition of pseudomycelium (Fig. 5d) according to the EDS analysis.

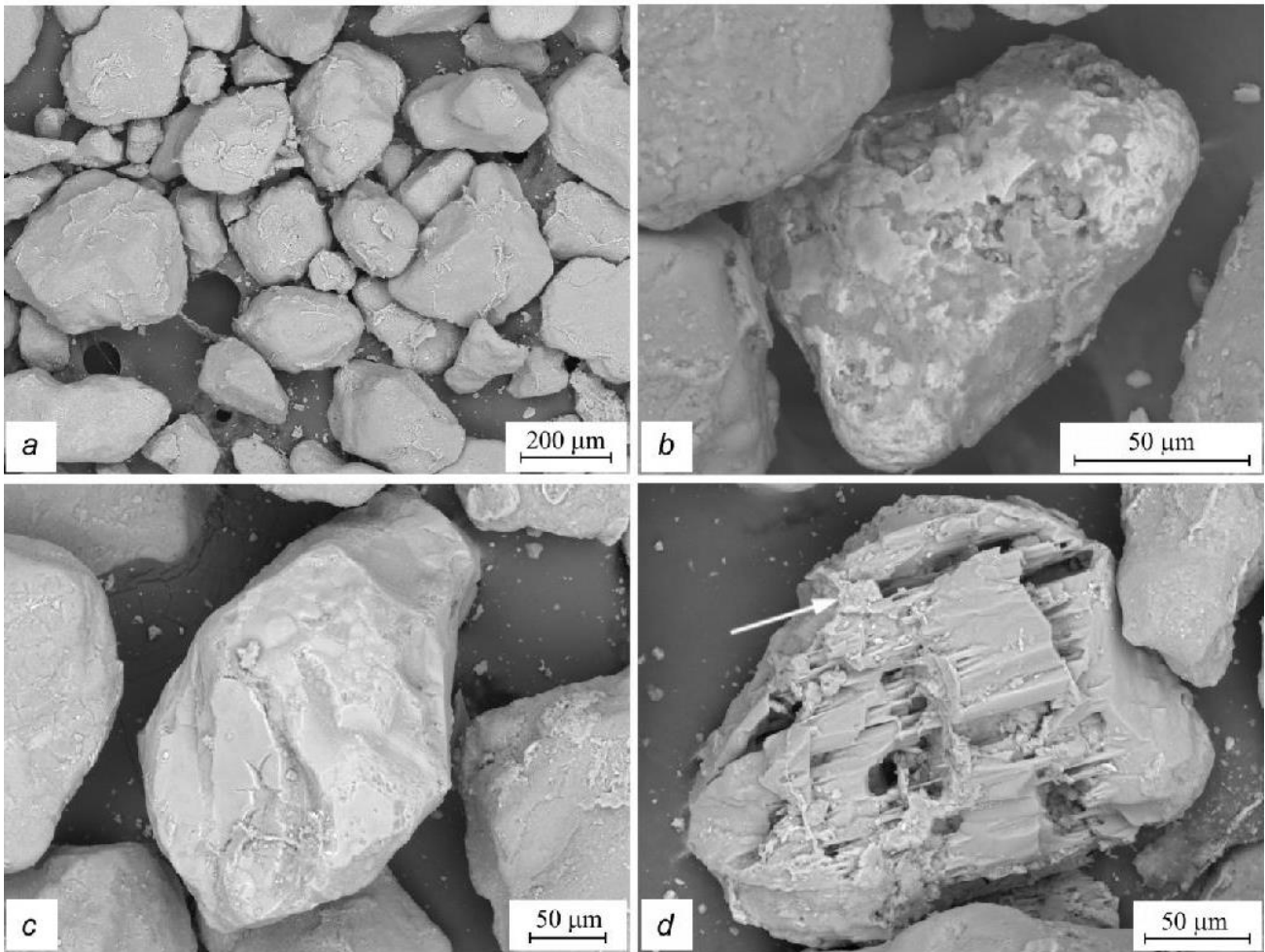


Fig. 5. Microphotographs of pseudomycelium (a) and "coats" from oxides of Fe (b) and Mn-Fe-oxides (c) on the surface of microaggregates and grains of primary minerals; weathered Na-feldspar (d) and soda-calcite-clay film (arrow) on its surface, site 3 (SEM, BSE-detector). For other explanations see text

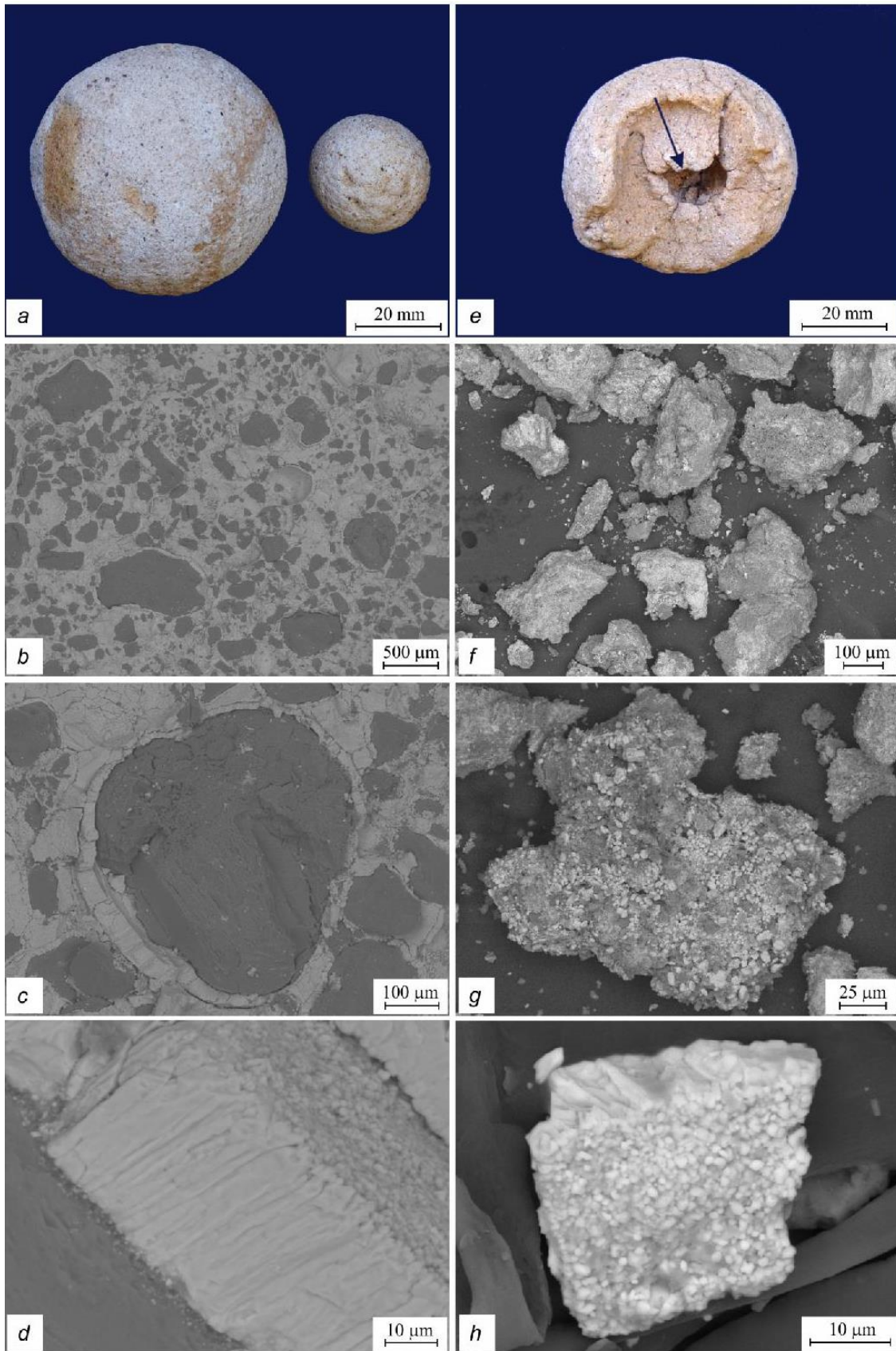


Fig. 6. Sand barite concretions (*a, e*, allow – the empty core of broken concretion) and microstructure of their body (*b–d*) and core (*f, g*): thin slice (*b*) and coatings of quartz (*c, d*); *f, g* – sandstone grains and clay microaggregate; *h* – soil barite formation (light microscopy – *a, e*; SEM, BS-detector – *b–d, f–h*). For other explanations see text

To explain the formation of acicular salt crystals in the investigated soils, let us turn to the natural "model" experiment – the formation of acicular barite crystals in sandy concretions, which we discovered in the vicinity of Site 5 (Kharitonova et al., 2017). Studied concretions mostly have spherical form and size up to 5 cm (Fig 6a). Concretion body is firmly cemented barite BaSO_4 , its content reaches 50–55 % in a volume. Barite completely filled all space between sandstone grains (Fig. 6b). The clast grains are rounded by thin barite crystalized coating. Needle crystals grow perpendicularly to the surface (Fig. 6c, d), the isolation of such structures was diagnosed in soils – site 1, a layer of 20–35 cm (Fig. 6h). Their (coatings) expressiveness, the strength of the bonding with the grain, on which they are formed and corresponding preservation (under slicing of concretion) changes symbatically to coating size. The most endurable coatings are peculiar to the quartz grains. Maximal size barite coatings, which quartz grains are characterized, is 40 μm , potassium feldspar and plagioclase – 10 and 2–5 μm respectively. This is due to the degree of weathering of the surface of grains of minerals, of which quartz is the most stable. It should be noted that in comparison with coatings, the cement between the grains is more friable and is represented by fine-crystalline. In composition, coatings contain substantially less iron, then less homogeneous in composition and structure cement between the grains – up to 0.1 and 1–2 at. % respectively.

Concretion core with the size near 8 mm (Fig 6e), consists of separate poorly interconnected grains of quartz and feldspars. Besides, there are many clay microaggregates (minerals 2:1 of illite-smectite group) in the core, which size corresponds to the size of clast grains up to 200–250 μm (Fig 6f). The content of barite in the core is substantially less, than in the body of concretion. Apart from thin films on grains of clast minerals, barite is represented by fine lamellar crystallites up to 1–2 and 4–6 μm in the content of microaggregates (Fig 6g). The size and shape of barite precipitates are determined by the growth phase of concretion. The first phase of growth of concretion was very fast with insulation of the concretion core by cement. The second stage took place slowly, resulting in formation of barite coatings on clast grains (with a small amount of impurities) and the growth of the concretion due to the crystallization of barite (with the inclusion of iron oxide) between them (clast grains), and very slightly pushed them by crystallization pressure.

4. Conclusion

Thus, according to the results of a natural experiment, with rapid crystallization (the strong supersaturation of the solution with a change in its temperature and, accordingly, a change in the salt solubility) a large number of crystallization centers (in our case fine particles of clay minerals) lead to the formation of small xenomorphic (irregular shape) of the crystals. Conversely, with a slow crystallization and a small number of crystallization centers (in our case this is the surface of clastogenic grains), relatively large idiomorphic crystals are formed. In soils, not only their crystalline features, determine the shape of crystals of different salts but also by external factors – supersaturation, composition and temperature of the solution, its motion. In real soil conditions, many factors continuously change, which leads to a large number of morphological forms of crystals. However, with relatively constant environmental conditions, the Curie principle apparently works primarily: the shape of the crystals retains symmetry elements that, due to geometric selection, are common with the host matrix. Because of geometric competition, crystals, whose direction of maximum growth rate is normally located to the substrate, displace less well-oriented (Shafranovsky, 1954; Shubnikov, 1975). It should be noted that the formation of parallel needle structures during slow weathering of Na-feldspar does not contradict the hypothesis (conclusions) of needle-shaped salt neof ormations in low-moistured soils.

Литература

- Беспалов, 1951 – Беспалов Н.Д. (1951). Почвы Монгольской Народной Республики. М.: Изд-во АН СССР, 318 с.
- Вадюнина, Корчагина, 1973 – Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. (1973). Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Изд-во Высшая школа, 400 с.
- Ковда, 1946 – Ковда В.А. (1946). Происхождение и режим засоленных почв. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 575 с.
- Минашина, 1978 – Минашина Н.Г. (1978). Мелиорация засоленных почв. М.: Колос, 286 с.

Ногина и др., 1975 – Ногина Н.А., Умаров К.У., Якунин Г.Н. (1975). Динамика влажности бурых пустынно-степных почв Монголии, развитых на неоднородной пролювиальной толще // *Почвоведение*, № 9, С. 83–93.

Ногина, Доржготов, 1982 – Ногина Н.А., Доржготов Д. (1982). Почвенно-географическое районирование Монголии // *Почвоведение*, №4, С. 23–31.

Панкова, 1986 – Панкова Е.И. (1986). Засоление почв Монголии // *Почвоведение*, №10, с. 81–90.

Панкова, Рубцова, 1983 – Панкова Е.И., Рубцова Л.П. (1983). Засоление почв сухих и опустыненных степей Монголии // *Почвоведение*, № 9, С. 13–21.

Полюнов, 1952 – Полюнов Б.Б. (1952). Географические работы. М.: Географгиз, 400 с.

Чижикова, 1088 – Чижикова Г.П. (1988). Минералогический состав илистой фракции пустынных почв Монголии // *Почвоведение*, № 8, С. 44–55.

Шафрановский, 1954 – Шафрановский И.И. (1954). Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды // *Записки Всероссийского Минералогического Общества*, Ч. 83, Вып. (3), С. 198–211.

Шоба и др., 1983 – Шоба С.А., Турсина Т.В., Ямнова И.А. (1983). Растровая электронная микроскопия солевых новообразований почв // *Биологические науки* (М.: изд-во Высшая школа), № 3, С. 91–98.

Шубников, 1975 – Шубников А.В. (1975). Избранные труды по кристаллографии. М.: Наука, 551 с.

Batjargal, 1992 – Batjargal Z. (1992). Desertification in Mongolia, RALA Report № 200, RALA, Reykjavik, pp. 107–113.

Batukaev et al., 2016 – Batukaev Abdulmalik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*, 7, Issue, 2, 415–423, doi:10.5194/se-7-415-2016

Buurman, 2001 – Buurman P., Pape T., Reijneveld J.A., de Jong F. and van Gelder E. (2001). Laser-diffraction and pipette method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial and loess samples // *Netherlands Journal of Geosciences* 80(2): 49–57.

Endovitsky et al., 2016 – Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // *Journal of Geochemical Exploration*, Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>

Eshel et al., 2004 – Eshel G., Levy G.J., Migelgrin U. and Singer M.J. (2004). Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis // *Soil Science Society of America Journal* 68: 736–743.

Fraunhofer, 1817 – Fraunhofer J. (1817). Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre // *Annalen der Physik* 56(7): 264–313.

Iatrou, 2007 – Iatrou M., Papatheodorou G., Piper D.J.W., Tripsanas E. and Ferentinos G. (2007). A debate on the similarity of particle sizing results derived from the analysis of fine-grained sediments by two different instrumentations // *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. XXXX (Proceedings of the 11th International Congress. Athens), p. 64–73.

Igarashi et al., 2011 – Igarashi Y., Fujiwara H., Jugder D. (2011). Change of the Asian dust source region deduced from the composition of anthropogenic radionuclides in surface soil in Mongolia // *Atmos. Chem. Phys.* 11: 7069–7080.

Jambaajamts, Norjmaa, 1997 – Jambaajamts B., Norjmaa L. (1997). Meteorological Observations Manual 38: Quality Control Manual of Meteorological Observations (in Mongolian). NAMHEM: Ulaanbaatar.

