

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СТЕПНЫХ И ПУСТЫННЫХ СОЛОНЦОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ

\*В.В. Кульнев<sup>1</sup>, И.В. Цветков<sup>2</sup>, А.Н. Насонов<sup>3</sup>, Г.Х. Бедретдинов<sup>4</sup>, Л.А. Межова<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Россия, Воронеж

<sup>2</sup>Тверской государственной университет, Россия, Тверь

<sup>3</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, Россия, Москва

<sup>4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Россия, Москва

<sup>5</sup>Воронежский государственный педагогический университет, Россия, Воронеж

\*e-mail: kulneff.vadim@yandex.ru

Усовершенствован способ оценки площадной инвариантности солонцов при проведении дистанционного зондирования степных и пустынных территорий. Показано, что представленная технология позволяет повышать оперативность выявления солонцов в зональных степных и пустынных ландшафтах. Сопряженное использование различных подходов к определению фрактальности позволили оценить вариативность использования при различных типах природных геосистем. Возможна обработка снимка непосредственно на борту беспилотного летательного аппарата и подача сигнала о соответствующем событии при отрицательной динамике фрактальных показателей.

*Ключевые слова:* аэрофотоснимки, беспилотные летательные аппараты, дешифрирование, дистанционное зондирование, Канторово пространство, мультифрактальная динамика, солонцы, степи, текстуры природных объектов, фрактальность.

### Введение

Дистанционное зондирование активно используется в современном сельскохозяйственном природопользовании. Автоматическая обработка материалов дистанционного зондирования применяется при создании картографических моделей, экологическом мониторинге различных агроэкосистем. Система дистанционного мониторинга постоянно усложняется и совершенствуется, и позволяет оперативно выявлять негативные процессы и явления в сельскохозяйственном производстве.

Особенностью аридного агропользования является компенсация недостатка влаги в корнеобитаемом слое за счет обильного орошения, которое приводит к подъему уровня залегания высокоминерализованных подземных вод и, как следствие, к образованию солонцов [1].

Значительный вклад за последние годы дистанционное зондирование внесло в усовершенствование картографических моделей оценки земельных ресурсов. Особый интерес представляет использование дистанционного зондирования при выявлении степени засоления почв, например, путем вычисления спектральных индексов [1].

В этой связи целью исследования является усовершенствование методов дистанционного мониторинга при изучении солонцов по аэрофотоснимкам на основе использования мультифрактальных методов [2]. Это в купе с полевыми исследованиями даст возможность создавать карты различной степени засоления почв, на основе которых выявлять процессы засоления и для каждого типа засоления разрабатывать мелиоративные мероприятия.

Исследования аэрокосмических снимков земель проводились в пределах русла р. Маныч, пойменного озера Маныч-Гудило, которые находятся в северной части Прикаспийской низменности и западной части пересохшего Арала.

### Материалы и методы

Изучением засоленных территорий российские и зарубежные ученые активно занимались с пятидесятых годов XX века [3-8]. При анализе аэрофотоснимков использовались методы вычисления фрактальной размерности неоднородностей [2].

Исследования проводились на основе использования фрактальной теории Бенуа Мандельброта [9]. Значительное место занимали работы по оценке фрактальной структуры ландшафтов [10-12]. Было доказано, что для каждого типа ландшафта характерны свои индивидуальные параметры.

Сложной проблемой распознавания природных текстур является отсутствие разработанных критериев по идентификации изображений на снимках к реально существующим природным и техногенным геосистемам. При идентификации, в основном, используется цветовая гамма объекта исследования. Полученные данные хорошо используются в машинной обработке по определенному алгоритму. Однако этот метод применим только для изучения однородных объектов. Он имеет высокие показатели эффективности при изучении монокультурных сельскохозяйственных геосистем. При использовании данного подхода к изучению сложных природных геосистем недостатком является высокий процент усреднения показателей.

