

# Биогеография и биоразнообразие ландшафтов

---

УДК 502.05

DOI: 10.18384/2310-7189-2018-2-20-29

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ БУЛГАНАКСКОЙ ГРУППЫ (КЕРЧЬ, КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

**Каширина Е.С.<sup>1</sup>, Новиков А.А.<sup>1</sup>, Голубева Е.И.<sup>2</sup>, Исаев В.С.<sup>2</sup>, Аманжуров Р.М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (филиал в г. Севастополе)

299001, г. Севастополь, ул. Гер. Севастополя, 7, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, Российская Федерация

<sup>3</sup> ООО «Современные Геотехнологии»

115035, г. Москва, ул. Б. Ордынка, 19, стр. 1, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье приведены результаты работ по изучению растительности грязевых вулканов Булганакской группы, расположенных около г. Керчь на Крымском полуострове. Изучены пространственные особенности распространения растительных сообществ. По полевым данным прослежено изменение запасов наземной фитомассы растительных сообществ грязевых вулканов на примере сопки Андрусова и Центрального озера. Рассчитана зависимость запасов наземной фитомассы и индекса количества фотосинтетически активной биомассы (NDVI). Предложена методическая основа дистанционной оценки запасов фитомассы на основе использования индекса NDVI по данным космических снимков Sentinel-2a.

**Ключевые слова:** грязевой вулкан, сопка Андрусова, растительность, фитомасса, индекс NDVI, космические снимки, ГИС-технологии, Керченский полуостров, Крым

## STRUCTURAL-FUNCTIONAL FEATURES OF VEGETATION OF BULGANAK MUD VOLCANOES (KERCH, CRIMEAN PENINSULA)

**E. Kashirina<sup>1</sup>, A. Novikov<sup>1</sup>, E. Golubeva<sup>2</sup>, V. Isaev<sup>2</sup>, R. Amanzhurov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University in Sevastopol  
ul. Ger. Sevastopolya 7, 299001 Sevastopol, Russian Federation

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, Russian Federation

<sup>3</sup> LLC «Modern Geotechnologies»

ul. B. Ordynka 19, stroenie 1, 115035 Moscow, Russian Federation

© СС BY Каширина Е.С., Новиков А.А., Голубева Е.И., Исаев В.С., Аманжуров Р.М., 2018.

**Abstract.** The results of studies on the vegetation of Bulganak mud volcanoes, located near Kerch on the Crimean peninsula, are presented. Spatial features of the distribution of plant communities are studied. Using the field data, the changes in the reserves of terrestrial biomass of plant communities of mud volcanoes on the example of Andrusov and Central Lake are traced. The dependence of the reserves of terrestrial biomass and the normalized difference vegetation index (NDVI) are calculated. A technique for remote assessment of biomass stocks using the NDVI index from the Sentinel-2a satellite images is proposed.

**Key words:** mud volcano, Andrusov mud volcano, vegetation, plant biomass, NDVI index, satellite images, GIS technologies, Kerch peninsula, Crimea.

### Введение

Грязевые вулканы представляют собой явление, связанное с особыми природными условиями и встречающееся в самых разных частях Земного шара [8; 10]. В России грязевой вулканизм представлен на Камчатке, Сахалине, Курильских островах, в районе озера Байкал, на Кавказе, Таманском и Керченском полуостровах [6; 7]. Природный облик областей развития грязевого вулканизма уникален, что связано с формированием специфических форм рельефа и почвенно-растительного покрова при постоянных выбросах газов, солей, водяного пара и сопочной брекчии [5].

Крупнейшая в России Керченско-Таманская область грязевого вулканизма включает две подобласти – на Таманском и Керченском полуостровах и состоит из более чем девяти десятков вулканов, большая часть которых потухшие. На Керченском полуострове расположено несколько сопочных полей (Булганакское, Тарханское) и крупнейший в Крыму грязевой вулкан Джау-Тепе (119 м) [6; 7; 10].