Kalinichenko, 2016 – Kalinichenko Valery P. (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review) // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

- [Kalinitchenko et al., 2014](#) – Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Mironchenko S.F., Chernenko V.V., Ladan E. P., Genev E.D., Illarionov V.V., Udalov A.V., Udalov V.V., Kippel E.V. (2014). Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation // *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, Issue. 4, pp. 319–333. doi: 10.1134/S1064229314040024
- [Kalinitchenko et al., 2016](#) – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate // *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, 2016. EGU2016-3419
- [Kharitonova et al., 2017](#) – Kharitonova G., Amgalan B., Krutikova V., Berdnikov N., Sambuu G., Kharitonov E. (2017). Sand barite concretions of Alag Teeg site (Gobi Desert, Mongolia) // *Mongolian Geoscientist*, 45: 154–163.
- [Lebedeva, 2016](#) – Lebedeva M.P., Golovanov D.L., Abrosimov K.N. (2016). Micromorphological diagnostics of pedogenetic, eolian, and colluvial processes from data on the fabrics of crusty horizons in differently aged extremely aridic soils of Mongolia // *Quaternary International*, 418: 75–83.
- [Li, 2007](#) – Li S.G., Romero-Saltos H., Tsujimura M., Sugimoto A., Sasaki L., Davaa G, Oyunbaatar D. (2007). Plant water sources in the cold semiarid ecosystem of the upper Kherlen River catchment in Mongolia: a stable isotope approach // *Journal of Hydrology*. 333: 109–117.
- [McFadden, 1998](#) – McFadden L.D., McDonald E.V., Wells S.G., Anderson K., Quade J., Forman S.L. (1998). The vesicular layer and carbonite collars of the desert soils and pavements, formation, age and relation to climate change // *Geomorphology*. 24: 101–145.
- [Nandintsetseg, Shinoda, 2011](#) – Nandintsetseg B., Shinoda M. (2011). Seasonal change of soil moisture in Mongolia: its climatology and modeling // *International Journal of Climatology*. 31: 1143–1152.
- [Ni-Meister, 2005](#) – Ni-Meister W., Walker J.P., Houser P.R. (2005). Soil moisture initialization for climate prediction: Characterization of model and observation errors // *Journal of Geophysical Research*. 110: D13111, doi: 10.1029/2004JD005745
- [Pachepsky, Rawls, 2004](#) – Pachepsky Ya., Rawls W.Y. (2004). Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Elsevier: Amsterdam, 542 p.
- [Rawle, 2017](#) – Rawle A. Basic principles of particle size analysis. Malvern Instruments Technical Paper MRK034. www.malvern.co.uk
- [Robock et al., 2000](#) – Robock A., Vinnikov K.Y., Srinivasan G., Entin J.K., Hollinger S.E., Speranskaya N.A., Liu S., Namkhai A. (2000). The global soil moisture data bank // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81: 1281–1299.
- [Segal et al., 2009](#) – Segal E., Shouse P.J., Bradford S.A., Skaggs T.Y. and Corwin D.L. (2009). Measuring particle size distribution using laser diffraction: Implications for predicting soil hydraulic properties // *Soil Science*. 174(12): 639–645.
- [Shein, 2006](#) – Shein E.V., Milanovskii E.Yu. and Molov A.Z. (2006). The effect of organic matter on the difference between particle-size distribution data obtained by the sedimentometric and laser diffraction methods // *Eurasian Soil Science*. 39 (Suppl. 1): 84–90.
- [Van Genuchten, 1999](#) – Van Genuchten M.T., Leij F.J. and Wu L. (1999). Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media. In van Genuchten, M.T. et al. (eds.) Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media: University of California, California, pp. 1–12.
- [Wolform, 2011](#) – Wolform R.L. (2011). The language of particle size // *J. GXP Compliance*. 15(2): 10–20.
- [WRB, 2006](#) – IUSS Working Group WRB (2006). Word Reference Base for Soil Resources 2006 // *World Soil Resources Reports*. No.103. FAO, Rome, 145.
- [Yamanaka, 2007](#) – Yamanaka T., Kaihotsu I., Oyunbaatar D., Ganbold T. (2007). Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe // *Journal of Arid Environments*. 69: 65–79.
- [Zhang, 2005](#) – Zhang Y., Munkhtsetseg E., Kadota T., Ohata T. (2005). An observational study of ecohydrology of sparse grassland at the edge of the Eurasian cryosphere in Mongolia // *Journal of Geophysical Research*. 110: D14103, doi: 1029/2004JD005474

References

- Bespalov, 1951** – *Bespalov N.D.* (1951). The Soils of the Mongolian People's Republic. Publishers AS SSSR: Moscow, 318 p.
- Vadjunina, Korchagina, 1973** – *Vadjunina A.F., Korchagina Z.A.* (1973). Methods research on physical properties of soils and primers. Vysshaya Shkola: Moscow, 400 p.
- Kovda, 1946** – *Kovda V.A.* (1946). Origin and treatment of saline soils. Part I. Publishing House AN SSSR: Moscow, 575 p.
- Minashina, 1978** – *Minashina N.G.* (1978). Reclamation of saline soils. Publishers Kolos: Moscow, 286 p.
- Nogina, 1975** – *Nogina N.A., Umarov K.U., Yakunin G.T.* (1975). Moisture dynamics of brown deserted-steppe soils of Mongolia developed on the heterogeneous proluvial'noj thicker, *Soil Science* 9: 83–93.
- Nogina, Dorzhgotov, 1982** – *Nogina N.A., Dorzhgotov D.* (1982). Soil-geographical regionalization of Mongolia, *Soil science*. 4:23-31.
- Pankova, 1986** – *Pankova E.I.* (1986). Salinization of Mongolian Soils, *Soil science* 10:81-90.
- Pankova, Rubtsova, 1983** – *Pankova E.I., Rubtsova L.P.* (1983). Salinization of soil dry and desert steppes of Mongolia, *Soil science*. 9:13-21.
- Polynov, 1952** – *Polynov B.B.* (1952). Geographical works. Geografiz: Moscow, 400 p.
- Chizhikova, 1988** – *Chizhikova N.P.* (1988). Mineralogical composition of clay fraction of desert soils of Mongolia, *Soil science*. 8:44-55.
- Shafranovskij, 1954** – *Shafranovskij I.I.* (1954). External symmetry of real crystals and symmetry of environment, *Zapiski of the Russian Mineralogical Society*. 83(3): 198–211.
- Shoba et al., 1983** – *Shoba S.A, Tursina T.V., Jamnova I.A.* (1983). Scanning electron microscopy of salt growths of soils, *Biologicheskie science*. 3:91-98.
- Shubnikov, 1975** – *Shubnikov A.V.* (1975). Selected works on Crystallography Nauka: Moscow, 551 p.
- Batjargal, 1992** – *Batjargal Z.* (1992). Desertification in Mongolia, RALA Report № 200, RALA, Reykjavik, pp. 107–113.
- Batukaev et al., 2016** – *Batukaev Abdulmalik A., Anatoly P. Endovitsky, Andrey G. Andreev, Valery P. Kalinichenko, Tatiana M. Minkina, Zaurbek S. Dikaev, Saglara S. Mandzhieva, and Svetlana N. Sushkova* (2016). Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 7, Issue, 2, 415-423, doi:10.5194/se-7-415-2016
- Buurman, 2001** – *Buurman P., Pape T., Reijneveld J.A., de Jong F. and van Gelder E.* (2001). Laser-diffraction and pipette method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial and loess samples, *Netherlands Journal of Geosciences*. 80(2): 49–57.
- Endovitsky et al., 2016** – *Endovitsky Anatoly P., Abdulmalik A. Batukaev, Tatiana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko, Saglara S. Mandzhieva, Svetlana N. Sushkova, Nikolai A. Mischenko, Sirojdin Y. Bakoyev, Ali A. Zarmaev, Vaha U. Jusupov* (2016). Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem, *Journal of Geochemical Exploration*, Available online 31 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.018>
- Eshel et al., 2004** – *Eshel G., Levy G.J., Migelgrin U. and Singer M.J.* (2004). Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis, *Soil Science Society of America Journal*. 68: 736–743.
- Fraunhofer, 1817** – *Fraunhofer J.* (1817). Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre, *Annalen der Physik*. 56(7): 264–313.
- Iatrou, 2007** – *Iatrou M., Papatheodorou G., Piper D.J.W., Tripsanas E. and Ferentinos G.* (2007). A debate on the similarity of particle sizing results derived from the analysis of fine-grained sediments by two different instrumentations, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. XXXX (Proceedings of the 11th International Congress. Athens), p. 64–73.
- Igarashi et al., 2011** – *Igarashi Y., Fujiwara H., Jugder D.* (2011). Change of the Asian dust source region deduced from the composition of anthropogenic radionuclides in surface soil in Mongolia, *Atmos. Chem. Phys.* 11: 7069–7080.

Jambaajamts, Norjmaa, 1997 – Jambaajamts B., Norjmaa L. (1997). Meteorological Observations Manual 38: Quality Control Manual of Meteorological Observations (in Mongolian). NAMHEM: Ulaanbaatar.

Kalinitchenko, 2016 – Kalinitchenko Valery P. (2016). Optimizing the Matter Flow in Biosphere and the Climate of the Earth at the Stage of Technogenesis by Methods of Biogeosystem Technique (Problem-Analytical Review), *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (4), Is. 2, pp. 99–130. doi: 10.13187/ijep.2016.4.99

Kalinitchenko et al., 2014 – Kalinichenko V.P., Sharshak V.K., Mironchenko S.F., Chernenko V.V., Ladan E. P., Genev E.D., Illarionov V.V., Udalov A.V., Udalov V.V., Kippel E.V. (2014). Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation, *Eurasian Soil Science*, Vol. 47, Issue 4, pp. 319–333. doi: 10.1134/S1064229314040024

Kalinitchenko et al., 2016 – Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Ali Zarmaev, Viktor Startsev, Vladimir Chernenko, Zaurbek Dikaev, Svetlana Sushkova (2016). Biogeosystem technique as the way to certainty of soil, hydrosphere, environment and climate, *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 18, EGU General Assembly. Vienna, 2016. EGU2016-3419.

Kharitonova et al., 2017 – Kharitonova G., Amgalan B., Krutikova V., Berdnikov N., Sambuu G., Kharitonov E. (2017). Sand barite concretions of Alag Teeg site (Gobi Desert, Mongolia), *Mongolian Geoscientist*, 45: 154–163.

Lebedeva, 2016 – Lebedeva M.P., Golovanov D.L., Abrosimov K.N. (2016). Micromorphological diagnostics of pedogenetic, eolian, and colluvial processes from data on the fabrics of crusty horizons in differently aged extremely aridic soils of Mongolia, *Quaternary International*. 418: 75–83.

Li, 2007 – Li S.G., Romero-Saltos H., Tsujimura M., Sugimoto A., Sasaki L., Davaa G, Oyunbaatar D. (2007). Plant water sources in the cold semiarid ecosystem of the upper Kherlen River catchment in Mongolia: a stable isotope approach, *Journal of Hydrology*. 333: 109–117.

McFadden, 1998 – McFadden L.D., McDonald E.V., Wells S.G., Anderson K., Quade J., Forman S.L. (1998). The vesicular layer and carbonite collars of the desert soils and pavements, formation, age and relation to climate change, *Geomorphology*. 24: 101–145.

Nandintsetseg, Shinoda, 2011 – Nandintsetseg B., Shinoda M. (2011). Seasonal change of soil moisture in Mongolia: its climatology and modelling, *International Journal of Climatology*. 31: 1143–1152.

Ni-Meister, 2005 – Ni-Meister W., Walker J.P., Houser P.R. (2005). Soil moisture initialization for climate prediction: Characterization of model and observation errors, *Journal of Geophysical Research*. 110: D13111, doi: 10.1029/2004JD005745

Pachepsky, Rawls, 2004 – Pachepsky Ya., Rawls W.Y. (2004). Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Elsevier: Amsterdam, 542 p.

Rawle, 2017 – Rawle A. (2017). Basic principles of particle size analysis. Malvern Instruments Technical Paper MRK034. www.malvern.co.uk

Robock et al., 2000 – Robock A., Vinnikov K.Y., Srinivasan G., Entin J.K., Hollinger S.E., Speranskaya N.A., Liu S., Namkhai A. (2000). The global soil moisture data bank, *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81: 1281–1299.

Segal et al., 2009 – Segal E., Shouse P.J., Bradford S.A., Skaggs T.Y. and Corwin D.L. (2009). Measuring particle size distribution using laser diffraction: Implications for predicting soil hydraulic properties. *Soil Science*. 174(12): 639–645.

Shein, 2006 – Shein E.V., Milanovskii E.Yu. and Molov A.Z. (2006). The effect of organic matter on the difference between particle-size distribution data obtained by the sedimentometric and laser diffraction methods, *Eurasian Soil Science*. 39 (Suppl. 1): 84–90.

Van Genuchten, 1999 – Van Genuchten M.T., Leij F.J. and Wu L. (1999). Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media. In van Genuchten, M.T. et al. (eds.) Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media: University of California, California, pp. 1–12.

Wolform, 2011 – Wolform R.L. (2011). The language of particle size, *J. GXP Compliance*. 15(2): 10–20.

WRB, 2006 – IUSS Working Group WRB (2006). World Reference Base for Soil Resources 2006: *World Soil Resources Reports*. No.103. FAO, Rome, 145.

Yamanaka, 2007 – Yamanaka T., Kaihotsu I., Oyunbaatar D., Ganbold T. (2007). Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe, *Journal of Arid Environments*. 69: 65–79.

Zhang, 2005 – Zhang Y., Munkhtsetseg E., Kadota T., Ohata T. (2005). An observational study of ecohydrology of sparse grassland at the edge of the Eurasian cryosphere in Mongolia, *Journal of Geophysical Research*. 110: D14103, doi: 10.1029/2004JD005474

УДК 630

Солевые новообразования в почвах центральной Монголии

Евгений Викторович Шеин^{а,*}, Галина Владимировна Харитонова^б, Баясгалан Амгалан^в, Гантумур Самбуу^в, Валерия Олеговна Крутикова^{б,г}, Евгений Валентинович Харитонов^б

^а Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация

^б Институт Водных и Экологических Проблем, Дальневосточное отделение РАН, Хабаровск, Российская Федерация

^в Монгольский государственный университет науки и технологии, Монголия

^г Институт Тектоники и Геофизики им. Ю.А. Косыгина, Дальневосточное отделение РАН, Российская Федерация

Аннотация. Диагностика солевых новообразований является важной характеристикой твердой фазы аридных почв, поскольку формирование солевых аккумуляций связано с проблемами генезиса почв и определяет возможность их сельскохозяйственного использования. Формирование определенных морфологических форм новообразований (пропитка, присыпка, конкреции, кутаны, отдельные кристаллы, их агрегаты и т.д.) зависит от множества факторов – от гранулометрического состава почв, типа и характеристики водного режима, характера испарения и перепадов температур. Были изучены состав и формы солевых новообразований в почвах Центральной Монголии, которые характеризуются уникальными условиями эволюции. Наиболее важные из них – это гранулометрический состав почв с высоким содержанием грубых песчаных частиц и обломочного материала, низкое содержание почвенной влаги и относительно невысокая ее временная изменчивость, экстремальные перепады суточных и годовых температур. Использование электронной микроскопии показало, что в исследуемых почвах солевые новообразования представлены, главным образом, игольчатыми формами кристаллов кальцита, барита и астраханита и их своеобразными агрегатами – “щетками”, что связано с малым числом центров кристаллизации (грубый гранулометрический состав почв) и замедленной кристаллизацией при небольших перепадах влажности. Кроме того, в этих условиях галит (хлорид натрия) образует весьма необычные для него игольчатые кристаллы. Это явление для почв отмечено впервые. Формирование игольчатых солевых новообразований в исследуемых почвах связано с термо- гидрологическими условиями территории.

Ключевые слова: засоленные почвы, агрегаты, солевые образования, Монголия.

* Корреспондирующий автор

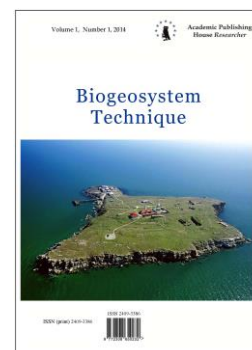
Адреса электронной почты: evgeny.shein@gmail.com (Е.В. Шеин)

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 82-94

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.82
www.ejournal19.com



UDC 550.43

Trends in the Accumulation of Benzo(A)Pyrene by Natural Grassy Vegetation in the Novocherkassk Power Station Impact Zone

Svetlana N. Sushkova ^{a,*}, Irina G. Deryabkina ^a, Elena M. Antonenko ^a, Saglara S. Mandzhieva ^a, Inna V. Zamulina ^a, Andrey V. Shapovalov ^a, Hasmik S. Movsesyan ^b, Karen A. Ghazaryan ^b, Alina V. Gimp ^a, Galina K. Vasilyeva ^c

^a Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

^b Yerevan State University, Yerevan, Armenia

^c Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract

The regularities of benzo(a)pyrene (BaP) accumulation by natural grassy vegetation under the aerotechnogenic emissions from the Novocherkasskaya Power Station were revealed for the first time on the basis of long-term monitoring studies. It is shown the BaP content in natural grassy vegetation is an indicator of technogenic pressure level on territories polluted mostly by products of hydrocarbon fuel combustion. The tendencies of BaP accumulation were studied in roots and vegetative parts of natural grassy vegetation of the affected zone in the period from 2008 up to 2011, and the degree of natural grassy vegetation pollution was estimated according to the ratio of BaP content in the root to the vegetative part of plants.

The results of BaP concentration determination in the plants of monitoring plots showed the same tendencies with BaP content in soil of monitoring plots. The accumulation of pollutant in plants occurs mainly along the prevailing wind direction of the winds rose and plots located in close proximity to the Novocherkassk Power Station from 2008 to 2011. BaP accumulation by plants growing around the emissions source is due, mainly, to the physicochemical properties of the soils of the monitoring plots, mainly by their granulometric composition. It was established the background values of BaP in the natural grassy vegetation were exceeded up to 1.4 to 8.7 times, depending on the degree of proximity of the monitoring plots to the emission source.