В отличие от разработанных подходов для идентификации исследуемых объектов нами предлагается использование фрактальной размерности текстур. Особенно ценной чертой в разрабатываемом нами подходе является возможность сравнения разнородных аэрофотоснимков и оценивания динамики состояния природных объектов через анализ их текстур на мультиспектральных изображениях и изображениях из различных источников. Но достаточно остро встает вопрос о наиболее корректном методе определения фрактальной размерности.

В ходе полевого этапа исследований по характерным фитоценозам установлено, что на исследуемой территории достаточно широкое распространение имеют солонцы. Растительные сообщества солонцов, как правило, представлены многолетними злаками (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*), полукустарничками (*Kochia prostrata*, *Artemisia lerchiana*), травянистым многолетником *Tanacetum achilleifolium*, а также чернополынными (*Artemisia pauciflora*), камфоросмовыми (*Camphorosma monspeliaca*), чернополынно-камфоросмовыми, камфоросмово-чернополынными, прутняково-чернополынными растительными сообществами [13]. При этом, солонцы достаточно сильно отличаются от окружающих их незасоленных почв как генетически, так и, соответственно, текстурно (рис. 1-3).



Рисунок 1 – Участки осолонцевания в восточной части Волгоградской области

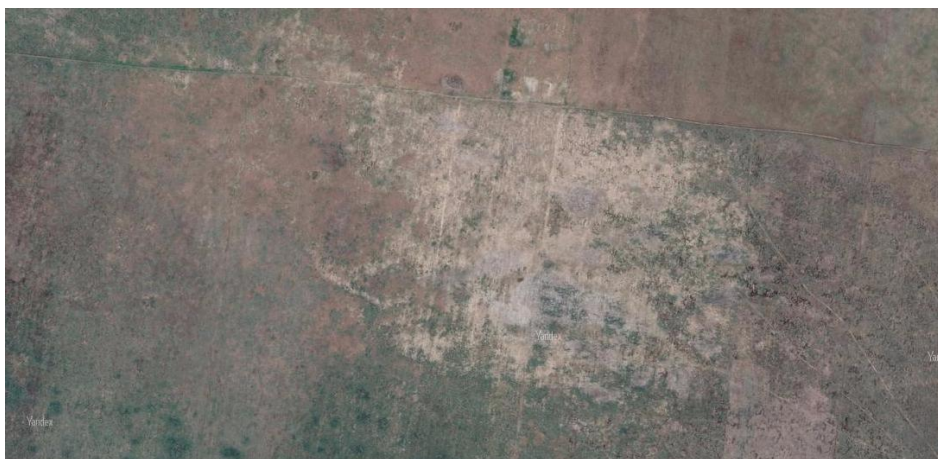


Рисунок 2 – Солонцеватые почвы сельскохозяйственных угодий. Республика Калмыкия, район оз. Маныч-Гудило



Рисунок 3 – Крупный участок солонцеватой почвы на сельскохозяйственных угодьях. Ставропольский край, район оз. Маныч-Гудило

Очевидно, что солонец по окрашенности и характеру текстур значительно отличается от окружающей его растительности. Структура текстуры на аэрофотоснимке солонца сильно отличается от окружающей территории. В связи с этим для идентификации солонцов, возможно, применить методы фрактального анализа. В данном случае речь идет о сравнении фрактальной размерности текстуры изображения на разных участках снимка. Для оценки фрактальности использовали «клеточный» способ Б. Мандельброта (рис. 4).

Аэрофотоснимок покрывается сеткой с шагом от  $\delta_{\min}$  до  $\delta_{\max}$ . В дальнейшем подсчитываем количество ячеек сетки, в которых находится изучаемый объект [2].

Фрактальная размерность  $D$  вычисляется на основе формулы:

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \left( \frac{\ln N(\delta)}{\ln \left( \frac{1}{\delta} \right)} \right) \quad (1)$$

где  $N$  – число ячеек, занятых объектом,  $\delta$  – размер ячейки.