Булганакская группа грязевых вулканов расположена в северо-восточной части Керченского полуострова в 4 км севернее с. Бондаренково. Она включает относительно крупную сопку Андрусова, а также более мелкие по

размерам сопки Обручева, Вернадского, Аби́ха, Павлова и Тищенко общей площадью около 30 га. В 1969 г. грязевые сопки Андрусова, Вернадского и Обручева получили статус геологических памятников природы. В настоящее время они имеют региональный статус охраны. Площадь каждой особо охраняемой природной территории составляет около 1 га.

Флора и растительность грязевых вулканов Керченского полуострова подробно изучены В.В.Корженевским (1990; 2015) [2–4]. Однако нет опубликованных данных о территориальной структуре растительного покрова, что можно получить при использовании данных дистанционного зондирования (аэро- и космических снимков), ГИС-технологий и других инструментальных методов.

### Объекты и методы

Полевые работы проведены в июле 2017 г. и включали геоботанические описания на пробных площадях и определение запасов наземной фитомассы. Выбор семи пробных площадей (площадью от 9 до 25 м<sup>2</sup>) осуществлялся с учетом качественных изменений растительного покрова от жерла вулкана Андрусова вниз по склону к днищу котловины к сопке Центральное озеро. Для сравнения две пробные

площади описаны на противоположном склоне долины и водоразделе, не испытывающие прямого воздействия грязе-брекчьевого материала (твердых фракций сопочной брекчи). Сделано геоботаническое описание, проведен отбор образцов наземной фитомассы на учетных площадках размером 0,5 x 0,5 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности на каждой пробной площади. Укосы высушивались при температуре 105°C до абсолютно сухого состояния, взвешивались с точностью до 0,001 г и пересчитывались на 1 м<sup>2</sup> для получения среднего значения для каждой пробной площади. Полученные данные позволили рассчитать общие запасы фитомассы и содержание влаги в растениях.

На основе дешифрирования данных аэрофотосъемки, выполненной с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), составлены схемы растительного покрова района Булганакских грязевых вулканов (вулкан Андрусова). Аэрофотосъемка проводилась квадрокоптером Phantom3 Advanced, и сделано семь облетов на высотах 80–100 м. Обработка полученных снимков произведена с помощью программного комплекса Agisoft Photoscan, геодезическая привязка выполнена GPS Trimble R8.

По данным аэрофотосъемки составлена основа для картографирования растительности. Границы растительных сообществ определялись на основе визуального дешифрирования. Доминирующие виды растений и тип растительного сообщества определялся по предварительно проведенным геоботаническим описаниям, результаты экстраполировались на весь выделенный однородный полигон.

В камеральных условиях для рассматриваемого участка грязевых вулканов рассчитан нормализованный относительный индекс растительности (NDVI). Предварительная обработка включала атмосферную коррекцию с использованием Scanex ImageProcessor. Полученные значения отражательной способности 8 и 4 каналов были пересчитаны в количественный показатель запаса фотосинтетически активной фитомассы по формуле (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Нами для получения NDVI использовались космические снимки с космического аппарата Sentinel-2a за 27 июля 2017 г. на территорию Керченского полуострова. Для расчета индекса NDVI использовались 8 (ближний инфракрасный – NIR) и 4 (красный – RED) каналы, имеющие пространственное разрешение 10 м<sup>2</sup> на пиксель.

Это один из самых распространенных индексов для решения различных задач оценки состояния растительного покрова и его динамики [9]. Индекс принимает значения от 0,1 для разреженного растительного покрова тундр и пустынь до 0,9 для густых широколиственных и хвойно-широколиственных лесов [1].

Для создания картографического материала и последующего пространственного анализа использовалась свободная географическая информационная система QGIS.

### Результаты и обсуждения

Растительные сообщества грязевого вулкана Андрусова, формирующие в условиях выбросов газов, частиц

почв, представлены различными стадиями сукцессии. Так, растительного покрова лишены участки грифонов и склонов, по которым изливается грязевой материал. Монодоминантные, или сообщества с доминированием клоповника толстолистного (*Lepidium crassifolium* Waldst. & Kit.) и солероса европейского (*Salicornia europaea* L.), занимают ограниченные площади воз-

ле жерла – 0,16 и 0,44 га соответственно. Большие площади занимают сообщества с доминированием полыни, кермека с участием злаков, расположенные на склонах вулкана Андрусова. Фрагменты луговой и полынно-злаковой степи является фоновым типом растительных сообществ для района грязевых вулканов Булганакской группы (рис. 1).