BaP accumulation by plants has mainly soil source of uptake by root absorption. Effect of additional emission sources was revealed on the natural grassy vegetation of the remotest areas from the Novocherkassk Power Station during carrying out the complex studies of contaminated areas.

Keywords: benzo(a)pyrene, technogenic pollution, power station emissions, natural grassy vegetation, accumulation.

1. Введение

Главным маркером загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), подлежащим обязательному контролю во всем мире, является

* Corresponding author

E-mail addresses: snsushkova@sfedu.ru (S.N. Sushkova)

бенз(а)пирен (БаП), канцероген и мутаген 1 класса опасности. Актуальность комплексных исследований поведения БаП в растениях обусловлена повышенной опасностью и масштабностью загрязнения почвенного и растительного покрова этим соединением.

Активными источниками загрязнения окружающей среды ПАУ являются предприятия энергетической отрасли. Наиболее мощным предприятием энергетической отрасли в Ростовской области является филиал ОАО "ОГК-2" Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС), общий объем выбросов которой составляет более 90 тысяч тонн в год, из них около 10% приходится на долю ПАУ. Для анализа накопления и распределения БаП в важнейших объектах экосистемы необходимо отметить серьезную роль растений, которая отражается в геохимическом круговороте, а именно в поступлении загрязнителей в пищевые цепи. Поллютанты способны накапливаться в растениях в надземных и подземных частях, что зависит от характера загрязнений и состава соединения ([Contaminants in soil..., 2002](#)). Растения выполняют роль акцептора органических канцерогенов, обеспечивая механизмы самоочищения и самовосстановления экологически важных объектов, используя при этом сложные механизмы биотрансформации поллютантов растительной клеткой ([Павлова, Донина, 1979](#)).

Установлена роль растений в трансформации БаП различными механизмами ([Турусов, 1984](#); [Угрехелидзе, 1976](#)). Например, молекулы данного соединения проникают через листья растений благодаря липидным компонентам клеточной стенки и кутикулу, обеспечивая тем самым накопление БаП из атмосферы во всем растении. Механизмы поглощения БаП корнями растений разнообразны. Основные из них включают проникновение соединения в свободное пространство клеточной стенки путем диффузии с питательным раствором ([Угрехелидзе, 1976](#)). Главное условие поглощения БаП корнями растений – наличие оптимальных условий (температура почвы – более 100С, слабокислая или кислая реакция почвенного раствора). Связано это с тем, что соединение практически нерастворимо в воде, а наличие данных условий способствует проникновению сложной ароматической структуры углеводорода в растение ([Пенин и др., 1991](#)).

Процессы накопления и распределения БаП растениями связаны с его биотрансформацией в растительной клетке ([Овчинникова, 2010](#)). В корнях происходит выделение водорастворимых метаболитов и их переход в почвенный раствор, а из листьев выделяется углекислый газ. Таким образом, происходит деградация ароматических колец канцерогенных веществ в растениях ([Яковлева и др., 2012](#); [Девдариани, 1992](#); [Добровольский, Гришина, 1985](#); [Дурмишидзе и др., 1979](#)).

Обобщение специфики накопления и трансформации самого опасного органического поллютанта в растениях позволит предотвратить токсикацию живых организмов высокотоксичными и канцерогенными метаболитами, найти пути фитомелиорации и самовосстановления окружающей среды.

2. Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования изучались растения территорий, прилегающие к НчГРЭС, предприятию I класса опасности. Это одна из крупнейших тепловых электростанций России. Мониторинговые площадки были заложены в 2000 году совместно с Донским государственным аграрным университетом под руководством проф. О.Г. Назаренко. Они расположены на разном удалении от НчГРЭС (1-20 км) и приурочены к точкам единовременного отбора проб воздуха, который производился при разработке проекта по организации и обустройстве санитарно-защитной зоны северного промышленного узла г. Новочеркасска (точки № 1, 2, 3, 5, 6, 7, [Рис. 1](#)) ([Экологический паспорт..., 1995](#); [Топорская, Данилова, 1997](#); [Горобцова и др., 2006](#)).

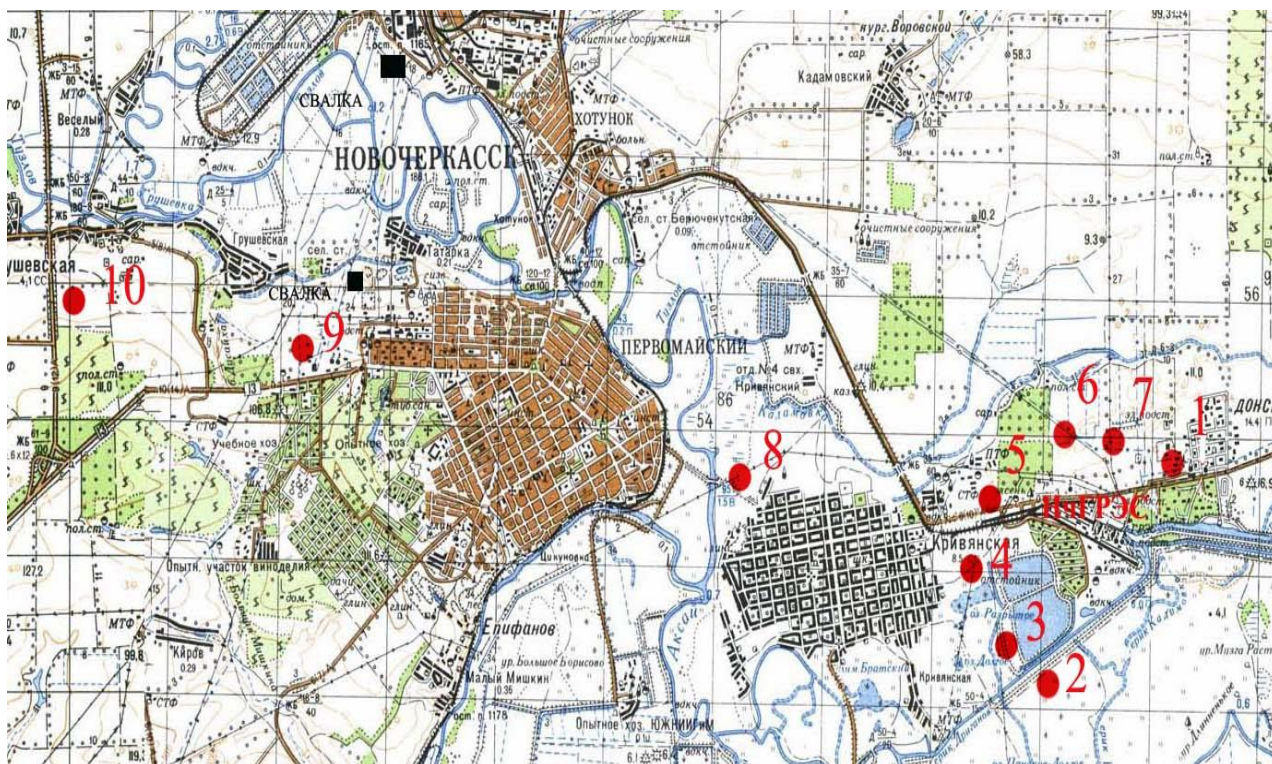


Рис. 1. Карта-схема расположения мониторинговых площадок в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС

Направление и удаленность от НчГРЭС:

Площадка № 1	1 км на северо-восток;
Площадка № 2	3 км на юго-запад;
Площадка № 3	2,7 км на юго-запад;
Площадка № 4	1,6 км на северо-запад;
Площадка № 5	1,2 км на северо-запад;
Площадка № 6	2,0 км на северо-запад;
Площадка № 7	1,5 км на север;
Площадка № 8	5 км на северо-запад;
Площадка № 9	15 км на северо-запад.
Площадка № 10	20 км на северо-запад.

В соответствии с преобладающим направлением на местности розы ветров было определено основное направление распределения атмосферных выбросов НчГРЭС. Это зона, расположенная по прямой от источника загрязнения через селитебные зоны г. Новочеркаска и станции Кривянской. По линии преобладающего направления розы ветров образцы отбирались в почвах мониторинговых площадок № 4, № 8, № 9, № 10 (рис. 1). Условие расположения площадок мониторинга – наличие целинного почвенного покрова либо залежи (не подвергавшегося агротехнике или другим техническим воздействиям).

Естественный растительный покров изучаемой территории является переходными от типчаково-разнотравно-ковыльных степей к типчаково-ковыльно-злаковым (Пашков, Зозулин, 1986). Основная часть растительности мониторинговых площадок представлена семействами Астровые (*Asteraceae*) и Злаковые или Мятликовые (*Poaceae*) составляющими на разных площадках 30-60 % и 25-55 % проективного покрытия соответственно. Преобладающее в травостое территории семейство Астровые представлено такими однолетними растениями как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia*), дурнишник зобовидный (*Xanthium strumarium*), крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris*), ромашка ободранная (*Chamomilla recutita*), двулетним растением горчаком ползучим

(*Acroptilon repens*), а также многолетними растениями: полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), латук татарский (*Lactuca tatarica*), чертополох поникающий (*Carduus nutans*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*). Семейство Злаковые представлено однолетними растениями, такими как овсюг (*Avena fatua*), костер кровельный (*Bromus tectorum*), костёр полевой (*Bromus arvensis*), и многолетними растениями, представленными овсяницей валлисской или типчаком (*Festuca valesiaca*), тростником обыкновенным (*Phragmites australis*), мятликом луговым (*Poa repens*) и пыреем ползучим (*Elytrigia repens*). Также присутствуют различные представители семейств Бобовые (*Fabaceae*): многолетние растения: вязель пестрый (*Coronil lavaria*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), люцерна желтая (*Medicago romanica*), двулетние: люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina*); Молочайные (*Euphorbiaceae*): многолетние: молочай степной (*Euphorbia stepposa*), молочай лозный (*Euphorbia virgata*); Сельдерейные или Зонтичные (*Apiaceae*): многолетние: синеголовник полевой (*Eryngium campestre*), резак обыкновенный (*Falcaria vulgaris*), двулетнее: морковь дикая (*Daucus carota*); Гречишные (*Polygonaceae*): однолетнее: горец птичий (*Polygonum aviculare*); Коноплевые (*Cannabiaceae*): однолетнее: конопля сорная (*Cannabis ruderalis*); Вьюнковые (*Convolvulaceae*): многолетнее: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*); Лютиковые (*Ranunculaceae*): однолетнее: живокость полевая (*Delphinium consolida*); Резедовые (*Resedaceae*): одно- или двулетнее: резеда желтая (*Reseda lutea*); Мареновые (*Rubiaceae*): однолетнее: подмаренник цепкий (*Galium arine*); Капустные или Крестоцветные (*Brassicaceae*): однолетнее: дескурения Софии (*Descurainia Sophia*); Норичниковые (*Scrophulariaceae*): многолетнее: льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris*); Маревые (*Chenopodiaceae*): однолетние: лебеда татарская (*Atriplex tatarica*), марь белая (*Chenopodium album*); Мальвовые (*Malvaceae*): многолетнее: хатьма обыкновенная (*Lavatera thuringiasa*); Розовые (*Rosaceae*): многолетнее: лапчатка гусиная (*Potentilla anserine*); Подорожниковые (*Plantaginaceae*): многолетнее: подорожник большой (*Plantago major*); Льновые (*Linaceae*): однолетнее: лён обыкновенный (*Linum usitatissimum*), составляющие от 5 до 15 % проективного покрытия мониторинговых площадок.

Для определения содержания БАП образцы растений отбирали ежегодно во второй декаде июня в фазу массового цветения.

Определение содержания БАП в анализируемых образцах растений проводили методом омыления (РД 52.10.556-95, 2002) первоначально в образцах удаляют омыляемую фракцию липидов путем кипячения растительного образца в спиртовом растворе щелочи с последующей 3-х-кратной экстракцией БАП гексаном (Ratola et al., 2006). Последовательность операций при проведении анализа схематически показана на рис. 2.

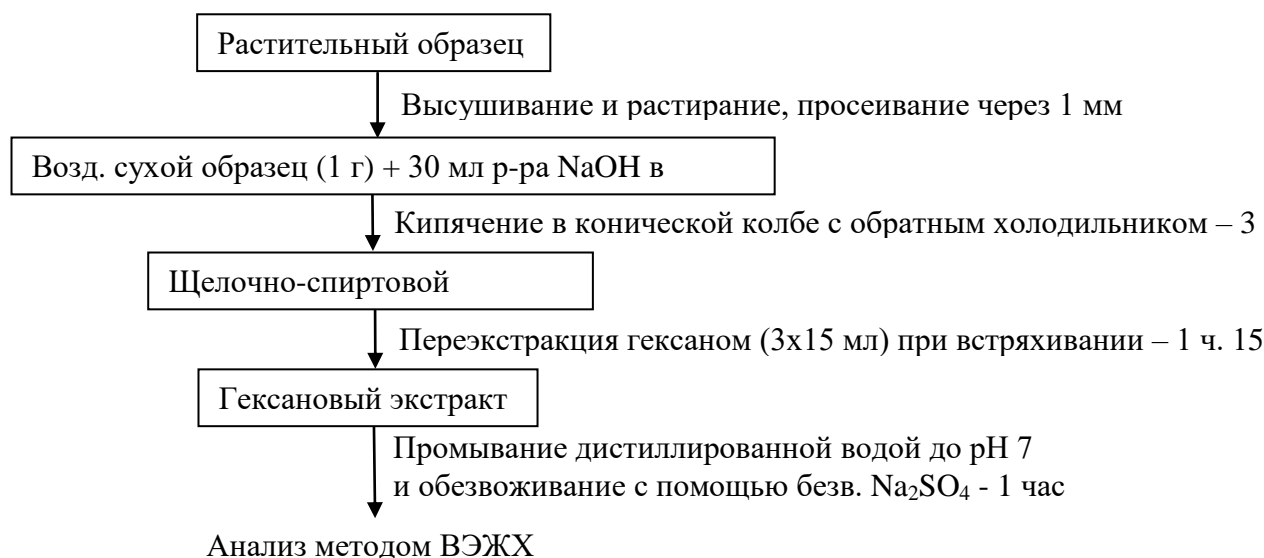


Рис. 2. Блок-схема определения содержания БАП в травянистой растительности методом омыления.

Навеску 1 г подготовленного растительного образца помещали в грушевидную колбу для роторного испарителя, заливали 20 мл 2 %-ного раствора КОН в этаноле и кипятили в колбе с обратным холодильником на водяной бане в течение 3 часов. В процессе кипячения происходит омыление липидов и смолосодержащих компонентов растений, что повышает степень экстракции ПАУ и уменьшает количество коэкстрактивных веществ в экстрактах. Образующуюся надосадочную жидкость декантировали в коническую колбу, заливали 15 мл н-гексана и 5 мл дистиллированной воды для более четкого разделения слоев. После встряхивания на роторном шейкере в течение 10 минут смесь переносили в делительную воронку. Гексановый слой сливали в отдельную посуду. Оставшийся в колбе осадок еще дважды экстрагировали гексаном по той же схеме. Объединенный гексановый экстракт промывали дистиллированной водой до нейтрального pH (по реакции лакмуса), переносили в темную, плотно закрывающуюся посуду и обезвоживали добавлением 5 г безводного Na₂SO₄ и выдерживания при +5 °С в течение 8 часов. Обезвоженный экстракт декантировали в сухую круглодонную колбу и выпаривали досуха на роторном испарителе при температуре бани 400 °С. Сухой остаток растворяли в 1 мл ацетонитрила.

Количественное определение БаП в экстрактах проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе "Люмахром" со спектрофлуориметрическим детектором "Люмахром СФЛД 2310 Флюорат-02-Панорама", насосом "Люмахром Н 1730", на колонке с обращенно-фазовым сорбентом "Kromasil C18" 15 см и флуоресцентным детектором FL 3000 в соответствии с требованиями, установленными международным стандартом ИСО 13877 (СТБ ИСО 13877-2005, 2005). Пик БаП на хроматограмме растительного образца идентифицировали путем сравнения времени удерживания БаП при анализе экстракта и стандартного образца при одновременном детектировании на двух детекторах. Это позволяет идентифицировать пик БаП с достаточно высокой степенью достоверности и более точно определить его концентрацию в экстракте. Содержание БаП в анализируемых образцах рассчитывали по методу внешнего стандарта (Методика выполнения..., 2008).

Содержание БаП в травянистой растительности рассчитывали по формуле:

$$a = k \text{ SI} \times \text{Cст} \times V / (\text{Cст} \times m), \quad (1)$$

где a – содержание БаП в растительном образце (нг/г); Cст и SI – площади пиков БаП стандартного раствора и образца; Cст – концентрация стандартного раствора БаП (нг/мл); k – коэффициент извлечения БаП из образца; V – объем ацетонитрильного экстракта (мл); m – масса образца (г). Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики с помощью программы Microsoft EXCEL.