Фрактальная размерность определяется как тангенс угла наклона этой линии.

Для фрактальных объектов фрактальная размерность должна быть больше топологической:

$$D > d_t \quad (2)$$

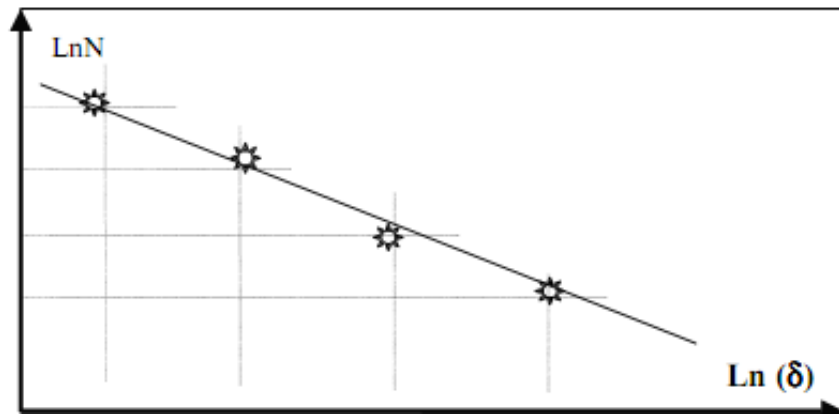


Рисунок 4 – Иллюстрация определения точности фрактальной модели

А. Хэк предложил метод оценки фрактальной размерности для речных геосистем на примере рек Вирджинии и Мэриленда. Рассчитал отношение площади гидросистемы к длине русла самой главной реки [2]. Сущность предлагаемого им подхода представлена на рисунке 5.

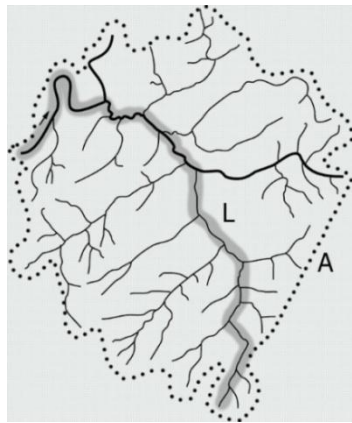


Рисунок 5 – Определение фрактальной размерности речной сети методом Хэка

Для исследования сложных природных геосистем нами апробирован и модифицирован метод Канторовского множества, представленный на рисунке 6.

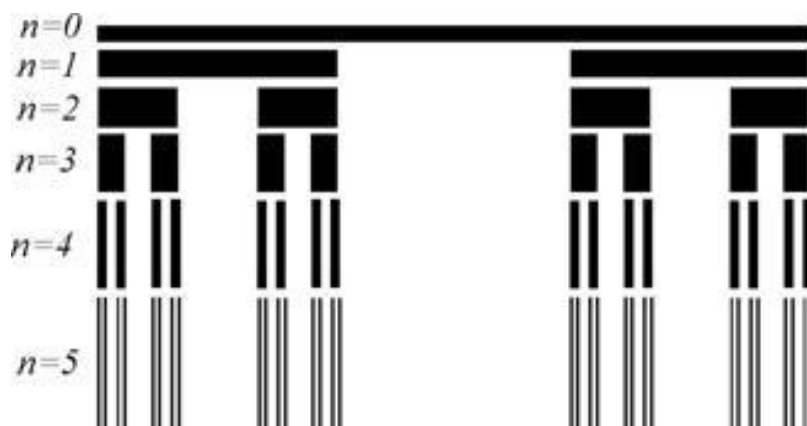


Рисунок 6 – Пример Канторовского множества [2]

Затем строится дважды логарифмический график зависимости числа пересечений окружности определенного радиуса элементами системы и радиуса данной окружности (рис. 7).