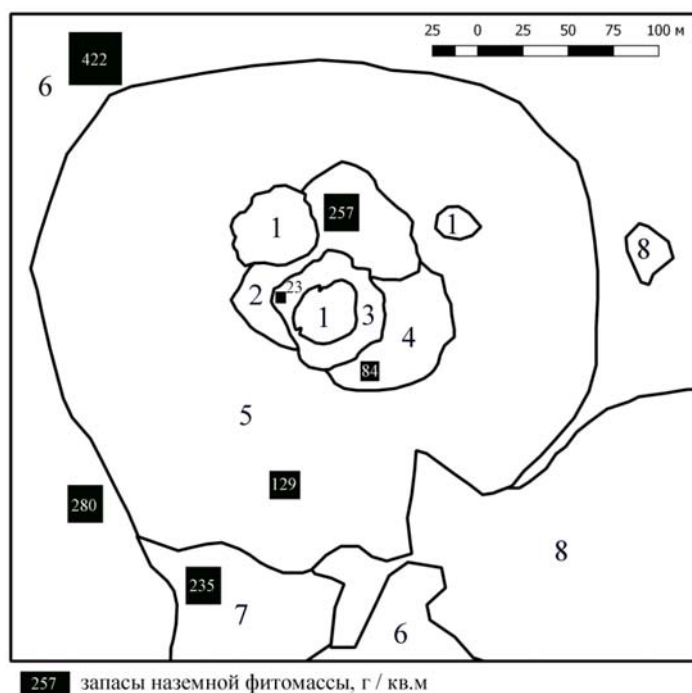


Рис. 1. Растительность и наземная фитомасса на пробных площадях района Булганакских грязевых вулканов.

(Обозначения: 1. жерло вулканов без растительного покрова; 2-8. сообщества: 2. клоповниковое; 3. солеросовое; 4. полынно-кермековое; 5. полынно-злаковое; 6. луговое разнотравье (пырейно-овсянничное); 7. злаковая степь; 8. формирующееся сообщество на вулканических потоках)

Важно отметить увеличение разнообразия растительных сообществ по профилю – от монодоминантных вблизи грязевых грифонов (клоповник толстолистный, солерос европейский) до полидоминантных, насчитывающих до 15 видов у подножья

вулкана Андрусова и до 22 видов – на прилегающем водоразделе. Наземная фитомасса растений на рассмотренных грязевых вулканах различается на порядок – от 23,3 г/м<sup>2</sup> в сообществе солероса до 422,7 г/м<sup>2</sup> в луговой степи. Изменения величины наземной фи-

томассы растений также имеет закономерности увеличения от грифонов к водоразделам (рис. 2). Наименьшие

показатели фитомассы отмечены для солероса ( $23,3 \text{ г/м}^2$ ), полыни и кермека ( $84,2 \text{ г/м}^2$  и  $129,3 \text{ г/м}^2$ ).