3. Результаты и обсуждение

По результатам исследования содержания БаП в растениях с 2008 по 2011 гг. (Табл. 1) показано, что содержание поллютанта в надземной части растений в радиусе 20 км вокруг источника эмиссии выше фоновой концентрации БаП для травянистых растений – 5 нг/г (Израэль и др., 1984; Экология Новочеркасска..., 2001) и колеблется от 7,0 до 43,7 нг/г, а в корневой части растительности – от 13,3 до 57,9 нг/г.

Площадки, находящиеся по линии (№ 4, 8, 9, 10) и вблизи (№ 5) преобладающего направления розы ветров. Максимальная степень накопления БаП в надземной и корневой частях растительной массы, отобранной на мониторинговых площадках, расположенных по линии преобладающего направления розы ветров, наблюдается в растениях мониторинговой площадки № 4. Данная площадка расположена в северо-западном направлении на расстоянии 1,6 км от НчГРЭС. Содержание БаП в вегетативной части растений здесь составляет 43,7 нг/г, в корнях содержание поллютанта составляет 57,8 нг/г (Табл. 1), что превышает фоновую концентрацию в 8,7 и 11,6 раз соответственно. Соотношение содержания поллютанта в корнях к его содержанию в надземной части травянистой растительности площадки № 4 самое низкое (Табл. 1). Это свидетельствует о том, что растения, произрастающие на данном участке, испытывают наибольшую техногенную нагрузку под влиянием аэрозольных выбросов предприятия (Oleszczuk and Baran, 2007).

Таблица 1. Среднее содержание БаП в естественной травянистой растительности мониторинговых площадок (среднее за 2008-2011 гг.)

Номер площадки мониторинга	Удаление и направление от источника загрязнения	Надземная часть растений	Корневая часть растений	Отношение в корневой: надземной частях растений	Превышение фонового содержания в надземной части растений
1	1,0 С-В	32,2±1,8	42,3±2,8	1,3	6,4
2	3,0 Ю-З	19,3±1,1	23,0±2,1	1,2	3,9
3	2,7 Ю-З	28,0±2,0	38,5±2,7	1,4	5,6
4	1,6 С-З	43,7±3,4	57,8±3,9	1,3	8,7
5	1,2 С-З	30,2±2,8	52,7±4,4	1,7	6,0
6	2,0 С	12,3±0,8	17,6±1,5	1,4	2,5
7	1,5 С	13,8±1,0	19,2±1,6	1,4	2,8
8	5,0 С-З	28,7±2,1	39,5±2,1	1,4	5,7
9	15,0 С-З	7,0±0,4	13,3±0,7	1,9	1,4
10	20,0 С-З	14,5±1,1	21,7±1,7	1,5	2,9

Содержание БаП в надземной части и корнях растений площадки № 5 несколько ниже, чем на площадке № 4, однако степень загрязнения БаПом растений мониторинговых площадок № 5 и № 4 сохраняется самой высокой на исследуемой территории (Горобцова и др., 2006).

По мере удаления от основного источника эмиссии по линии преобладающего направления розы ветров в растениях мониторинговых площадок № 8 и № 9, расположенных в 5 и 15 км от НчГРЭС, соответственно, наблюдается превышение фоновых концентраций БаП. Вместе с тем отмечается тенденция снижения содержания БаП при удалении от источника эмиссии. Для площадки № 8 содержание БаП в вегетативной части растений составляет 28,7 нг/г, в корневой – 39,5 нг/г.

Содержание БаП в вегетативной части растений площадки № 9 составляет 7,0 нг/г, что близко к фоновому содержанию поллютанта в растениях. Содержание БаП в корнях почти в 2 раза превышает его содержание в вегетативной части растений. Такое соотношение является самым высоким среди рассматриваемых (табл. 1) и показывает значительную роль корневого поглощения в накоплении БаП травянистой растительностью в условиях невысокой техногенной нагрузки (Sushkova et al., 2014).

Следует отметить повышенное содержание БаП в вегетативной и корневой частях растительности мониторинговой площадки № 10, которая находится в 20 км от НчГРЭС. Территория данной площадки подвержена дополнительному загрязнению со стороны автотранспортной магистрали, что в свою очередь увеличивает содержание поллютанта до 14,5 нг/г в вегетативной части и 21,7 нг/г в корневой части, что превышает значение фоновой концентрации БаП в 3,6 раза (табл. 1).

Площадки, расположенные в радиусе 1 – 3 км от НчГРЭС (№ 2, 3, 6, 7). Степень загрязнения БаП растительности площадок № 2, 3, 6, 7 в 2008–2011 гг. ниже, чем по линии преобладающего направления розы ветров. Однако, содержание БаП в растениях мониторинговых площадок, расположенных в радиусе 1-3 км от НчГРЭС, превышает фоновую концентрацию от 3,0 до 6,7 раз. Высокая степень накопления поллютанта обнаружена в корневой и надземной частях растительности площадки № 3, что в 1,5-1,7 раза выше содержания поллютанта в растениях площадки № 2 (табл. 1).

Процесс поглощения БаП корнями растений из почвы можно представить как производный от нескольких факторов: растворимости веществ в воде, содержания органического вещества и вида растения (Simonich and Hites, 1995). Значительное влияние на аккумуляцию БаП растениями оказывает гранулометрический состав почвы (Табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические и агрохимические свойства почв территорий, прилегающих к ГРЭС (среднее за 2008-2011 гг.)

Номер площадки	Почва	Физ. глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH	CaCO ₃ , %	NH ₄ ⁺ , мг/100г почвы	P ₂ O ₅ , мг/100г почвы	K ₂ O, мг/100г почвы	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ , мг- экв/ 100г почвы	ЕКО, мг- экв/ 100г почвы
1	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	52	27	4,3	7,6	0,5	2,7	3,7	41,3	31,6	35,0
2	Аллювиальная карбонатная малогумусная песчаная на аллювиальных отложениях	7	3	3,1	7,5	0,4	2,6	1,7	20,9	11,1	10,9
3	Лугово-черноземная среднегумусная легкоглинистая на аллювиальных отложениях	67	37	4,6	7,3	0,2	2,1	4,2	34,8	40,3	44,8
4	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	55	29	4,6	7,5	0,7	3,0	3,9	31,9	30,4	31,2
5	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	53	27	4,3	7,5	1,0	2,6	3,0	38,3	34,1	35,7
6	Лугово-черноземная среднемошная среднегумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках	55	30	4,1	7,7	0,8	3,6	3,7	37,4	29,9	32,4
7	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	51	27	4,1	7,6	0,7	2,8	2,9	48,6	31,3	31,3
8	Лугово-черноземная среднемошная среднегумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках	60	32	5,0	7,4	0,4	2,2	4,5	35,3	44,1	47,6
9	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	52	30	4,2	7,6	0,6	2,3	3,9	33,8	31,7	31,4
10	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	53	28	4,6	7,6	0,5	3,7	3,8	40,3	34,0	36,0

Пониженное содержание физической глины в почвенном профиле способствует скорейшей миграции БАП в нижележащие слои, поскольку песчаные частицы обладают пониженной сорбционной способностью по отношению к поллютанту (Motuzova и др., 2014). Слабая степень накопления и перемещение соединения вниз по профилю не позволяет молекулам сорбироваться корневой частью растений в полной мере. Возможно, дополнительное влияние оказывает характер растительности мониторинговых площадок, содержание органического вещества и реакция почвенного раствора. Поглощение поллютанта из легкоглинистой почвы происходит по механизму накопления поверхностным слоем почвы – аккумуляция корневой частью растений (Райхман, 1999; Simonich, Hites, 1995). Этому способствует повышенная приповерхностная аккумуляция БАП верхним слоем легкоглинистой почвы, а также повышенное содержание гумуса – 4,6 %. Также есть литературные данные, показывающие, что органическое вещество почв, а именно гуминовые кислоты способны связывать ПАУ и оказывать замедляющее воздействие на аккумуляцию БАП растениями (Lee et al., 1981; Clar, 1964).

Для площадок № 6 и № 7 характерно превышение фоновых концентраций БАП в растениях в 3,0 – 3,3 раза (табл. 1), что объясняется влиянием физических свойств почв на сорбию БАП растениями. Содержание физической глины в данных почвах составляет 51 и 55 %, соответственно, что способствует приповерхностной аккумуляции БАП и повышению биодоступности растениям (Табл. 2) (Яковлева и др., 2012).

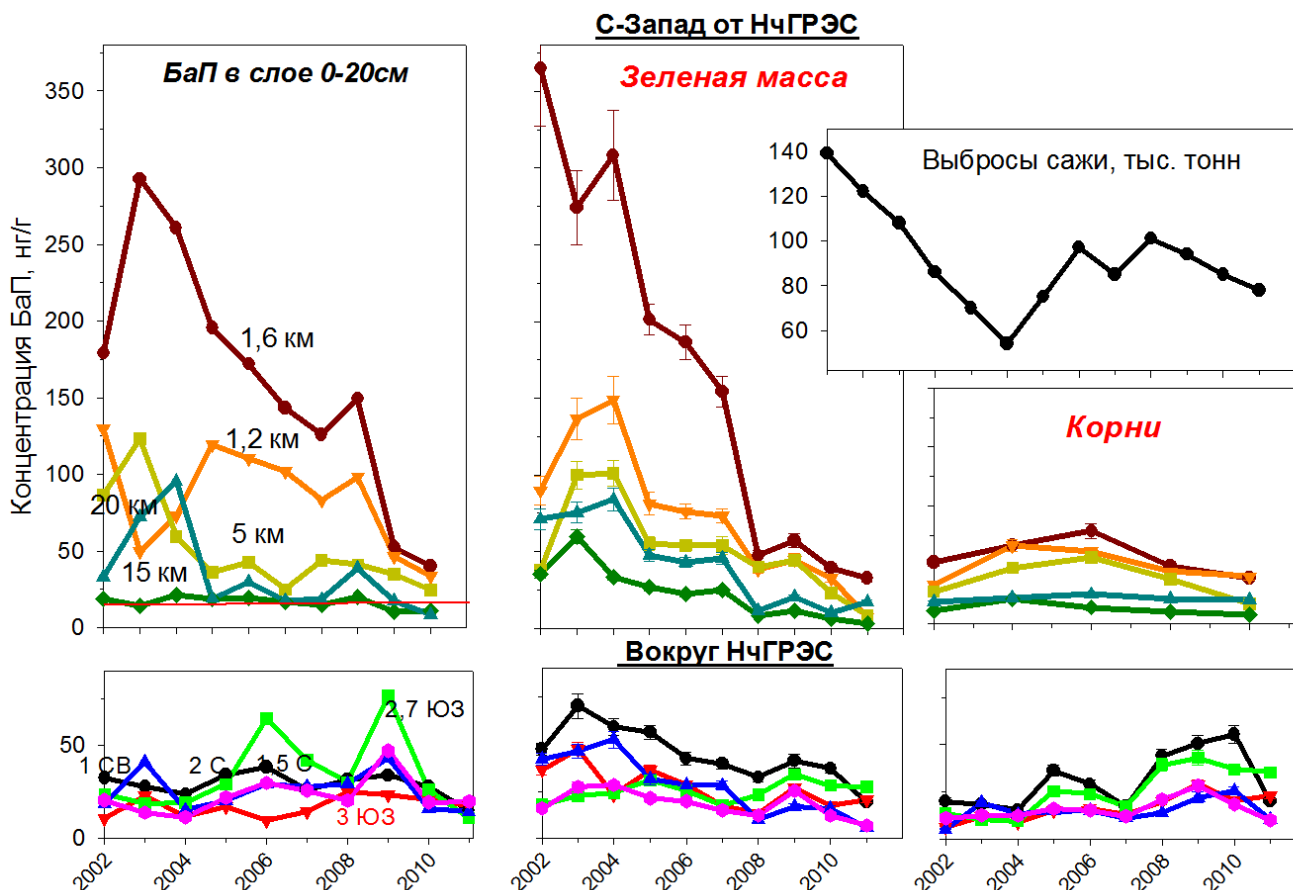


Рис. 3. Сравнение динамики накопления БАП в почве и растениях (зеленая масса и корни) в зоне влияния НЧГРЭС

Особое место в описании территории зоны влияния НЧГРЭС занимает мониторинговая площадка № 1. Мониторинговая площадка № 1 находится в непосредственной близости к НЧГРЭС, что обуславливает высокий уровень загрязнения БАПом. Содержание поллютанта в вегетативной массе составляет 32,2 нг/г, а в корневой части – 42,3 нг/г (Табл. 1). Помимо

воздействия выбросов НчГРЭС в непосредственной близости к площадке № 1 проходит дорога, что обеспечивает дополнительное поступление поллютанта в растения и почвы.

Большая часть БаП, в среднем в 1,5 раза, накапливается в корнях растений (Рис. 3), что указывает на антропогенный источник поступления поллютанта. Данный факт отмечен в работах (Ratola et al., 2012; Дурмишидзе и др., 1979; Галиулин, Башкин, 1999). Имеются данные о том, что БаП способен перемещаться в растениях от корней к надземным органам, а также подвергаться полному или частичному разрушению в процессе трансформации органами растений. В первую очередь этот процесс связан со связью клеточными структурами, например, лигнином.

Более того, содержание поллютанта в поверхностном слое почв во много раз превышает его содержание в вегетативной части растений (Mandzhieva и др., 2014). Вероятно, эти закономерности свидетельствуют о преимущественном загрязнении почвы и корневом поступлении БаП в растительность, что в свою очередь связано со снижением атмосферных выбросов НчГРЭС (Рис. 3) в связи с реконструкцией очистительных систем и переходом на природный газ. Следует отметить также факт возможного снижения влияния городской свалки на растения данной площадки, в связи с прекращением её деятельности и рекультивацией данного объекта в 2012-2013 гг.

Таким образом, проведенные исследования показали (Горобцова и др., 2006), что накопление БаП в исследуемом степном биоценозе происходило в результате осаждения твердых выбросов НчГРЭС на прилегающие территории, и зависело от преобладающего направления ветров.

4. Заключение

Несмотря на природоохранные мероприятия, проводимые на предприятии, влияние атмосферных выбросов НчГРЭС на экологическую обстановку прилегающей территории в настоящее время все еще остается преимущественным. Подтверждено влияние ещё одного важного источника поступления поллютанта в почвы и растительность изучаемой территории – это выхлопные газы автотранспорта. Влияние данного дополнительного источника эмиссии является относительно постоянным по мере роста количества автотранспорта, но при тенденции улучшения качества выхлопа в соответствии с современными стандартами.

Содержание БаП в растениях изучаемых территорий превышает фоновые концентрации от 1,4 до 8,7 раз в зависимости от расположения мониторинговой площадки по отношению к НчГРЭС. Отношение содержания БаП в корневой к надземной части мониторинговой растительности составляет от 1,2 до 1,7 раза, что свидетельствует о корневом характере поступления БаП в растения. Максимальная степень накопления БаП наблюдается в растительности мониторинговых площадок максимально приближенных к НчГРЭС, и находящихся на линии преобладающего направления розы ветров. Постепенное снижение содержания БаП установлено при удалении от предприятия во всех направлениях. Тенденции поступления БаП в естественную травянистую растительность с годами меняется. Так, преобладающий источник поступления БаП в растениях с годами меняется с фолитарного на корневой вследствие снижения объема атмосферных выбросов НчГРЭС.

Литература

Галиулин, Башкин, 1999 – Галиулин Р.В., Башкин В.Н. (1999). Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения – растение // *Агрехимия*, № 12, С. 69-77.

Горобцова и др., 2006 – Горобцова О.Н., Назаренко О.Г., Минкина Т.М., Борисенко Н.И. (2006). Содержания 3,4- бенз(а)пирена в растительности, расположенной в зоне влияния НчГРЭС // *Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естественные науки*, 2006, №. 3, С. 63-66.

Девдариани, 1992 – Девдариани Т.В. (1992). Биотрансформация некоторых канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в растениях: Автореф. дис. док. биол. наук. Тбилиси, 46 с.

Добровольский, Гришина, 1985 – Добровольский Г.В., Гришина Л.А. (1985). Охрана почв. М.: Мир, 224 с.

Дурмишидзе и др., 1979 – Дурмишидзе С.В., Девдариани Т.В. и др. (1979). Усвоение 3,4-бенз(а)пирена -7,10-14С корнями однолетних растений // *Растения и химические канцерогены*. Л.: Наука, С.87-88.

Израэль, 1984 – Израэль Ю.А. (1984). Экология и контроль состояние природной среды. М.: Гидрометеиздат, С. 355-356.