Рисунок 7 – Определение фрактальной размерности речной сети Канторовским методом [2]

Естественно, возникает вопрос о наличии геометрических ограничений у методов определения фрактальной размерности. И у классического box-метода, и у Канторовского метода – это фиксированная форма участков, захватывающая лишние участки, прилегающие к однородным объектам – граница леса, болото сложной формы. Это затрудняет анализ и идентификацию [2].

При изучении многоугольных контуров доказано, что величина размерности на однородных участках менялась незначительно (рис. 8, 9).



Рисунок 8 – Выделение текстуры на прямоугольном и произвольном участке



Рисунок 9 – Расчет фрактальной размерности текстуры сложной формы

Вышеизложенный алгоритм расчета фрактальной размерности был программно реализован и использовался для обработки аэрофотоснимков, полученных с помощью бесплотников.

Для группировки и идентификации объектов на аэрофотоснимках проводились измерения исследуемых геосистем на основе использования различных источников и с применением разносезонных снимков.

Расчет проводился для прямоугольного участка снимка, содержащего солонец. Процент расхождения при изучении 22 снимков, в 19 составил около 5 % (рис. 10).

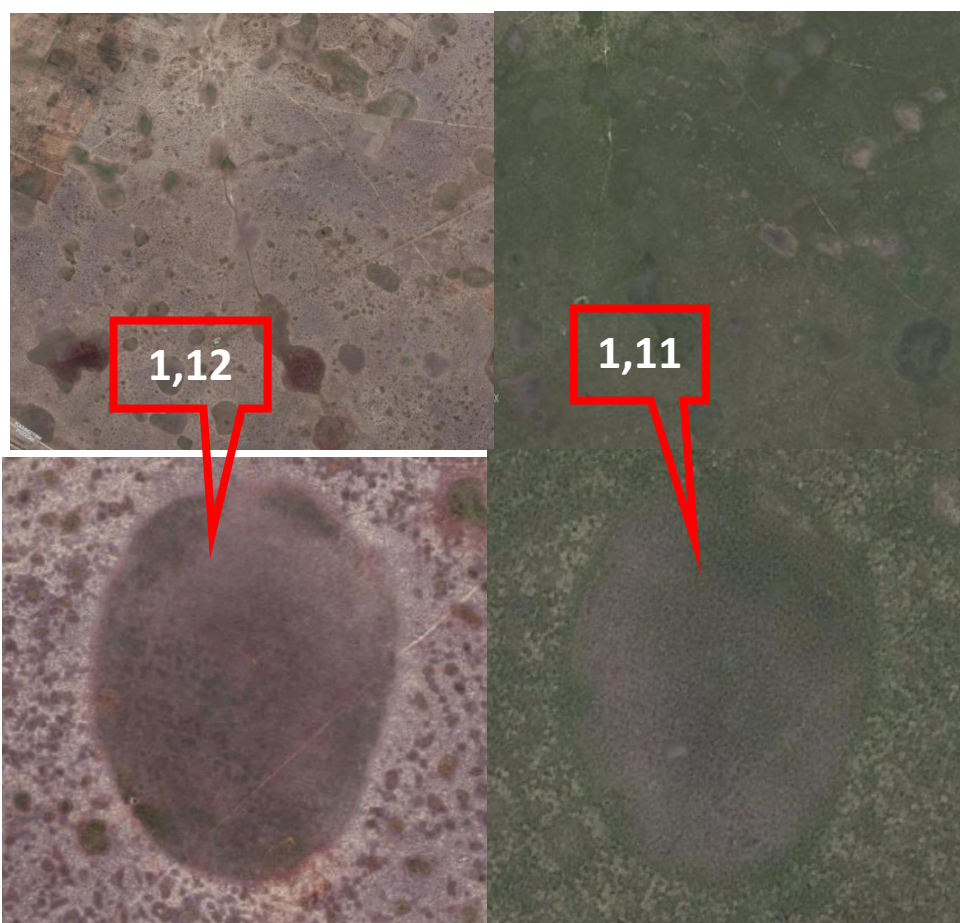


Рисунок 10 – Фрактальные размерности текстуры солонца, полученные от различных аппаратных источников

