

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 913

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОСТРОВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



С.С. Рязанов, В.И. Кулагина

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), Казань, Россия

С использованием мультиспектральных данных дистанционного зондирования земли оценены зоны пойменных островов Куйбышевского водохранилища, подверженные периодическому затоплению. Классификация типов земной поверхности методом Random Forest позволила установить границы островов при минимальном (51,55 м) и максимальном (53,28 м) уровне воды. Результаты классификации показывают, что в результате колебания уровня воды в водохранилище около половины территории островных систем (41,2%) находится в зоне затопления.

Ключевые слова: острова, водохранилище, Landsat 8, данные дистанционного зондирования, Татарстан.

Введение

Острова водохранилищ, в частности острова Куйбышевского водохранилища – крупнейшего в Евразии, являются малоизученными природно-антропогенными образованиями [Иванов и др., 2007]. Резкая смена направления развития экосистем островов в результате создания водохранилища обуславливает их уникальность как объекта исследования. Водный режим водохранилища, который может иметь не только сезонную, но и недельную, и суточную динамику, не характерную для не зарегулированной реки, определяет высокую динамичность границ суши островов, а также областей затопления и подтопления почвенного покрова. Это, в свою очередь, определяет скорость и направление эволюции всей экосистемы островов. Определение зон затопления островов – необходимый этап как для дальнейшего изучения и мониторинга островных систем, так и для эффективного и устойчивого управления данными земельными ресурсами.

Объекты и методы

Район исследования. Объектом исследования являются острова, расположенные на территории Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Россия): от моста Зеленодольск – Нижние Вязовые (55°49'27,1" с.ш.; 48°31'05,6" в.д.), до участка в приуроченного г. Казани (55°42'51,2" с.ш. 49°01'52,9" в.д.) ниже по течению р. Волга (рис. 1). Уровень воды данного района водохранилища контролируется плотиной Жигулевской ГЭС и характеризуется зна-

чительными годовыми колебаниями: от 48,6 до 53,5 м при нормальном подпорном уровне воды (НПУ) в 53 м [Изменения..., 2018].

Представленная на рис. 1 картографическая основа отражает границы островов района исследования при НПУ. Границы островных систем определены путем дешифровки спутниковых снимков высокого пространственного разрешения, предоставляемых картографическими онлайн-сервисами ЯндексMaps, GoogleMaps и BingMaps. При отсутствии данных о дате создания спутникового снимка, и, как следствие, отсутствии возможности определить уровень воды, границы островов подтверждались с помощью дешифровки спутниковых снимков низкого пространственного разрешения (Landsat 8) с известной датой создания.

В результате дешифровки на обследуемой территории выделено 262 объекта, 162 из которых – мелководья или затопленные при НПУ острова, 4 полуострова – бывших островов, соединенных насыпью с берегом (см. рис. 1). Суммарная площадь объектов составляет 1856,25 га, из которых 32 острова имеют площадь менее 2 га, 38 – от 2 до 10 га, 26 – от 10 до 100 га и 4 острова – площадь более 100 га. По своему генезису острова данного участка водохранилища относятся к пойменным и представляют собой наиболее высокие участки поймы р. Волги до создания водохранилища [Карта..., 1990; Экологические..., 2002]. Несколько островов являются относительно свежими искусственными песчаными намывами; типичный и наиболее крупный пример – группа островов южнее п. Займище (55°48'38,3" с.ш. 48°49'59,7" в.д.) [Кулагина и др., 2016].