Методика выполнения..., 2008 – (2008). Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в почвах, грунтах и осадках сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Свидетельство №27-08 от 04.03.2008. Москва. 2008. 56 с.

Овчинникова, 2010 – Овчинникова А.А. (2010). Взаимодействие микроорганизмов-деструкторов в ризосфере и ризоплане растений в присутствии углеводов нефти: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Пущино, 24 с.

Пашков, Зозулин, 1986 – Пашков Г.Д., Зозулин Г.М. (1986). Растительность. Природные условия и естественные ресурсы. Ростов н/Д, С. 259-285.

Павлова, Донина, 1979 – Павлова Н.А., Донина И.Л. (1979). Значение растворимости бенз(а)пирена в воде для перехода его из почвы в растения. *Растения и химические канцерогены*. Л.: Наука, С. 99-100.

Пенин и др., 1991 – Пенин Р.Л., Геннадиев А.Н., Касимов Н.С., Козин И.С. (1991). Полициклические ароматические углеводороды в речных отложениях как индикатор антропогенного воздействия на окружающую среду // *Мониторинг фонового загрязнения природ. среды*. Л.: Гидрометеиздат, № 7, С. 192-203.

Райхман, 1999 – Райхман Я.Г. (1999). Управление канцерогенной ситуацией и профилактика рака (системный подход). Элиста: Джангар, 253 с.

РД 52.10.556-95, 2002 – РД 52.10.556-95 (2002). Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. Росгидромет, Москва, 32 с.

СТБ ИСО 13877-2005, 2005 – СТБ ИСО 13877-2005, 2005. Качество почвы. Определение полициклических ароматических углеводородов. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, 20 с.

Топорская, Данилова, 1997 – Топорская Л.Е., Данилова Г.Н. (1997). Экологическое состояние окружающей среды г. Новочеркаска. Проблемы геологии и геоэкологии юга России и Кавказа. Материалы междунар. конф. Т.2. Новочеркасск: НАБЛА. С. 75-78.

Турусов, 1984 – Турусов В.С. (1984). Канцерогенное действие химических соединений // *Профилактическая токсикология*. Сборник учебно-методических материалов. М.: МРПТХВ. С. 332-346.

Угрехелидзе, 1976 – Угрехелидзе Д.Ш. (1976). Метаболизм экзогенных алканов и ароматических молекул в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 136 с.

Экологический паспорт..., 1995 – (1995). Экологический паспорт г. Новочеркаска. Отчёт о результатах крупномасштабных геохимических и радиометрических исследований экологической обстановки г. Новочеркаска. 178 с.

Яковлева и др., 2012 – Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н. (2012). Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва - растения биоценозов северной тайги // *Почвоведение*, № 3. С. 356-367.

Экология Новочеркаска..., 2001 – (2001). *Экология Новочеркаска*. Проблемы, пути решения. Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 412 с.

Contaminants in soil..., 2002 – (2002). *Contaminants in soil: Collation of toxicological data and intake values for humans. Benzo[a]pyrene*. Technical report, Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency, Bristol, Environment Agency. ISBN 1-857-05741-4

Lee et al., 1981 – Lee M.L., Novotny M.V., Bartle K.D. (1981). *Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds*, Academic Press, INC. LTD, London, pp. 462. 57.

Clar, 1964 – Clar E. (1964). *Polycyclic Hydrocarbons*. Academic Press, London and New York, 442 p.

Mandzhieva et al., 2014 – Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V., Chaplugin V.A. (2014). The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state // *American Journal of Agricultural and Biological Science*, Vol. 9, Is. 1. pp. 19-24.

Motuzova и др., 2014 – Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Issue PB, pp. 241-246.

Oleszczuk and Baran, 2007 – Oleszczuk, P., Baran, S. (2007). Polyaromatic hydrocarbons in rhizosphere soil of different plants: effect of soil properties, plant species, and intensity of anthropogenic pressure // *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 171–188.

Ratola et al., 2012 – Ratola N., Alves A., Lacorte S., Barcelo D. (2012). Distribution and sources of PAHs using three pine species along the Ebro river // *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 985–999.

Ratola et al., 2006 – Ratola N., Lacorte S., Alves A., Barcelo D. (2006). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles by gas chromatography mass spectrometry: comparison of different extraction and clean-up procedures // *Journal of Chromatography A* 1114, 198–204.

Simonich and Hites, 1995 – Simonich S.L., Hites R.A. (1995). Global distribution of persistent organochlorine compounds // *Science*, № 269(5232), pp. 1851-4.

Sushkova et al., 2014 – Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T. (2014). New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction // *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Part B. pp. 267–272.

References

Galiulin, Bashkin, 1999 – Galiulin R.V., Bashkin V.N. (1999). Peculiarities of the behavior of persistent organic pollutants in the system of atmospheric deposition – plant, *Agrochemistry*, No. 12, pp. 69-77.

Gorobtsova et al., 2006 – Gorobtsova O.N., Nazarenko O.G., Minkina T.M., Borisenko N.I. (2006). The content of 3,4-benzo (a) pyrene in vegetation located in the zone of influence of NCHRES, *Izv. Universities. North-Caucasus. region. Natural Sciences*, No. 3, pp. 63-66.

Devdariani, 1992 – Devdariani T.V. (1992). Biotransformation of some carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in plants: Author's abstract. *Dis. Doc. Biol. Sciences*, Tbilisi, 46 p.

Dobrovolsky, Grishina, 1985 – Dobrovolsky G.V., Grishina L.A. (1985). *Protection of soils*. Moscow: Mir, 224 p.

Durmishidze, 1979 – Durmishidze S.V., Devdariani T.V. and others (1979). The assimilation of 3,4-benz (a) pyrene-7,10-14C with the roots of annual plants, *Plants and chemical carcinogens*, L.: Science, pp.87-88.

Yisrael, 1984 – Yisrael Yu.A. (1984). *Ecology and control of the state of the natural environment*. Moscow: Gidrometeoizdat, pp. 355-356.

Method for performing, 2008 – (2008). Method for performing measurements of the mass fraction of benz (a) pyrene in soils, soils and sewage sludge by high-performance liquid chromatography, Certificate No. 27-08 dated 04.03.2008, Moscow, 56 p.

Ovchinnikova, 2010 – Ovchinnikova A.A. (2010). Interaction of microorganisms-destroyers in the rhizosphere and plant rhizoplane in the presence of petroleum hydrocarbons: Author's abstract of thesis. *Diss. Cand. Biol.nauk*. Pushchino, 24 p.

Pashkov, Zozulin, 1986 – Pashkov G.D., Zozulin G.M. (1986). *Vegetation. Natural conditions and natural resources*. Rostov n/D, pp. 259-285.

Pavlova, Donina, 1986 – Pavlova N.A., Donina I.L. (1979). The solubility value of benz (a) pyrene in water for its transition from soil to plants. *Plants and chemical carcinogens*. L.: Nauka, pp. 99-100.

Penin et al., 1991 – Penin R.L., Gennadiev A.N., Kasimov N.S., Kozin I.S. (1991). Polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments as an indicator of anthropogenic impact on the environment, *Monitoring of the background pollution of nature environment*. L.: Gidrometeoizdat, No. 7, pp. 192-203.

Raikhman, 1999 – Raikhman Ya.G. (1999). *Management of carcinogenic situation and cancer prevention (systemic approach)*, Elista: Djangar, 253 p.

RD 52.10.556-95, 2002 – RD 52.10.556-95, 2002. *Methodical instructions. Determination of pollutants in samples of marine sediments and suspended matter*. Rosgidromet, Moscow, 32 p.

STB ISO 13877-2005, 2005 – STB ISO 13877-2005, 2005. *Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons. High performance liquid chromatography method*, 20 sec.

Toporskaya, Danilova, 1997 – *Toporskaya L.E., Danilova G.N.* (1997). Ecological state of the environment of Novochoerkassk, Problems of geology and geoecology of the south of Russia and the Caucasus. Materials of the Intern. Conf., Vol. 2, Novochoerkassk: NABLA, pp. 75-78.

Turusov, 1984 – *Turusov V.S.* (1984). Carcinogenic action of chemical compounds // Prophylactic toxicology. Collection of educational materials. IRPTC. M., pp. 332-346.

Ugrekhelidze, 1976 – *Ugrekhelidze D.Sh.* (1976). Metabolism of exogenous alkanes and aromatic molecules in plants, Tbilisi: Metsniereba, 136 p.

Ecological passport, 1995 – (1995). *Ecological passport of Novochoerkassk*. Report on the results of large-scale geochemical and radiometric studies of the ecological situation in Novochoerkassk, 178 p.

Yakovleva et al., 2012 – *Yakovleva E.V., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M., Gabov D.N.* (2012). Regularities of bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant system of biocenoses of the northern taiga, Pochvovedenie, No. 3. pp. 356-367.

Ecology of Novochoerkassk, 2002 – (2001). *Ecology of Novochoerkassk*. Problems, solutions. - Rostov n / a.: SKNTSVSH, 412 p.

Contaminants in soil..., 2002 – *Contaminants in soil: Collation of toxicological data and intake values for humans* (2002). Benzo[a]pyrene. Technical report, Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency, Bristol, Environment Agency. ISBN 1-857-05741-4

Lee et al., 1981 – *Lee M.L., Novotny M.V., Bartle K.D.* (1981). Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds, Academic Press, INC. LTD, London, pp. 462. 57.

Clar, 1964 – *Clar E.* (1964). Polycyclic Hydrocarbons. Academic Press, London and New York, 442 p.

Mandzhieva et al., 2014 – *Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V., Chapligin V.A.* (2014). The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state, American Journal of Agricultural and Biological Science, Vol. 9, Is. 1. pp. 19-24.

Motuzova и др., 2014 – *Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S.* (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 144, Issue PB, pp. 241-246.

Oleszczuk and Baran, 2007 – *Oleszczuk, P., Baran, S.* (2007). Polyaromatic hydrocarbons in rhizosphere soil of different plants: effect of soil properties, plant species, and intensity of anthropogenic pressure, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 171–188.

Ratola et al., 2012 – *Ratola N., Alves A., Lacorte S., Barcelo D.* (2012). Distribution and sources of PAHs using three pine species along the Ebro river, *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 985–999.

Ratola et al., 2006 – *Ratola N., Lacorte S., Alves A., Barcelo D.* (2006). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles by gas chromatography mass spectrometry: comparison of different extraction and clean-up procedures, *Journal of Chromatography A* 1114, 198–204.

Simonich and Hites, 1995 – *Simonich S.L., Hites R.A.* (1995). Global distribution of persistent organochlorine compounds, *Science*, № 269(5232), pp. 1851-4.

Sushkova et al., 2014 – *Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T.* (2014). New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Part B. pp. 267–272.

УДК 550.43

Тенденции накопления бенз(а)пирена естественной травянистой растительностью зоны влияния Новочеркасской ГРЭС

Светлана Николаевна Сушкова ^{a,*}, Ирина Геннадьевна Дерябкина ^a,
Елена Михайловна Антоненко ^a, Саглар Сергеевна Манджиева ^a,
Инна Валерьевна Замулина ^a, Андрей Валентинович Шаповалов ^a,
Асмик Седраковна Мовсеян ^b, Карен Арамаисович Казарян ^b,
Алина Владимировна Гимп ^a, Галина Кирилловна Васильева ^c

^a Южный федеральный университет, Российская Федерация

^b Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

^c Учреждение Российской академии наук Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация

Аннотация. Впервые на основании многолетних мониторинговых исследований выявлены закономерности накопления бенз(а)пирена (БаП) в естественной травянистой растительности, находящейся под влиянием аэротехногенных выбросов Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС). Показано, что содержание БаП в естественной травянистой растительности является индикатором уровня техногенной нагрузки территорий, основным загрязняющим агентом которых являются продукты сгорания углеводородного топлива. Изучены тенденции накопления БаП в корневой и вегетативной частях естественной травянистой растительности зоны влияния тепловой электростанции в период с 2008 по 2011 гг, дана оценка степени загрязнения естественной травянистой растительности БаП по соотношению содержания БаП в корневой к надземной части растений. Результаты исследований содержания БаП в растениях мониторинговых площадок с 2008 по 2011 гг. показали, что, как и в почвах изучаемой территории, накопление поллютанта в растениях происходит преимущественно по линии преобладающего направления розы ветров и площадок, расположенных в непосредственной близости к НчГРЭС. Накопление БаП растениями, произрастающими вокруг источника эмиссии, обусловлены, в основном, физико-химическими свойствами почв мониторинговых площадок, преимущественно их гранулометрическим составом. Установлено превышение фоновых значений БаП в естественной травянистой растительности от 1.4 до 8.7 раз в зависимости от степени приближенности мониторинговых площадок к источнику эмиссии. Аккумуляция БаП имеет преимущественно почвенный характер поступления поллютанта в растения путем корневого поглощения. При проведении комплексных исследований загрязненной территории выявлено воздействие дополнительных источников эмиссии на растительность самых отдаленных от НчГРЭС участков.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, техногенное загрязнение, выбросы электростанции, естественная травянистая растительность, аккумуляция.

* Корреспондирующий автор

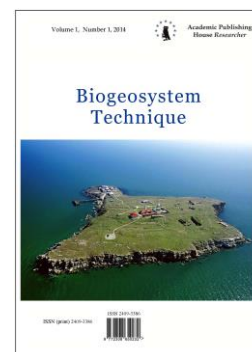
Адреса электронной почты: snsushkova@sfnedu.ru (С.Н. Сушкова)

Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 95-108

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.95
www.ejournal19.com



UDC 528.88

Influence of the Forest Ecosystems Disturbance on their Spectral Reflectance Properties Dynamics

Edgar A. Terekhin ^{a, *}^a Belgorod State National Research University, Russian Federation

Abstract

The forest ecosystem disturbance is the key criterion characterizing the current state of forest stand. This paper presents the estimation of spectral reflectance properties of forest stands at different degree of forest's disturbance in Belgorod Region forest-steppe zone. Transformation of forest stand was estimated using Landsat TM data dynamics of reflectance (1,55-1,75 mkm) and Tasseled Cap brightness component. The spectral response was studied for 6 categories of forest stands disturbance. The increase of both spectral parameters is due to deterioration of forest stand. The decrease of values is related to increase of forest crown closure or the new forest areas growing. Deterioration of forest stand is manifested in its desiccation or even complete disappearance due to impact of natural or man-made factors. It was found that the highest difference of spectral response is intrinsic for destructed forest stands or cultural forest ecosystems. Increasing forest ecosystems disturbance is accompanied by increased difference of both spectral parameters between the final and the initial estimated date. Forest stands, according to degree of the spectral response increment compared to other categories of forest ecosystems, are to be ranked as follows: cultural, destroyed, greatly disturbed, medium disturbed, weakly disturbed.

Keywords: forests, ecosystem disturbance, remote sensing, Landsat, geoinformation technologies, south-west of Central Russian Upland.

1. Введение

Многие изменения, происходящие в лесах и особенно затрагивающие верхние ярусы, проявляются в динамике их спектрально-отражательных свойств (Кондратьев, Федченко, 1982; Жирин, 2013), в том числе, обусловленной влиянием антропогенных факторов (Leon et al., 2012; Василевич и др., 2014). Совершенствование технологий получения и обработки спутниковых данных за последние десятилетия обусловило расширяющееся применение материалов дистанционного зондирования Земли для оценки состояния лесных экосистем (Lutz et al., 2008; Vogelmann et al., 2009; Барталев, Лупян, 2013). На территории Среднерусской возвышенности, включая ее юго-запад, доминируют лесостепные ландшафты (Lisetskii et al., 2016). Лесные массивы являются одним из наименее измененных в процессе антропогенной деятельности компонентов растительного покрова и играют важную роль для сохранения биоразнообразия. Являясь динамической экосистемой, леса региона, в то же время претерпевают существенные изменения в связи с воздействием ряда

* Corresponding author

E-mail addresses: terekhin@bsu.edu.ru (E.A.Terekhin)

факторов, что приводит к нарушениям в их структуре. К таким факторам, в частности, относились или относятся проведение сплошных лесосечных рубок, воздействие пожаров, различная хозяйственная деятельность. Мониторинг и оценка происходящих нарушений являются важнейшей задачей для управления лесами и сохранения естественного потенциала лесных экосистем (Лисецкий, 2008; Кузьменко и др., 2013).