Учитывая популярность методов дистанционного зондирования, нами был проведен анализ серий спектральных изображений, сделанных для одной территории в различных спектрах. Как правило, разница для различных спектров не превышала 10 %, при том, что разность фрактальных размерностей для текстур различных природных объектов всегда коррелирует в достаточно большой степени (коэффициент корреляции для сходных участков составил 0,89). Сопряженный анализ снимков исследуемой территории, представленных в разных спектральных зонах, дает возможность по снимку, имеющему максимальную размерность, определить участки спектра, имеющие высокую информационную нагрузку (рис. 11).

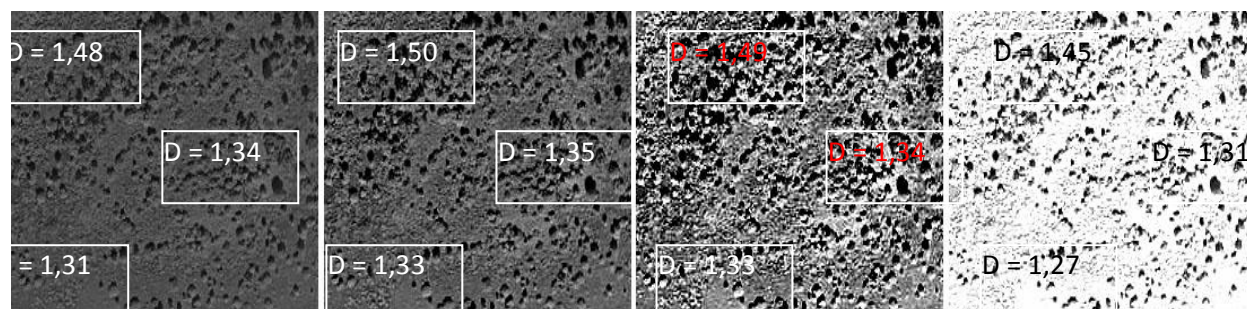


Рисунок 11 – Фрактальные размерности текстур одного участка местности, сделанного в разных спектрах

### Результаты и обсуждение

На исследуемой территории в районе Прикаспийской низменности были изучены более двухсот фрагментов текстур природных геосистем. Для различных солонцов выявлена фрактальная размерность (D) в районе 1,08-1,11. Таким образом, появляется возможность идентификации и мониторинга солонцовых образований. Образование солонцов всегда ведет к деградации почвы и упрощению структуры покрывающей ее растительности. При изучении солонцов, однородных по глубинам залегания солонцового горизонта, разница в величинах D составила 0,01-0,03. Это доказывает, что фрактальную размерность можно использовать для соответствия банку образов при идентификации солонцов. При изучении распаханых территорий фрактальность составила 1,21-1,25.

Однако фрактальные характеристики свежевспаханного, засеянного полей и поля с выросшими растениями достаточно сильно изменялись в зависимости от смены агросезонов. Основную проблему при дешифрировании описанным методом составляет разделение солонцов и пустынных земель.

Размерность текстур пустынных земель составила 1,15-1,16 вследствие того, что они также имеют внутреннюю структуру, хотя и очень простую. В связи с этим возможна дифференциация солонцеватых почв на их фоне по незначительному понижению фрактальной размерности и некоторому цветовому различию (рис. 12). Появление солонца говорит о деградации почвы, что как было нами ранее показано, приводит к упрощению текстуры почв на аэрофотоснимках. Фрактальная размерность участков с солонцами существенно ниже, чем для земель, используемых в сельскохозяйственном обороте (рис. 13).