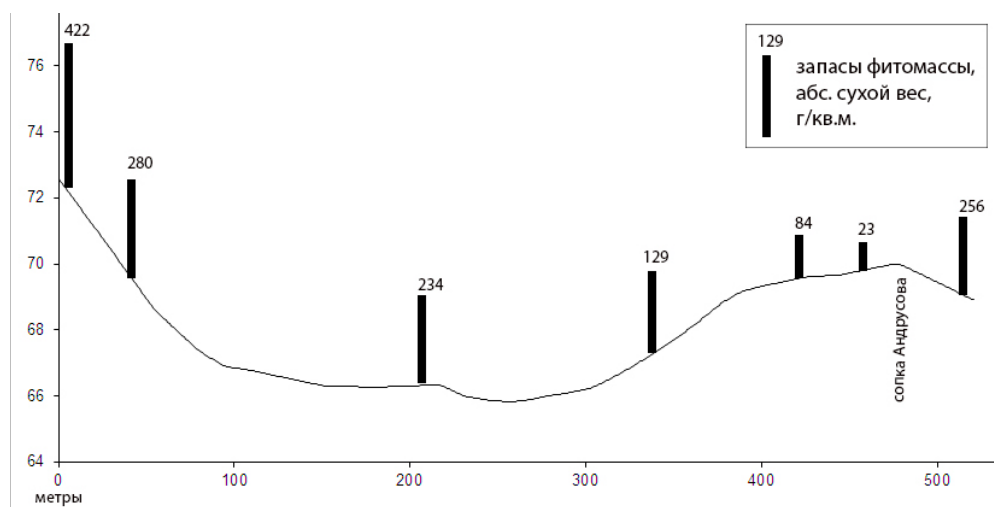


Рис. 2. Распределение наземной фитомассы растений по профилю долины

Как видно, общая закономерность нарушается показателем величины наземной фитомассы сообществ клоповника толстолистного, расположенных непосредственно возле грифона, но достигающих веса в  $256,8 \text{ г/м}^2$  в абсолютно сухом весе. Разница в запасе фитомассы с соседними пионерными сообществами солероса составляет более 10 раз, хотя столь высокие показатели в целом не характерны для пионерных сообществ грязевых вулканов. Отмеченная особенность увеличивается при рассмотрении величин наземной фитомассы, взвешенной в сыром виде (рис. 3).

Фитомасса сообщества клоповника толстолистного в сыром виде – максимальная среди всех отобранных проб – свыше  $800 \text{ г/м}^2$ . При высушивании фитомасса растений клоповника толстолистного резко уменьшается – почти в 4 раза. Содержание влаги в растениях грязевых вулканов изменяется от

25% до 83%. Величина наземной фитомассы растений связана с их продуктивностью, что отражается в величине значений NDVI, распределение которого для района грязевых вулканов Булганакской группы показано на рис. 4.

Как видно, для большей части рассматриваемого района NDVI равен 0,3–0,4. Возле грифонов грязевых вулканов NDVI снижается до минимума (около 0,1), что определяется постоянными процессами формирования новой поверхности за счет вулканических выбросов. В целом значение показателя NDVI увеличивается при движении от грифонов к периферии грязевых вулканов, однако, в районе грифона сопки Андрусова его значение достаточно высокое – до 0,45 (рис. 5). Увеличение фитомассы приурочено к пионерному сообществу клоповника толстолистного и объясняется его биологическими и экологическими особенностями.