Направление, связанное с оценкой нарушенности лесных сообществ, в значительной степени основывается на разработке подходов к детектированию происходящих нарушений на основе динамики спектрально-отражательных признаков (Gerylo et al., 2002; Boyd, Danson, 2005; Hall et al., 2006). Необходимо отметить использование таких показателей как Disturbance Index (Healey et al., 2005; Frantz et al., 2016; Воробьев и др., 2016) и индекс термодинамической нарушенности (Горный и др., 2013). Для выявления изменений используются методы поканальных разностей взаимно нормализованных изображений (Барталев и др., 2005) и декомпозиции спектральных смесей (Lu et al., 2004; Michishita et al., 2012). Лесные массивы, длительное время произрастающие вблизи объектов добычи полезных ископаемых, могут аккумулировать в себе загрязняющие элементы, что может приводить к медленно протекающим изменениям. Особенно это касается хвойных лесов, по причине того, что хвоя в отличие от листвы опадает не каждый год, а ее смена происходит раз в несколько лет. Подобные изменения также могут проявиться в спектрально-отражательных свойствах лесной растительности (Елсаков, 2012), которые в свою очередь, могут быть изучены на основе разновременных материалов дистанционного зондирования Земли.

В основе выявления изменений, обуславливающих формирование ареалов нарушенных лесных экосистем, лежит анализ разновременных многозональных спутниковых снимков (Jing et al., 2009; DeVries et al., 2015) и разработка индексов, позволяющих исследовать пространственно-временные трансформации в лесном покрове (Lu et al., 2004; King et al., 2005; Schroeder et al., 2007).

Цель настоящего исследования заключалась в оценке спектрально-отражательных характеристик лесных массивов различных категорий нарушенности, типичных для юго-запада Среднерусской возвышенности. Рабочая гипотеза формулировалась следующим образом: степень нарушенности лесных экосистем статистически достоверно влияет на особенности их спектрально-отражательных свойств и их временные изменения.

2. Материалы и методы исследований

Исследование было проведено в несколько этапов: выявление и картографирование категорий нарушенности лесных экосистем, подбор и предварительная обработка разновременных спутниковых данных, расчет спектральных показателей для каждого анализируемого лесного массива, статистический анализ данных.

Территория, на которой были выполнены исследования, охватывала северо-восточную часть Белгородской области, географически совпадающую со Старооскольским, Губкинским и Чернянским районами. Вся анализируемая территория расположена в зоне лесостепи и характеризуется наличием лесных массивов различных категорий нарушенности, что было установлено на основе спутниковых и полевых данных.

Достижение цели, поставленной в исследовании, обуславливало необходимость анализа спутниковой и наземной информации, интеграция которой была проведена в геоинформационной среде ArcGIS. Количественная оценка спектрально-отражательных характеристик различных категорий нарушенности лесов требовала их предварительного картографирования. Для этой цели нами на основе материалов полевых исследований, проведенных в период 2010-2016 гг., и разновременных спутниковых данных были установлены основные категории нарушенности лесных экосистем, типичные для территории региона и выполнено их геоинформационное картографирование. Нарушенность оценивалась на основе таких факторов, как сплошнолесосечные рубки, лесные пожары. Также учитывалось наличие признаков усыхания верхнего яруса. По нарушениям в нем были выделены слабонарушенные, средненарушенные, сильнонарушенные, разрушенные лесные насаждения. Отдельной категорией были выделены культурные (преимущественно хвойные) лесные массивы, получившие определенное распространение в регионе. Полностью ненарушенных лесных экосистем на территории исследования не обнаружено.

На следующем этапе было проведено геоинформационное картографирование установленных категорий нарушенности лесов на анализируемой территории (4441 км²). Создание векторной основы, характеризующей расположение лесных массивов разной степени нарушения, позволило впоследствии на основе спутниковых данных с применением методов геоинформационного анализа рассчитать разновременные значения спектральных характеристик для каждого лесного массива и выполнить их количественную оценку. Для анализа динамики спектрально-отражательных свойств лесных массивов была использована серия снимков со спутника-сенсора Landsat TM, полученных в период 1986-2011 гг. (Табл. 1).

Выбор изображений с сенсора Landsat TM связан с возможностью покрытия значительного временного диапазона и оптимальным пространственным разрешением (30 м/пиксель). Данные Landsat зарекомендовали себя информативным источником информации при изучении динамики природных экосистем (Wilson, Sader, 2002; Giri, Muhlhausen, 2005; Song et al., 2007; Зинченко и др., 2013; Baumann et al., 2014). Они могут быть использованы для оценки различных параметров лесных насаждений (Trigg et al., 2006; Chen et al., 2016; Fassnacht et al., 2016), включая сомкнутость (Pu et al., 2003) и биомассу (Phua, Saito, 2003; Samimi, Kraus, 2004). Применение снимков только с одного типа сенсора является необходимым условием для достоверной оценки изменений в спектрально-отражательных свойствах лесных экосистем. Это было бы сделать крайне проблематично при использовании данных с различных съемочных систем.

Количественная оценка изменений в спектрально-отражательных свойствах обуславливала необходимость радиометрической корректировки изображений, полученных в разные годы (Chander et al., 2007). Поэтому все снимки прошли радиометрическую коррекцию, которая заключалась в переводе исходных яркостей снимка сначала в коэффициенты излучения, приходящего на сенсор, а затем в безразмерные коэффициенты спектральной яркости (Chander et al., 2009). Для нивелирования возможных различий в спектрально-отражательных свойствах, обусловленных влиянием разных периодов года, анализируемые снимки были подобраны примерно на один и тот же сезон (июнь).

Таблица 1. Используемые в исследовании спутниковые данные

Спутник-сенсор	Дата получения	Сектор в системе WRS-2
Landsat TM	13.06.1986	177024
Landsat TM	24.06.1996	177024
Landsat TM	22.05.2007	177024
Landsat TM	28.06.2009	177024
Landsat TM	02.06.2011	177024

При анализе спектрально-отражательных характеристик учитывали, что нарушенность экосистем оценивалась на конечную анализируемую дату, т.е. на 2011 год. Оценка спектрального отклика лесов в этот год представляла первоочередный интерес. С другой стороны нарушенность лесных сообществ может быть оценена путем вычисления разности спектральных показателей между начальной и конечной датами. Теоретически наиболее значительные изменения должны быть характерны для случаев разрушенных и культурных лесных экосистем, т.к. при этом кардинально меняются коэффициенты отражения территорий, на которых расположены леса.

Таким образом, исследование отражательных свойств насаждений включало следующие компоненты:

– количественная оценка динамики спектральных показателей, обусловленная изменениями в древостое;

– анализ достоверности различий спектральных характеристик для лесных экосистем разной степени нарушенности по состоянию на 2011 год.

Исходя из предыдущего опыта анализа спектрально-отражательных свойств лесных экосистем, типичных для региона, и оценки спектрально-отражательных признаков лесных массивов нами были использованы коэффициенты отражения в средней инфракрасной (SWIR) зоне (1,55-1,75 мкм), являющиеся наиболее чувствительными среди каналов Landsat

к изменениям в структуре лесного полога (Терехин, 2012). Кроме них была изучена динамика яркостной компоненты спектральных преобразований Tasseled Cap (Crist, Cicone, 1984). Этот вид спектральных трансформаций обнаружил эффективность для анализа нарушений лесных экосистем (Franklin et al., 2002, 2005). Оба показателя были рассчитаны на каждую анализируемую дату для каждого выделенного ареала нарушенности лесных экосистем. Для расчета был использован метод зональной статистики, заключающийся в вычислении средних значений спектральных характеристик в пределах векторных контуров лесных массивов. Применение такого способа позволило сформировать выборку лесных насаждений различной степени нарушенности и соответствующих им спектрально-отражательных характеристик, а впоследствии провести их статистический анализ (в программе STATISTICA).

3. Результаты и их обсуждение

По результатам изучения спутниковых и наземных данных было проанализировано более 980 лесных массивов, для которых была оценена нарушенность верхнего яруса (Табл. 2).

Таблица 2. Характеристика проанализированных лесных массивов

Тип нарушенности	Средняя площадь, га	Количество объектов	Суммарная площадь, га
Слабонарушенные	58,2	486	28264,5
Средненарушенные	34,8	318	11068,6
Разрушенные	33,4	66	2205,6
Культурные	12,7	66	837,9
Сильнонарушенные	8,8	45	396,0
Всего	43,6	981	42772,8

Наличие разрушенных лесных экосистем обусловлено тем, что на северо-востоке Белгородской области за анализируемый период времени наблюдалось полное сведение части сосновых насаждений вследствие пожаров, усыханий и других факторов. К сильнонарушенным лесным экосистемам относятся леса, в которых с 1990-х гг. проводились сплошнолесосечные рубки и лесовосстановление полностью не завершилось. Основной отличительной чертой средненарушенных лесов является отсутствие признаков нарушенности верхнего яруса на протяжении последних 25-30 лет, слабонарушенных – на протяжении последних 40-50 лет. Такие лесные насаждения доминируют на исследуемой территории, что во многом обусловлено значительным снижением масштабов сплошных лесосечных рубок в регионе с начала 1990-х годов.

Как изменения положительного (увеличение сомкнутости, появление новых лесов), так и отрицательного характера на разновременных спутниковых данных в большей степени проявляются в хвойных лесных насаждениях, чем лиственных лесах, что во многом обусловлено более высокой интенсивностью изменений в них. При этом установлено, что существенные изменения в древостое отражаются в динамике спектрально-отражательных характеристик как сосновых, так и лиственных лесных массивов. В связи с этим она была изучена для коэффициентов отражения в инфракрасной зоне спектра (1,55-1,75 мкм) и яркостной компоненты спектральных преобразований Tasseled Cap для ареалов разной степени нарушенности.

Резкие скачки коэффициентов отражения (коэффициентов спектральной яркости) указывают на значительные изменения в структуре лесного полога. Установлено, что резкие увеличения коэффициентов отражения в средней инфракрасной (SWIR) зоне спектра (например, рост с 0,10 до 0,15), произошедшие за интервал в 1 год или большее число лет, обусловлены значительными изменениями в верхнем ярусе, включая полное исчезновение лесного массива (Рис. 1).

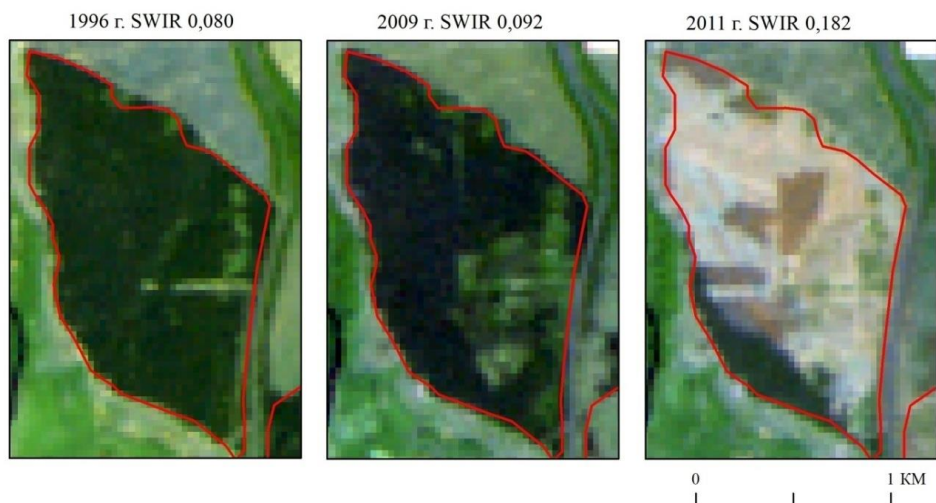


Рис. 1. Динамика коэффициентов спектральной яркости в диапазоне 1,55-1,75 мкм (SWIR), обусловленная снижением сомкнутости и гибелью древостоя

Соответственно наличие существенного роста коэффициентов спектральной яркости в средней инфракрасной области спектра может быть использовано для выявления ареалов ухудшения в состоянии растительного покрова. Обусловлено это тем, что при сильном изреживании насаждений вследствие усыхания, пожаров или вырубок, спектральный отклик территорий, на которых были леса, начинает формировать и почвенный покров, а он характеризуется более высокими коэффициентами отражения в этой спектральной области (Кринов, 1947).

Это условие может быть использовано для анализа изменений в лесных сообществах. С другой стороны, резкое снижение коэффициентов отражения в этой области спектра (например, с 0,192 до 0,136) может быть применено для выявления появившихся лесных насаждений, либо участков, на которых произошло заметное увеличение сомкнутости лесов (рис. 2). В таком случае наблюдается обратный процесс: покрытие территории древесной растительностью и последовательное увеличение сомкнутости насаждений обуславливает снижение коэффициентов отражения в этой спектральной области. Необходимо отметить, что такой подход для выявления изменений в лесных насаждениях и оценки нарушенности их верхнего яруса эффективно может быть использован при условии использования радиометрически откорректированных снимков, полученных с одного и того же сенсора.

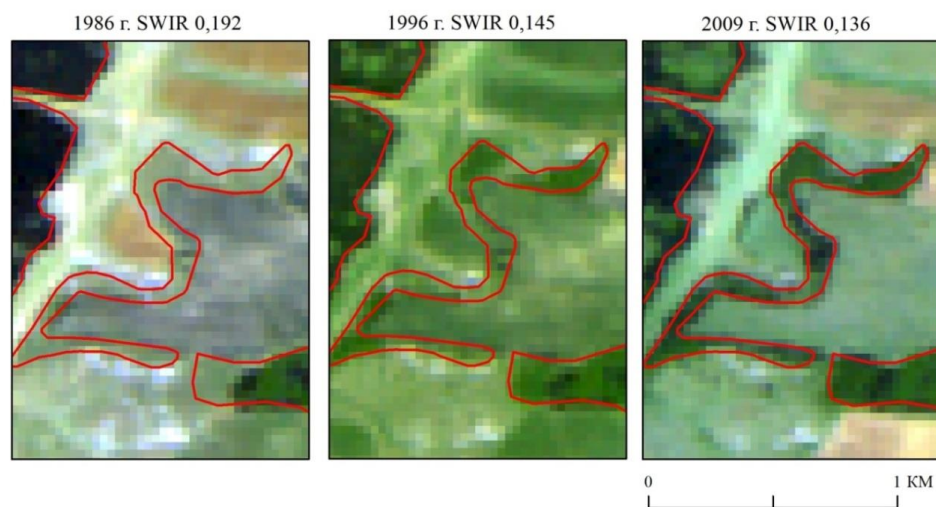


Рис. 2. Динамика коэффициентов спектральной яркости в диапазоне 1,55-1,75 мкм, обусловленная формированием лесного массива на месте безлесного участка

Хвойные леса характеризуются несколько меньшими коэффициентами отражения в инфракрасной области спектра по сравнению с лиственными лесными массивами. С другой стороны, если анализируются не сами коэффициенты, а их динамика, например, рост или снижение на определенное количество процентов, то применение данного подхода может быть применено как для лиственных, так и для хвойных лесных насаждений. Для оценки спектральных показателей, соответствующих классам нарушенности лесных экосистем для каждого лесного массива была рассчитана разность значений коэффициентов отражения в диапазоне 1,55-1,75 мкм и яркостной компоненты Tasseled Cap между конечной и начальной датой (1986-2011 гг.). После этого был выполнен статистический анализ рассчитанной величины для различных классов нарушенности лесных массивов, а также культурных насаждений. Проведенная оценка методом Краскела-Уоллиса (непараметрический аналог дисперсионного анализа) показала статистически значимые различия между большинством классов нарушенности лесных массивов для обоих спектральных показателей. По степени увеличения статистически значимых отличий (по обоим спектральным показателям) категории нарушенности выстраиваются следующим образом: культурные, разрушенные, сильнонарушенные, средненарушенные, слабонарушенные. Эти отличия наглядно видны на графической интерпретации результатов (Рис. 3).