Таким образом, при проведении постоянного мониторинга природных и агротехногенных объектов путем анализа изменений фрактальных характеристик их текстур возможно выявление новых участков, занятых солонцами. Главным критерием, который позволяет судить о начале процесса образования солонца, является снижение фрактальной размерности на снимках, сделанных в течение одного сезона в разные годы. Отрицательная динамика фрактальных показателей снимков объектов свидетельствует о начале деградации данного участка. В случае если указанный участок распложен в районах вероятного появления солонца, то этот участок требует повышенного внимания и, возможно, реабилитации.



Рисунок 12 – Солонцы на пустынных землях



Рисунок 13 – Распределение фрактальной размерности на сельскохозяйственном участке с недавно образовавшимся солонцом

Степные и пустынные местности, на территории которых образуются солонцы, характеризуются значительным снежным покровом в зимний период года. В силу этого обстоятельства мониторинг по фрактальным параметрам в зимний сезон значительно осложнен. Для получения адекватной картины динамики текстур природных и сельскохозяйственных объектов важно проводить постоянный мониторинг в каждый из сезонов.



## Выводы

Усовершенствованная дистанционная технология, основанная на масштабной инвариантности, позволяет эффективно определять процессы осолонцевания. Эффективность усовершенствованного подхода опирается на мониторинговые исследования с применением беспилотных летательных аппаратов, включающие полевой, дистанционный и камеральный этапы.

## Благодарности

*Авторский коллектив выражает благодарность действительному члену Российской академии наук Владимиру Николаевичу Большакову за стимул к проведению исследований.*

## Список литературы

1. Онласынов Ж.Э., Шагарова Л.В. ГИС-оценка состояния Мактаральского массива орошения и возможность вторичного использования коллекторно-дренажных вод // *3i: Intellect, Idea, Innovation – интеллект, идея, инновация*. 2022. № 4. С. 158-164. DOI: 10.52269/22266070\_2022\_4\_158.
2. Насонов А.Н., Цветков И.В., Жогин И.М., Кульнев В.В., Репина Е.М., Кирнос С.Л., Звягинцева А.В., Базарский О.В. Фракталы в науках о Земле: учебное пособие. Воронеж. Изд-во «Ковчег», 2018. 82 с.
3. Горохова И.Н., Панкова Е.И., Шишконокова Е.А. Опыт использования космических снимков для составления карты землепользования орошаемых и залежных земель Светлоярской оросительной системы // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2017. № 89. С. 68-89. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-89-68-89.
4. Кешкентий Д.Д. Изучение структуры почвенного покрова солонцовых комплексов по данным дистанционного зондирования земли // *Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. Т. I. С. 219-222.
5. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Фрактальный анализ информационного содержания многоспектральных изображений в задачах экологического мониторинга // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 2. С. 32-38. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-032-038.
6. Панкова Е.И., Конюшкова М.В. История изучения и основные направления развития методов оценки и картографирования засоленности почв аридных и семиаридных территорий // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2016. № 82. С. 122-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-122-138.
7. Смирнова М.А., Жидкин А.П., Лозбенев Н.И., Заздравных Е.А. Цифровое крупномасштабное почвенное картографирование в методологии структуры почвенного покрова (на примере пашни Прохоровского района Белгородской области) // *Почвы – стратегический ресурс России: Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв / Отв. редакторы С.А. Шоба, И.Ю. Савин*. Москва-Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2021. Ч. 3. С. 470-472.
8. Улюмджиев У.Ю., Конюшкова М.В. Цифровое картографирование засоленности почв солонцового комплекса в Калмыкии // *Современные методы исследований почв и почвенного покрова: Материалы Всероссийской конференции с международным участием*. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2015. С. 363-365.
9. Mandelbrot B. A Multifractal Walk down Wall Street // *Scientific American*. Feb. 1999. pp. 70-73.