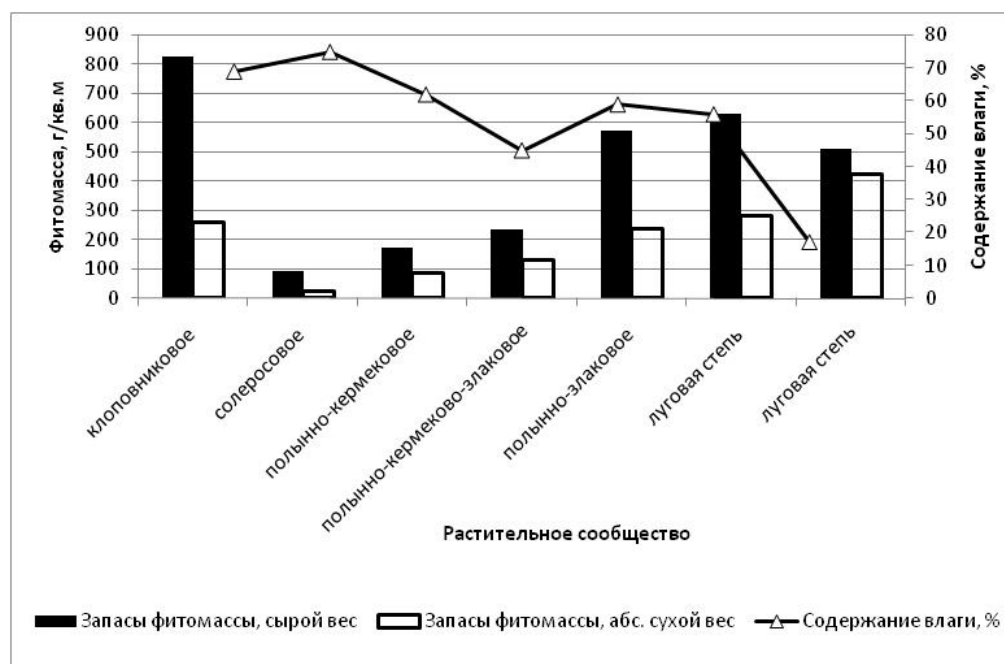


Рис. 3. Распределение содержания влаги в растениях грязевых вулканов

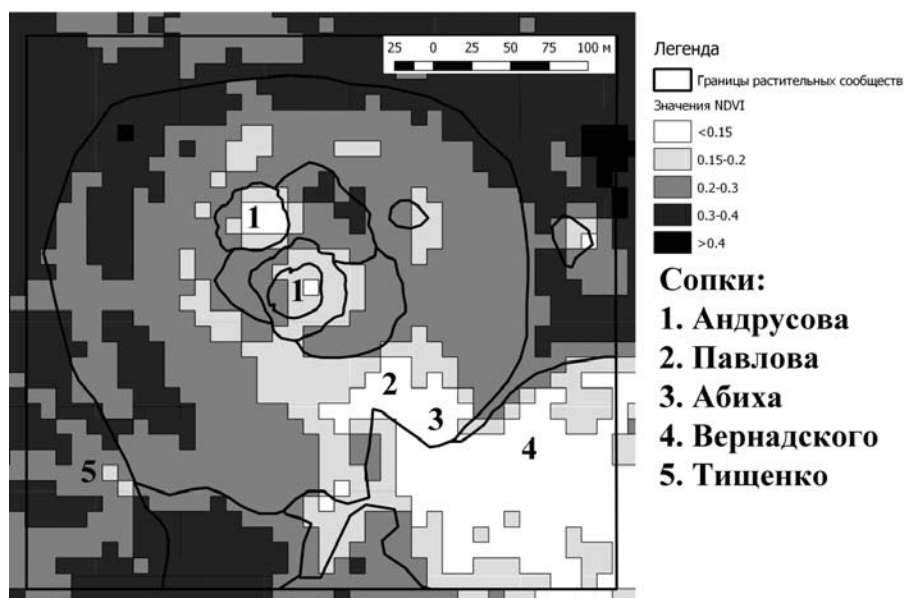
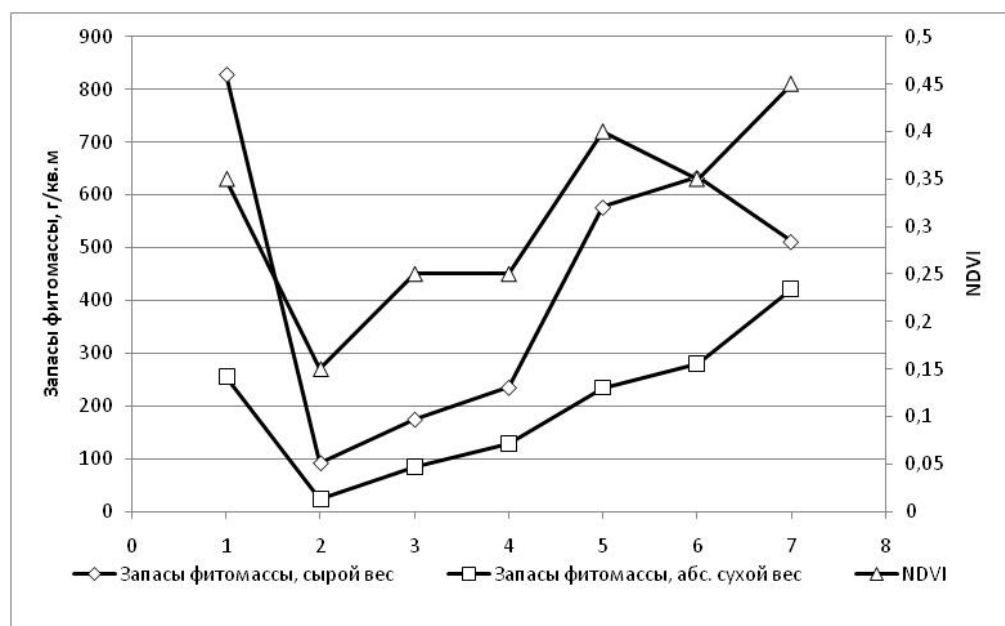


Рис. 4. Распределение NDVI в районе грязевых вулканов Булганакской группы



Сообщества: 1. клоповниковое; 2. солеросовое; 3, 4. полынно-кормековое; 5. полынно-злаковое; 6. луговое разнотравье; 7. злаковая степь

Рис. 5. Показатели состояния растительности грязевых вулканов

По полученным данным определена зависимость наземной фитомассы и показателей NDVI. Коэффициент корреляции составил 0,87 (по сырому весу) и 0,88 (по абсолютно сухому весу). Полученные данные свидетельствуют об увеличении NDVI на участках с более высокими показателями веса наземной фитомассы.