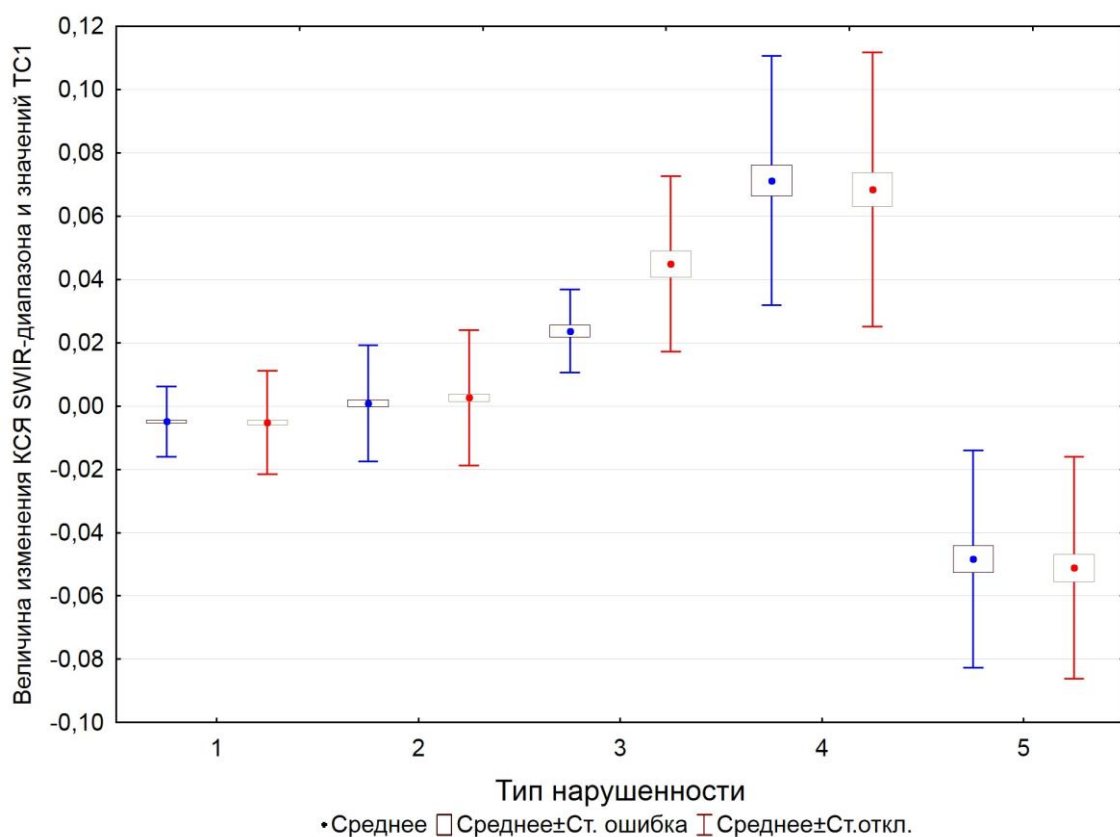


Рис. 3. Величина изменения КСЯ в диапазоне 1,55-1,75 мкм (синий график) и 1-й компоненты Tasseled Cap (красный график) для классов нарушенности древостоя. 1 – слабонарушенные, 2 – средненарушенные, 3 – сильнонарушенные, 4 – разрушенные, 5 – культурные насаждения

При этом коэффициенты отражения в SWIR-диапазоне характеризуются несколько большей чувствительностью к разной степени нарушенности верхнего яруса лесных экосистем. Из графика на Рис. 3 видно, что динамика коэффициента спектральной яркости наиболее четко различается для сильнонарушенных, разрушенных и культурных лесных экосистем.

В связи с тем, что коэффициенты отражения хвойных насаждений несколько ниже, чем лиственных, нами была проанализирована динамика спектрально-отражательных характеристик для лесных массивов лиственного и хвойного породного состава (разных категорий нарушенности). Ее анализ позволил также определить промежутки времени, в которые произошли основные нарушения древостоя, либо в его развитии наблюдались положительные тенденции.

Анализ динамики коэффициентов спектральной яркости в инфракрасной зоне для лиственных лесов (Рис. 4) позволил выявить основные особенности их категорий нарушенности.

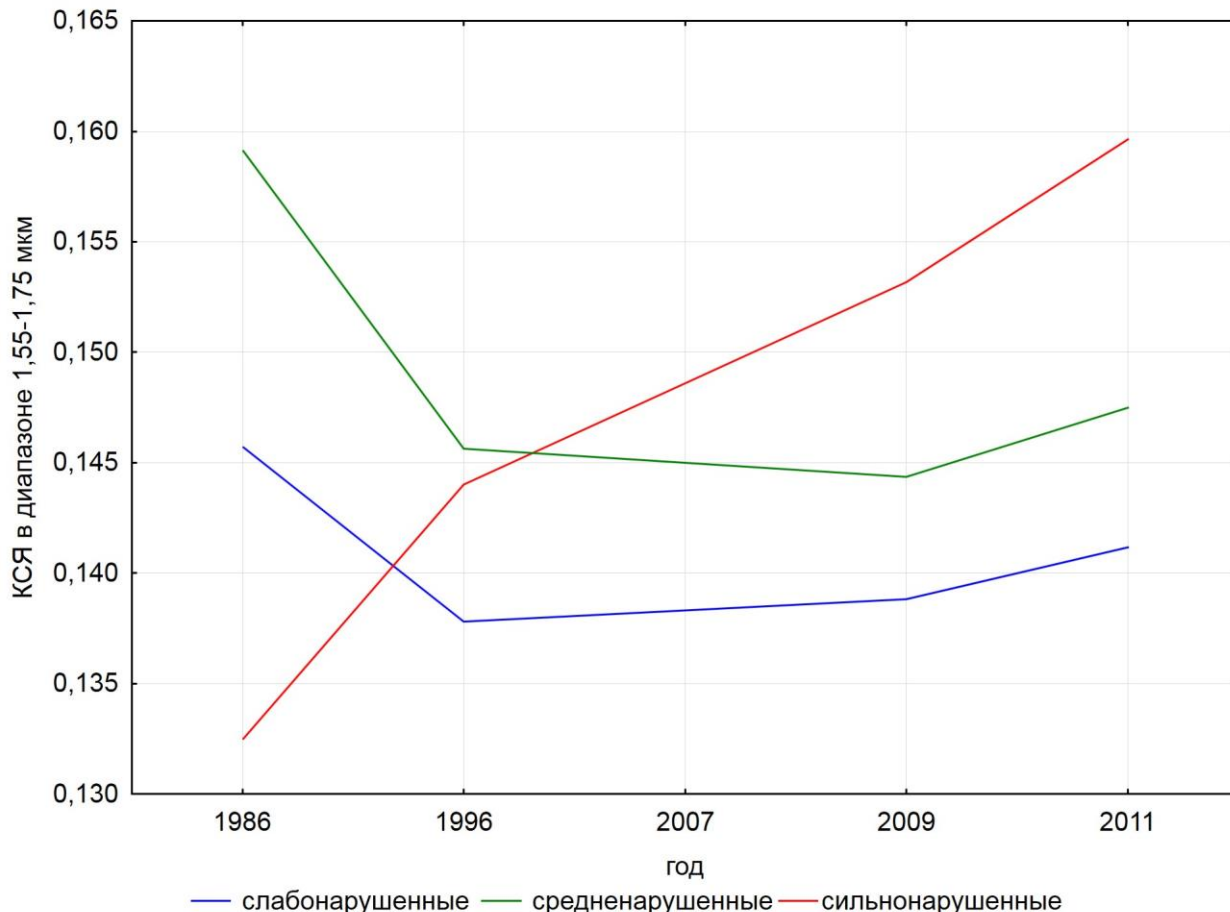


Рис. 4. Динамика КСЯ в диапазоне 1,55-1,75 мкм для различных категорий нарушенности лиственных лесных экосистем

Оценка динамики КСЯ сильнонарушенных лиственных лесных экосистем показала, что на протяжении оцениваемого периода для них было характерно последовательное увеличение спектрального показателя, что указывает на то, что нарушение древостоя на большинстве из них происходило продолжительное время. Необходимо отметить, что разрушенных лиственных экосистем на исследуемой территории не выявлено. Динамика зональных коэффициентов отражения для средненарушенных и слабонарушенных лесных экосистем имеет примерно одинаковый вид. На протяжении основной части анализируемого периода времени она имела тенденцию к снижению. В средне- и слабонарушенных лесных экосистемах воздействие нарушающих факторов (вырубки, пожары) в верхнем ярусе проявлялось последний раз более 30, либо более 50 лет назад. Т.е. такие насаждения состоят преимущественно из средневозрастных и приспевающих деревьев, для которых характерна либо слабая динамика коэффициентов отражения, либо же ее отсутствие.

Анализ динамики коэффициентов спектральной яркости в инфракрасной зоне для категорий нарушенности хвойных лесных насаждений (Рис. 5) наглядно показал существенное увеличение спектрального показателя за 25 лет, наблюдающееся для

разрушенных лесных экосистем, его постепенное снижение для культурных насаждений и отсутствие существенной динамики для средненарушенных лесных массивов.

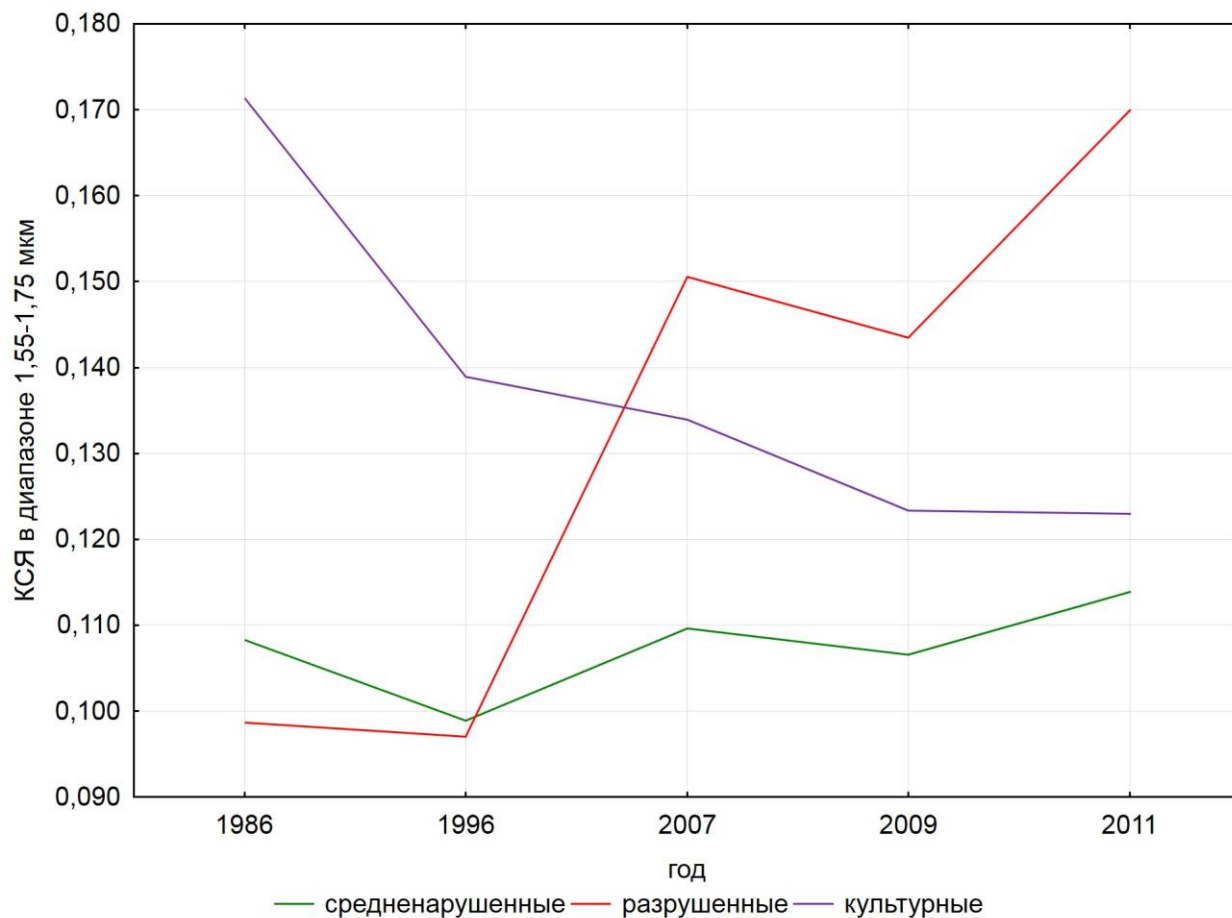


Рис. 5. Динамика КСЯ в диапазоне 1,55-1,75 мкм для различных категорий нарушенности хвойных лесных экосистем

Анализ спектральных кривых позволил понять, каким образом меняются спектрально-отражательные характеристики лесных насаждений на протяжении времени. В частности, динамика КСЯ инфракрасного диапазона для культурных лесных экосистем показала, что наибольшая степень изменения спектрального показателя наблюдалась в первое анализируемое десятилетие (1986-1996 гг.). В следующие пятнадцать лет также наблюдалось снижение отражательной способности, но оно было не такое интенсивное. Обусловлено это тем, что большинство проанализированных культурных лесных экосистем создавалось в 1980-х гг. и, соответственно, в первые десять лет наблюдался их интенсивный рост, сопровождающийся увеличением проективного покрытия и сменой спектрально-отражательных свойств территории. Разрушенные хвойные лесные экосистемы наоборот характеризуются ростом отражательной способности в инфракрасной зоне спектра. Максимальный рост коэффициентов отражения (характеризующий наибольшую степень разрушения для основной части проанализированных лесных экосистем) наблюдался между 1996 и 2007 годами.

Для средненарушенных хвойных лесных экосистем характерна минимальная динамики коэффициентов отражения в инфракрасной спектральной области. Этот тип лесных сообществ включает насаждения, в которых проведение сплошнолесосечных рубок, либо влияние других факторов, нарушающих структуру древостоя, наблюдалось более 30 лет назад. Такие лесные массивы состоят преимущественно из средневозрастных деревьев, характеризующихся невысокой динамикой спектрально-отражательных свойств, что характерно и для слаборазрушенных лесных сообществ.

4. Заключение

Нарушенность верхнего яруса лесных экосистем, обусловленная в первую очередь влиянием сплошнолесосечных рубок, пожаров и усыханий, проявляется в динамике спектрально-отражательных свойств. Для лесных экосистем, характеризующихся разной степенью нарушенности верхнего яруса, установлены достоверные различия в таких спектральных показателях как коэффициенты отражения в среднем инфракрасном диапазоне (1,55-1,75 мкм) и яркостная компонента преобразований Tasseled Cap. По мере ухудшения состояние древостоя для обоих показателей наблюдается рост значений, который может быть использован для выявления категорий нарушенности лесных насаждений при условии, что спектральные характеристики рассчитываются для каждого анализируемого лесного массива. Повышение сомкнутости или же появление лесных массивов на месте не покрытых лесом земель сопровождается последовательным снижением абсолютных величин обоих спектральных показателей.

5. Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-4611.2016.5.

Литература

Барталев и др., 2005 – Барталев С.А., Курятникова Т.С., Стибиг Х.Ю. (2005). Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики вырубок таежных лесов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 2, № 2, С. 217–227.

Барталев, Лупян, 2013 – Барталев С.А., Лупян Е.А. (2013). Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 10, № 1, С. 197–214.

Василевич и др., 2014 – Василевич М.И., Елсаков В.В., Щанов В.М. (2014). Применение спутниковых методов исследований в мониторинге состояния лесных фитоценозов в зоне выбросов промышленного предприятия // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 11, № 1, С. 30–42.

Воробьев и др., 2016 – Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Полевщикова Ю.А., Лезнин С.А. (2016). Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам landsat // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 13, № 4, С. 124–134.

Горный и др., 2013 – Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Храмов В.Н. (2013). Верификация крупномасштабных карт индекса нарушенности экосистем // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 10, № 4, С. 201–212.

Елсаков, 2012 – Елсаков В.В. (2012). Спутниковая съемка в экологическом мониторинге регионов добычи углеводородов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Т. 9, № 5, С. 133–139.

Жирин и др. 2013 – Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П. (2013). Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам // *Лесоведение*, № 5, С. 76–85.

Зинченко и др., 2013 – Зинченко В.Е., Лохманова О.И., Калиниченко В.П., Глухов А.И., Повх В.И., Шляхова Л.А. (2013). Космический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения юга России // *Исследование Земли из космоса*, № 3, С. 33-45.

Кондратьев, Федченко, 1982 – Кондратьев К.Я., Федченко П.П. (1982). Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. Л.: Гидрометеиздат, 216 с.

Кринов, 1947 – Кринов Е.Л. (1947). Спектральная отражательная способность природных образований. М.: Изд-во АН СССР, 273 с.

Кузьменко и др., 2013 – Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Кириленко Ж.А., Григорьева О.И. (2013). Обеспечение оптимальной водоохранной лесистости при бассейновой организации природопользования // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, Т. 15, № 3-2, С. 652–657.

Лисецкий, 2008 – Лисецкий Ф.Н. (2008). Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 4, С. 13-20.

Терехин, 2012 – Терехин Э.А. (2012). Анализ каналов спутниковых данных landsat TM для оценки характеристик лесных насаждений Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности // *Исследование Земли из космоса*, № 2, С. 53–61.

Baumann et al., 2014 – Baumann M., Ozdogan M., Wolter P.T., Krylov A., Vladimirova N., Radeloff V.C. (2014). Landsat remote sensing of forest windfall disturbance // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 143, pp. 171–179.

Boyd, Danson, 2005 – Boyd D.S., Danson F.M. (2005). Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development // *Progress in Physical Geography*, Vol. 29, No. 1, pp. 1–26.

Chander et al., 2007 – Chander G., Markham B., Barsi J. (2007). Revised landsat-5 thematic mapper radiometric calibration // *Geoscience and remote sensing letters* // Vol. 4, No. 3, pp. 490–494.

Chander et al., 2009 – Chander G., Markham B., Helder D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, No. 5, pp. 893–903.

Chen et al., 2016 – Chen D., Loboda T.V., Krylov A., Potapov P.V. (2016). Mapping stand age dynamics of the Siberian larch forests from recent Landsat observations // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 187, pp. 320–331.