10. Иудин Д.И., Соболев С.В., Чжан Р.В. Фрактальный подход к анализу процессов развития термокарстовых озер // Приволжский научный журнал. 2019. № 1(49). С. 99-106.
11. Рикотта К., Карранца М.Л. Карты потенциальной естественной растительности как альтернатива компьютерным нейтральным ландшафтными моделям // Геоботаническое картографирование. 2002. № 2001-2002. С. 16-23.
12. Середович В.А. Фрактальный подход к изучению структуры земной коры по аэрокосмическим снимкам // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. № 6. С. 94-103.
13. Гавинова А.Н., Джапова Р.Р., Менкебаирова Б.В. Роль растительности автоморфных солонцов в растительных комплексах Прикаспийской низменности на территории Калмыкии // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 219.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 20.02.2023

Принята к публикации 19.06.2023

## IMPROVING REMOTE MONITORING OF STEPPE AND DESERT SOLONCHAKS BASED ON THE USE OF THE MULTIFRACTAL DYNAMICS

\*V. Kulnev<sup>1</sup>, I. Tsvetkov<sup>2</sup>, A. Nasonov<sup>3</sup>, G. Bedretdinov<sup>4</sup>, L. Mezheva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Central Black Earth Interregional Department Federal Service for Supervision of Natural Resources, Russia, Voronezh

<sup>2</sup>Tver State University, Russia, Tver

<sup>3</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russia, Moscow

<sup>4</sup>All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named A.N. Kostyakov, Russia, Moscow

<sup>5</sup>Voronezh State Pedagogical University, Russia, Voronezh

\*e-mail: kulneff.vadim@yandex.ru

The method of estimation of area invariance of solonchaks during remote sensing of steppe and desert territories has been improved. It is shown that the presented technology makes it possible to increase the efficiency of identifying solonchaks in the zonal steppe and desert landscapes. The conjugate use of different approaches to fractality determination allowed to estimate variability of the use at different types of natural geosystems. It is possible to process the image directly on the board of an unmanned aerial vehicle and signal the corresponding event in case of the negative dynamics of fractal indicators.

*Key words:* aerial photos, unmanned aerial vehicles, interpretation, remote sensing, Cantor space, multifractal dynamics, solonets, steppes, textures of natural objects, fractality.

### Referents

1. Оңласынов Ж.Ә., Шагарова Л.В. GIS-otsenka sostoyaniya Maktaral'skogo massiva orosheniya i vozmozhnost' vtorichnogo ispol'zovaniya kollektorno-drenazhnykh vod. 3i: Intellect, Idea, Innovation – intellekt, ideya, innovatsiya. 2022. N 4. S. 158-164. DOI: 10.52269/22266070\_2022\_4\_158.

2. Nasonov A.N., Tsvetkov I.V., Zhogin I.M., Kul'nev V.V., Repina E.M., Kirnosov S.L., Zvyagintseva A.V., Bazarskii O.V. Fraktaly v naukakh o Zemle: uchebnoe posobie. Voronezh. Izd-vo "Kovcheg", 2018. 82 s.