### Выводы

Проведенное исследование показало, что:

- биоразнообразие растительных сообществ грязевых вулканов Булганакской группы увеличивается при движении от грифонов к их подножью и соседним водоразделам;
- запасы фитомассы грязевых вул-

канов различаются в пять раз, также увеличиваясь при движении от грифонов к подножью вулканов, и составляют от 23 до 422 г/м<sup>2</sup>;

наиболее высокими значениями наземной фитомассы отличаются сообщества клоповника толстолистного, что связано с его биологическими и экологическими особенностями, позволяющими существовать в неблагоприятных для многих степных и лугов растений местообитаниях;

существует достоверная прямая зависимость между показателями запаса наземной фитомассы и индексом NDVI, что позволит проводить мониторинг активности грязевых вулканов дистанционными методами с использованием аэро- и космических снимков.

Таким образом, предложенная методика может быть использована для наблюдения за активностью грязевых вулканов других районов при условии расширения числа пробных площадей и составления ряда круглогодичных наблюдений.

Статья поступила в редакцию 28.03.2018

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елсаков В.В., Телятников М.Ю. Межгодовые изменения индекса NDVI на территории европейского северо-востока России и Западной Сибири в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10. № 3. С. 260–271.
2. Корженевский В.В., Квитницкая А.А. Фитоиндикация грязевых вулканов Крыма // *Природный альманах*. 2009. № 12. С. 155–165.
3. Корженевский В.В., Клюкин А.А. Очерк растительности грязевых вулканов Крыма (Деп. в ВИНТИ 15.03.90 г., №1429-В90). 23 с.
4. Корженевский В.В., Клюкин А.А. Синэкология и синморфология растительности грязевых вулканов Крыма // *Труды НБС-ННЦ*. 2004. Том 123. С. 152–169.
5. Корзников К.А. Растительный покров молодых грязевых полей грязевого вулкана Магунтан (о. Сахалин) // *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. 2015. № 2. С. 51–55.
6. Хлыстов О.М., Хабуев А.В., Белоусов О.В., Воробьева С.С., Минами Х., Хачикубо А., Де Батист М., Ахманов Г.Г. О глубине корней грязевых вулканов озера Байкал // *Труды IV Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)», 19-24 октября 2015 г., МГУ. М.: Феория, 2015. С. 383–384.*
7. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Киев: Наукова думка, 1986. 152 с.
8. Cook M., Roland C. Notable Vascular Plants from Alaska in Wrangell-St. Elias National Park and Preserve with Comments on the Floristics. *Canadian Field-Naturalist*. 2002. Vol. 116. P. 192–304.
9. NDVI – теория и практика // GISLAB [сайт]. – URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (Дата обращения: 05.06.2018).
10. Ting T.M., Poulsen A.D. Understorey vegetation at two mud volcanoes in north-east Borneo // *Journal of Tropical Forest Science*. 2009. Vol. 21(3). P. 198–209.

#### REFERENCES

1. Elsakov V.V., Telyatnikov M.Yu. [Interannual NDVI in the European North-East Russia and Western Siberia in the climatic fluctuations of the last decades]. In: *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 260–271.
2. Korzhenevskii V.V., Kvitnitskaya A.A. [Phytoindication of mud volcanoes of the Crimea]. In: *Prirodnyi al'manakh*, 2009, no. 12, pp. 155–165.
3. Korzhenevskii V.V., Klyukin A.A. Oчерk rastitel'nosti gryazevykh vulkanov Kryma (Dep. v VINITI 15.03.90 g., 1429-V90) [Sketch of the vegetation of mud volcanoes of Crimea (a manuscript is deposited in VINITI 15.03.90, 1429-B90)]. 23 p.
4. Korzhenevskii V.V., Klyukin A.A. Sinekologiya i sinmorfologiya rastitel'nosti gryazevykh vulkanov Kryma [Synecology and sinmorphology of vegetation of mud volcanoes of the Crimea]. In: *Trudy NBS-NNTS*, 2004, vol. 123, pp. 152–169.
5. Korznikov K.A. [Vegetation of young mud fields of the Magotan mud volcano (Sakhalin island)]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya*, 2015, no. 2, pp. 51–55.