Crist, Cicone, 1984 – Crist E.P., Cicone R.C. (1984). A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap // *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 22, No. 3, pp. 256–263.

DeVries et al., 2015 – DeVries, B., Decuyper, M., Verbesselt, J., Zeileis, A., Herold, M., Joseph S. (2015). Tracking disturbance-regrowth dynamics in tropical forests using structural change detection and Landsat time series // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 169, pp. 320–334.

Fassnacht et al., 2016 – Fassnacht F.E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L.T., Straub C., Ghosh A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 186, pp. 64–87.

Franklin et al., 2002 – Franklin S. E., Lavigne M.B., Wulder M.A., McCaffrey T.M. (2002). Large-area forest structure change detection: An example // *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 28, No. 4, pp. 588–592.

Franklin et al., 2005 – Franklin S.E., Jagielko C.B., Lavigne M.B. (2005). Sensitivity of the Landsat enhanced wetness difference index (EWDI) to temporal resolution // *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 32, No. 2, pp.149–152.

Frantz et al., 2016 – Frantz D., Röder A., Udelhoven T., Schmidt M. (2016). Forest Disturbance Mapping Using Dense Synthetic Landsat/MODIS Time-Series and Permutation-Based Disturbance Index Detection // *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 277–299.

Gerylo et al., 2002 – Gerylo G.R., Hall R.J., Franklin S.E., Smith L. (2002). Empirical relations between Landsat TM spectral response and forest stands near Fort Simpson, Northwest Territories, Canada // *Can. J. Rem. Sens.*, Vol. 28, No.1. pp. 68–79.

Giri, Muhlhausen, 2005 – Giri C., Muhlhausen J. (2008). Mangrove Forest Distributions and Dynamics in Madagascar (1975–2005) // *Sensors*, No. 8, pp. 2104–2117.

Hall et al., 2006 – Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., Case, B.S. (2006). Modeling forest structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume // *Forest Ecology and Management*, Vol. 225, No. 1-3, pp. 378–390.

Healey et al., 2005 – Healey S., Cohen W. B., Zhiqiang Y., Krankin O.N. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 97, No. 3, pp. 301–310.

Jing et al., 2009 – Jing X., Wang J., Huang W., Liu L.Y., Wang J. (2009). D. Study on forest vegetation classification based on multi-temporal remote sensing images // *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 2009, Vol. 1, pp.115–123.

King et al., 2005 – King D. J., Olthof I., Pellikka K. E., Seed E. D., Butson C. (2005). Modelling and Mapping Damage to Forests from an Ice Storm Using Remote Sensing and Environmental Data // *Natural Hazards*, Vol. 35, No. 3, pp. 321–342.

Leon et al., 2012 – Leon J.R.R. van Leeuwen W.J.D., Casady G.M. (2012). Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments // *Remote sensing*, Vol. 4, pp. 598–621.

Lisetskii et al., 2016 – Lisetskii F.N., Tokhtar V.K., Ostapko V.M., Prykhodko S.A. Petrunova T.V. (2016). Regularities and Features of Differentiation and Anthropogenic Transformation of Steppe Vegetation // *Terrestrial Biomes: Geographic Distribution, Biodiversity and Environmental Threats*. Editors: Marlon Nguyen. USA, Nova Science Publishers, Inc., Chapter 4. pp. 103–126.

Lu et al., 2004 – Lu D., Mausel P., Batistella M., Moran E. (2004). Multitemporal spectral mixture analysis for Amazonian land-cover change detection // *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 30, No. 1, pp. 87–100.

Lu et al., 2004 – Lu D., Mausel P., Brondzio E., Moran E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM Spectral responses in the Brazilian Amazon Basin // *Forest Ecology and Management*, Vol. 198, No. 1–3, pp. 149–167.

Lutz et al., 2008 – Lutz D.A., Washington-Allen R. A., Shugart H.H. (2008). Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review // *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 34, No. 2, pp. 286–313.

Michishita et al., 2012 – Michishita R., Xu B., Gong P. (2012). Spectral mixture analysis for bi-sensor wetland mapping using Landsat TM and Terra MODIS data // *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 11, pp. 3373–3402.

Phua, Saito, 2003 – Phua M., Saito H. (2003). Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data // *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29, No. 4. pp. 429–440.

Pu et al., 2003 – Pu R., Xu B., Gong P. (2003). Oakwood crown closure estimation by unmixing Landsat TM data // *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, No. 22. pp. 4433–4445.

Samimi, Kraus, 2004 – Samimi C., Kraus T. (2004). Biomass estimation using Landsat-TM and ETM+. Towards a regional model for Southern Africa // *GeoJournal*, Vol. 59, No. 3. pp. 177–187.

Schroeder et al., 2007 – Schroeder T.A., Cohen W.B., Yang Z. (2007). Patterns of forest regrowth following clearcutting in western Oregon as determined from a Landsat time-series // *Forest Ecology and Management*, No. 243, pp. 259–273.

Song et al., 2007 – Song C., Schroeder T.A., Cohen W.B. (2007). Predicting temperate conifer forest successional stage distributions with multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 106. pp. 228–237.

Trigg et al., 2006 – Trigg S.N., Curran L. M., McDonald A. K. (2006). Utility of Landsat 7 satellite data for continued monitoring of forest cover change in protected areas in Southeast Asia // *Singapore Journal of Tropical Geography*, 2006, Vol. 27, No. 1, pp. 49–66.

Vogelmann et al., 2009 – Vogelmann J.E., Tolk B., Zhu Z. (2009). Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, pp. 1739–1748.

Wilson, Sader, 2002 – Wilson E.H., Sader S.A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery // *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, pp. 385–396.

References

Bartalev et al., 2005 – Bartalev S.A., Kuryatnikova T.S., Stibig Kh.Yu. (2005). Methods for the analysis of time-series of high-resolution satellite images for the assessment of logging in the taiga, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 2, No. 2, pp. 217–227.

Bartalev, Lupyan, 2013 – Bartalev S.A., Lupyan E.A. (2013). R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 10, No. 1, pp. 197–214.

Vasilevich et al., 2014 – Vasilevich M.I., Elsakov V.V., Shchanov V.M. (2014). The use of satellite research methods in monitoring the state of forest communities in the area of industrial emissions, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 11, No. 1, pp. 30–42.

Vorob'ev et al. 2016 – Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Polevshchikova Yu.A., Lezhnin S.A. (2016). Assessment of dynamics and disturbance of forest cover in the Middle Povolzhje by

Landsat images, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 13, No. 4, pp. 124–134.

[Gornyi et al. 2013](#) – Gornyi V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Khramtsov V.N. (2013). Verification of large scale maps of thermodynamic index ecosystem health disturbance, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 10, No. 4, pp. 201–212.

[Elsakov, 2012](#) – Elsakov V.V. (2012). The remote sensing data in ecological monitoring of carbohydrates deposits, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, Vol. 9, No. 5, pp. 133–139.

[Zhirin et al. 2013](#) – Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. The Eco-dynamical Study of Forest-forming Process with Space Imagery, *Lesovedenie*, No. 5, pp. 76–85.

[Zinchenkou et al., 2013](#) – Zinchenkou, V.E., Lokhmanova, O.I., Kalinichenko, V.P., Glukhov, A.I., Povkh, V.I., Shljakhova, L.A. (2013). Space monitoring of agricultural lands in southern Russia, *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, Vol. 49, No. 9, pp. 1036-1046. doi: [10.1134/S0001433813090168](https://doi.org/10.1134/S0001433813090168)

[Kondrat'ev, Fedchenko, 1982](#) – Kondrat'ev K.Ya., Fedchenko P.P. (1982). Spectral reflectivity and vegetation recognition. L.: Gidrometeoizdat, 216 p.

[Krinov, 1947](#) – Krinov E.L. (1947). Spectral reflectivity of natural formations M.: Izd-vo AN USSR, 273 p.

[Kuz'menko et al. 2013](#). – Kuz'menko YA.V., Lisetskiy F.N., Kirilenko ZH.A., Grigor'yeva O.I. (2013). Providing the optimum water protection forests amount at basin organization of nature management, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, Vol. 15, No. 3-2, pp. 652–657.

[Lisetskiy, 2008](#) – Lisetskiy F.N. (2008). Soil-formation Potential of Forest Stands under Sands Afforestation in Forest-steppe and Steppe Environment, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, No. 4, pp. 13–20.

[Terekhin, 2012](#) – Terekhin E.A. (2012). Analysis of satellite data channels landsat TM for the estimation of forest stand parameters of the Forest-steppe province of the Central Russian Upland, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, No. 2, pp. 53–61.

[Baumann et al., 2014](#) – Baumann M., Ozdogan M., Wolter P.T., Krylov A., Vladimirova N., Radeloff V.C. (2014). Landsat remote sensing of forest windfall disturbance, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 143, pp. 171–179.

[Boyd, Danson, 2005](#) – Boyd D.S., Danson F.M. (2005). Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development, *Progress in Physical Geography*, Vol. 29, No. 1, pp. 1–26.

[Chander et al., 2007](#) – Chander G., Markham B., Barsi J. (2007). Revised landsat-5 thematic mapper radiometric calibration, *Geoscience and remote sensing letters* // Vol. 4, No. 3, pp. 490–494.

[Chander et al., 2009](#) – Chander G., Markham B., Helder D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, No. 5, pp. 893–903.

[Chen et al., 2016](#) – Chen D., Loboda T.V., Krylov A., Potapov P.V. (2016). Mapping stand age dynamics of the Siberian larch forests from recent Landsat observations, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 187, pp. 320–331.

[Crist, Cicone, 1984](#) – Crist E.P., Cicone R.C. (1984). A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 22, No. 3, pp. 256–263.

[DeVries et al., 2015](#) – DeVries, B., Decuyper, M., Verbesselt, J., Zeileis, A., Herold, M., Joseph S. (2015). Tracking disturbance-regrowth dynamics in tropical forests using structural change detection and Landsat time series, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 169, pp. 320–334.

[Fassnacht et al., 2016](#) – Fassnacht F.E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L.T., Straub C., Ghosh A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 186, pp. 64–87.

[Franklin et al., 2002](#) – Franklin S. E., Lavigne M.B., Wulder M.A., McCaffrey T.M. (2002). Large-area forest structure change detection: An example, *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 28, No. 4, pp. 588–592.

Franklin et al., 2005 – Franklin S.E., Jagielko C.B., Lavigne M.B. (2005). Sensitivity of the Landsat enhanced wetness difference index (EWDI) to temporal resolution, *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 32, No. 2, pp.149–152.

Frantz et al., 2016 – Frantz D., Röder A., Udelhoven T., Schmidt M. (2016). Forest Disturbance Mapping Using Dense Synthetic Landsat/MODIS Time-Series and Permutation-Based Disturbance Index Detection, *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 277–299.

Gerylo et al., 2002 – Gerylo G.R., Hall R.J., Franklin S.E., Smith L. (2002). Empirical relations between Landsat TM spectral response and forest stands near Fort Simpson, Northwest Territories, Canada, *Can. J. Rem. Sens*, Vol. 28, No.1. pp. 68–79.

Giri, Muhlhausen, 2005 – Giri C., Muhlhausen J. (2008). Mangrove Forest Distributions and Dynamics in Madagascar (1975–2005), *Sensors*, No. 8, pp. 2104–2117.

Hall et al., 2006 – Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., Case, B.S. (2006). Modeling forest structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume, *Forest Ecology and Management*, Vol. 225, No. 1-3, pp. 378–390.

Healey et al., 2005 – Healey S., Cohen W. B., Zhiqiang Y., Krankin O.N. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 97, No. 3, pp. 301–310.

Jing et al., 2009 – Jing X., Wang J., Huang W., Liu L.Y., Wang J. (2009). D. Study on forest vegetation classification based on multi-temporal remote sensing images, *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 2009, Vol. 1, pp.115–123.

King et al., 2005 – King D. J., Olthof I., Pellikka K. E., Seed E. D., Butson C. (2005). Modelling and Mapping Damage to Forests from an Ice Storm Using Remote Sensing and Environmental Data, *Natural Hazards*, Vol. 35, No. 3, pp. 321–342.

Leon et al., 2012 – Leon J.R.R. van Leeuwen W.J.D., Casady G.M. (2012). Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments. *Remote sensing*, Vol. 4, pp. 598–621.

Lisetskii et al., 2016 – Lisetskii F. N., Tokhtar V. K., Ostapko V. M., Prykhodko S. A. Petrunova T. V. (2016). Regularities and Features of Differentiation and Anthropogenic Transformation of Steppe Vegetation, *Terrestrial Biomes: Geographic Distribution, Biodiversity and Environmental Threats*. Editors: Marlon Nguyen. USA, Nova Science Publishers, Inc., Chapter 4. pp. 103–126.

Lu et al., 2004 – Lu D., Mausel P., Batistella M., Moran E. (2004). Multitemporal spectral mixture analysis for Amazonian land-cover change detection, *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 30, No. 1, pp. 87–100.

Lu et al., 2004 – Lu D., Mausel P., Brondzio E., Moran E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM Spectral responses in the Brazilian Amazon Basin, *Forest Ecology and Management*, Vol. 198, No. 1–3, pp. 149–167.

Lutz et al., 2008 – Lutz D.A., Washington-Allen R. A., Shugart H.H. (2008). Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review, *Canadian Journal Remote Sensing*, Vol. 34, No. 2, pp. 286–313.

Michishita et al., 2012 – Michishita R., Xu B., Gong P. (2012). Spectral mixture analysis for bi-sensor wetland mapping using Landsat TM and Terra MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 11, pp. 3373–3402.

Phua, Saito, 2003 – Phua M., Saito H. (2003). Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data, *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29, No. 4. pp. 429–440.

Pu et al., 2003 – Pu R., Xu B., Gong P. (2003). Oakwood crown closure estimation by unmixing Landsat TM data, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, No. 22. pp. 4433–4445.

Samimi, Kraus, 2004 – Samimi C., Kraus T. (2004). Biomass estimation using Landsat-TM and ETM+. Towards a regional model for Southern Africa, *GeoJournal*, Vol. 59, No. 3. pp. 177–187.

Schroeder et al., 2007 – Schroeder T.A., Cohen W.B., Yang Z. (2007). Patterns of forest regrowth following clearcutting in western Oregon as determined from a Landsat time-series, *Forest Ecology and Management*, No. 243, pp. 259–273.

Song et al., 2007 – Song C., Schroeder T.A., Cohen W.B. (2007). Predicting temperate conifer forest successional stage distributions with multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 106. pp. 228–237.

Trigg et al., 2006 – Trigg S.N., Curran L. M., McDonald A. K. (2006). Utility of Landsat 7 satellite data for continued monitoring of forest cover change in protected areas in Southeast Asia, *Singapore Journal of Tropical Geography*, 2006, Vol. 27, No. 1, pp.49–66.

Vogelmann et al., 2009 – Vogelmann J.E., Tolk B., Zhu Z. (2009). Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, pp. 1739–1748.

Wilson, Sader, 2002 – Wilson E.H., Sader S.A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, pp. 385–396.

УДК 528.88

Влияние нарушенности лесных экосистем на динамику их спектрально-яркостных характеристик

Эдгар Аркадьевич Терехин ^{a, *}

^a Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

Аннотация. Нарушенность лесных экосистем является одним из ключевых критериев, характеризующих текущее состояние лесных массивов. В статье изложены результаты анализа спектрально-отражательных свойств лесных экосистем с разной степенью нарушенности верхнего яруса, полученные на основе исследования лесов лесостепной зоны, расположенных на территории Белгородской области. На основе данных Landsat TM оценена динамика спектрально-отражательных характеристик лесных насаждений путем анализа коэффициентов спектральной яркости в средней инфракрасной зоне (1,55-1,75 мкм) и яркостной компоненты (Brightness) спектральных преобразований Tasseled Cap. Спектральный отклик изучен для 6 категорий нарушенности лесных экосистем. Увеличение значений обоих спектральных показателей связано с ухудшением состояния древостоя, уменьшение обусловлено повышением сомкнутости, либо появлением новых участков леса. Ухудшение состояния проявляется в усыхании древостоя, его изреживании, либо полном исчезновении вследствие воздействия природных или антропогенных факторов. Установлено, что наибольшие временные изменения в спектральных показателях характерны для разрушенных и культурных лесных насаждений. Увеличение степени нарушенности лесных экосистем сопровождается ростом разности значений обоих спектральных показателей за конечную и начальную оцениваемую дату. По степени нарастания отличия спектрального отклика от других категорий лесные экосистемы располагаются в следующий ряд: культурные, разрушенные, сильнонарушенные, среденарушенные, слабонарушенные.

Ключевые слова: лесные массивы, нарушенность экосистем, дистанционное зондирование, Landsat, геоинформационные технологии, юго-запад Среднерусской возвышенности.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: terekhin@bsu.edu.ru (Э.А. Терехин)