3. Gorokhova I.N., Pankova E.I., Shishkonakova E.A. Opyt ispol'zovaniya kosmicheskikh snimkov dlya sostavleniya karty zemlepol'zovaniya oroshaemykh i zaleznykh zemel' Svetloyarskoi orositel'noi sistemy. Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2017. N 89. S. 68-89. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-89-68-89.
4. Keshkentii D.D. Izuchenie struktury pochvennogo pokrova solontsovykh kompleksov po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli. Novye tekhnologii – neftegazovomu regionu: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Tyumen': Tyumenskii industrial'nyi universitet, 2017. T. I. S. 219-222.
5. Nikitin O.R., Kislyakov A.N. Fraktal'nyi analiz informatsionnogo sodержaniya mnogospetral'nykh izobrazhenii v zadachakh ekologicheskogo monitoringa. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2019. N 2. S. 32-38. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-032-038.
6. Pankova E.I., Konyushkova M.V. Istoriya izucheniya i osnovnye napravleniya razvitiya metodov otsenki i kartografirovaniya zasolennosti pochv aridnykh i semiaridnykh territorii. Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2016. N 82. S. 122-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-122-138.
7. Smirnova M.A., Zhidkin A.P., Lozbenev N.I., Zazdravnykh E.A. Tsifrovoe krupnomasshtabnoe pochvennoe kartografirovanie v metodologii struktury pochvennogo pokrova (na primere pashni Prokhorovskogo raiona Belgorodskoi oblasti). Pochvy – strategicheskii resurs Rossii: Tezisy dokladov VIII s"ezda Obshchestva pochvedovedov im. V.V. Dokuchaeva i Shkoly molodykh uchenykh po morfologii i klassifikatsii pochv. Otv. redaktory S.A. Shoba, I.Yu. Savin. Moskva-Sykt'yvkar: Institut biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN, 2021. Ch. 3.S. 470-472.
8. Ulyumdzhiyev U.Yu., Konyushkova M.V. Tsifrovoe kartografirovanie zasolennosti pochv solontsovogo kompleksa v Kalmykii. Sovremennyye metody issledovaniy pochv i pochvennogo pokrova: Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Moskva: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 2015. S. 363-365.
9. Mandelbrot B. A Multifractal Walk down Wall Street. Scientific American. Feb. 1999. pp. 70-73.
10. Iudin D.I., Sobol' S.V., Chzhan R.V. Fraktal'nyi podkhod k analizu protsessov razvitiya termokarstovykh ozer. Privolzhskii nauchnyi zhurnal. 2019. N 1(49). S. 99-106.
11. Rikotta K., Karrantza M.L. Karty potentsial'noi estestvennoi rastitel'nosti kak al'ternativa komp'yuternym neutral'nyim landshaftnym modelyam. Geobotanicheskoe kartografirovanie. 2002. N 2001-2002. S. 16-23.
12. Seredovich V.A. Fraktal'nyi podkhod k izucheniyu struktury zemnoi kory po aerokosmicheskim snimkam. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos"emka. 2005. N 6. S. 94-103.
13. Gavinova A.N., Dzhapova R.R., Menkebaurova B.V. Rol' rastitel'nosti avtomorfnykh solontsov v rastitel'nykh kompleksakh Prikaspiiskoi nizmennosti na territorii Kalmykii. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2016. N 4. S. 219.

#### **Сведения об авторах:**

Вадим Вячеславович Кульнев

К.г.н., ведущий специалист-эксперт отдела государственного экологического надзора по Воронежской области, Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования

ORCID 0000-0002-1646-9183

Vadim Kulnev

Candidate of Geographical Sciences, Leading Specialist-Expert of the Department of State Environmental Supervision in Voronezh Oblast, Central Black Earth Interregional Department of the Federal Service for Supervision of Natural Resources

Илья Викторович Цветков

Д.т.н., профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента, Тверской государственный университет

ORCID 0000-0002-5284-880X

Ilya Tsvetkov

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Business Economics and Management, Tver State University

Андрей Николаевич Насонов

К.т.н., доцент кафедры управления недвижимостью и развитием территорий, Московский государственный университет геодезии и картографии

ORCID 0000-0002-9497-5030

Andrei Nasonov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Real Estate Management and Territory Development, Moscow State University of Geodesy and Cartography

Гаяр Хамзянович Бедретдинов

К.т.н., заведующий отделом механизации мелиоративных работ, Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова

ORCID 0000-0002-9145-2453

Gayar Bedretdinov

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanization of Land Reclamation Works, All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova

Лидия Александровна Межова

К.т.н., доцент кафедры географии и туризма естественно-географического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

ORCID 0000-0002-6652-5120

Lydia Mezhova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Geography, Voronezh State Pedagogical University

**Для цитирования:** Кульнев В.В., Цветков И.В., Насонов А.Н., Бедретдинов Г.Х., Межова Л.А. Усовершенствование дистанционного мониторинга степных и пустынных солонцов на основе использования мультифрактальной динамики // Вопросы степеведения. 2023. № 2. С. 5-16. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-2-5-16.