6. De Batist M., Akhmanov G.G., Khlystov O.M., Khabuev A.V., Belousov O.V., Vorob'eva S.S., Minami KH., Khachikubo A. O glubine kornei gryazevykh vulkanov ozera Baikal [De Batist M., Akhmanov, G. G., On the depth of the roots of mud volcanoes of lake Baikal]. In: *Trudy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Morskie issledovaniya i obrazovanie (MARESEDU)», 19–24 oktyabrya 2015 g., MGU* [Proceedings of the IV International scientific-practical conference "Marine research and education (MARESEDU)", 19–24 October 2015, Moscow State University]. Moscow, Feoriya Publ., 2015, pp. 383–384.
7. Shnyukov E.F., Sobolevskii Yu.V., Gnatenko G.I., Naumenko P.I., Kutnii V.A. Gryazevye vulkany Kerchensko-Tamanskoi oblasti [Mud volcanoes of the Kerch-Taman region]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1986. 152 p.
8. Cook M., Roland C. Notable Vascular Plants from Alaska in Wrangell-St. Elias National Park and Preserve with Comments on the Floristics. In: *Canadian Field-Naturalist*, 2002, vol. 116, pp.192–304.
9. NDVI – теория и практика // GISLAB [website]. Available at: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed: 05.06.2018).
10. Ting T.M., Poulsen A.D. Understorey vegetation at two mud volcanoes in north-east Borneo. In: *Journal of Tropical Forest Science*, 2009, vol. 21(3), pp.198–209.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Каширина Екатерина Сергеевна* – старший преподаватель Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (филиал в г. Севастополе);  
e-mail: e\_katerina.05@mail.ru

*Новиков Антон Алексеевич* – старший преподаватель Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (филиал в г. Севастополе);  
e-mail: a\_novik@bk.ru

*Голубева Елена Ильинична* – доктор биологических наук, профессор географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;  
e-mail: egolubeva@gmail.com

*Исаев Владислав Сергеевич* – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;  
e-mail: tpomed@rambler.ru

*Аманжуров Руслан Маратович* – инженер-геодезист, ООО «Современные Геотехнологии»;  
e-mail: rusaman@gmail.com

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Ekaterina S. Kashirina* – lecturer, Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Faculty of Geography;  
e-mail: e\_katerina.05@mail.ru

*Anton A. Novikov* – lecturer, Branch of M.V. Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Faculty of Geography;  
e-mail: a\_novik@bk.ru

*Elena I. Golubeva* – Doctor of Biological Sciences, professor, M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography;  
e-mail: egolubeva@gmail.com

*Vladislav S. Isaev* – PhD in Geological and Mineralogical sciences, senior researcher, M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology;  
e-mail: tpomed@rambler.ru

*Ruslan M. Amanzhurov* – engineer-surveyor, LLC ‘Modern Geotechnologies’;  
e-mail: rusaman@gmail.com

---

#### ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Каширина Е.С., Новиков А.А., Голубева Е.И., Исаев В.С., Аманжуров Р.М. Структурно-функциональные особенности растительных сообществ грязевых вулканов Булганакской группы (Керчь, Крымский полуостров) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 2. С. 20–29.  
DOI: 10.18384/2310-7189-2018-2-20-29

#### FOR CITATION

Kashirina E., Novikov A., Golubeva E., Isaev V., Amanzhurov R. Structural-functional features of vegetation of Bulganak mud volcanoes (Kerch, Crimean peninsula). In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Natural sciences*, 2018, no. 2, pp. 20–29.  
DOI: 10.18384/2310-7189-2018-2-20-29