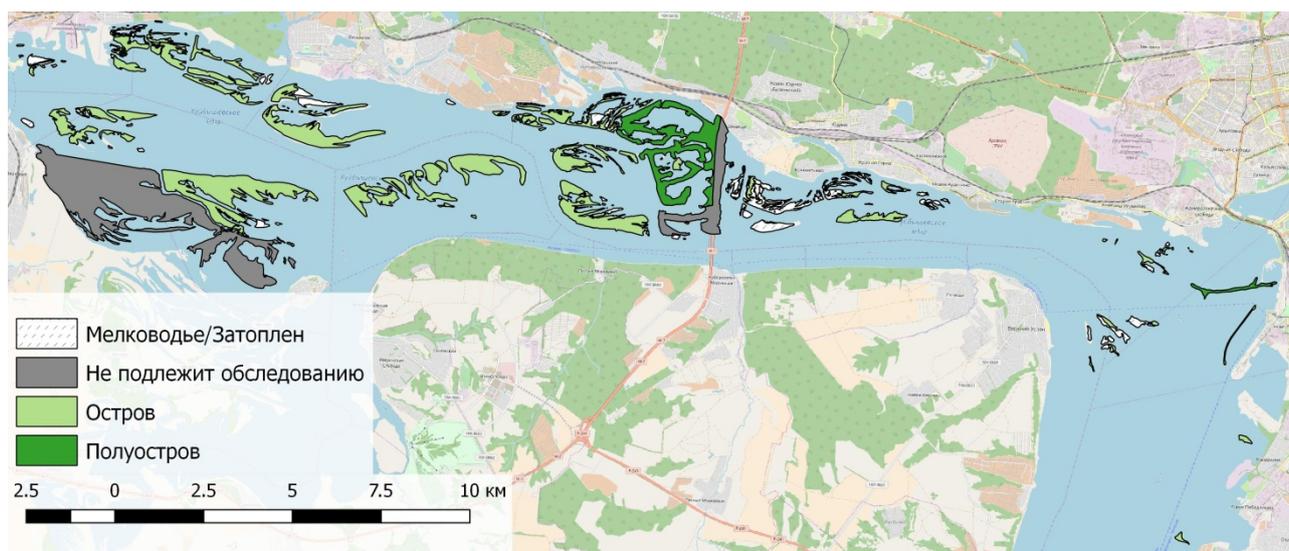


Рис. 1. Пойменные острова Казанского района переменного подпора при НПУ

Fig. 1. Floodplain islands of Kazan district of variable backwater at Normal Water Level

Оценка зон затопления островов. Для установления границ островных систем при различных уровнях воды были отобраны мультиспектральные спутниковые снимки, сделанные в дни установления максимального и минимального уровня согласно данным ПАО «РусГидро» [Изменения..., 2018]:

1) снимок Landsat 8 OLI (path 171, row 21) от 01 октября 2018 г. Уровень воды на момент создания снимка – 51,55 м (рис. 2, а);

2) снимок Landsat 8 OLI (path 171, row 21) от 28 мая 2013 г. Уровень воды на момент создания снимка – 53,28 м (рис. 2, б).

Пространственное разрешение данных спутниковых снимков составляет 30*30 м. Цифровые значения яркости (Digital Numbers) снимков конвертировались в значения отражения на поверхности атмосферы (Top Of Atmosphere Reflectance) с последующей атмосферной коррекцией по методу DOS1 [Chavez, 1996; Landsat..., 2015].

Определение границ суши островов при различных уровнях воды проводилось путем контролируемой классификации спектральных слоев снимков Landsat 8: B2 (0,45–0,51 мкм), B3 (0,53–0,59 мкм), B4 (0,64–0,65 мкм), B5 (0,85–0,88 мкм), B6 (1,57–1,65 мкм), B7 (2,11–2,29 мкм). Для классификации использован метод Random Forest, который основан на использовании ансамбля независимых деревьев классификации и регрессии и хорошо подходит для моделирования с большим количеством коррелированных предикторов. Недостатком метода является низкая интерпретируемость зависимостей между предикторами и зависимой переменной, что в случае задач картирования земного покрова не играет значительной роли [James et al., 2013].

Для обучения модели классификации на обследуемой территории создан тренировочный набор точек. Поскольку основной интерес представляет земной покров островов, то 300 точек случайным образом созданы в пределах границ островных систем. Дополнительно создано еще 89 точек, распределенных по области, покрываемой спутниковым снимком. Каждой из 389 тренировочных точек, путем дешифровки мультиспектральных снимков и снимков высокого разрешения, вручную присваивался один из двух классов: земная поверхность либо водная поверхность. Итоговые растры затем векторизовывались, вычислялась площадь земной поверхности островов при различных уровнях воды в водохранилище.

Использованное программное обеспечение. Предварительная обработка снимков Landsat и финальная компоновка карт проводились с использованием геоинформационной системы QGIS [QGIS..., 2018] и модуля Semi-Automatic classification Plugin [Congedo Munafò, Macchi, 2013]. Для метода Random Forest использована реализация в пакете «randomForest» для статистической среды R [Liaw, Wiener, 2002].

Результаты и обсуждения

Построение модели классификации. В таблице представлены матрицы ошибок классификации для снимков от 28 мая 2013 г. (уровень воды 53,28 м) и 1 октября 2018 г. (уровень воды 51,55 м). Общая точность классификации для обоих снимков составила 93,76 и 90,64% соответственно. Более низкая точность классификации снимка от 1 октября 2018 г. обусловлена большим количеством облаков над

участком исследования на момент создания снимков (таблица). Артефакты, связанные с наличием облаков, были скорректированы перед дальнейшим анализом результатов классификации.

Границы островов и зоны затопления. Результаты оценки границ островных систем при различных уровнях воды в водохранилище показывают, что в зависимости от водного режима водохранилища, значительные площади пойменных островов оказываются затопленными (рис. 3).

Так, при минимальном уровне воды за наблюдаемый период в 51,55 м, площадь островных систем исследуемого района оценивается в 2 718,97 га. При

подъеме уровня воды до нормального подпорного уровня (53 м), площадь надводной части островов сокращается на 31,7% и составляет 1 856,25 га. При максимальных уровнях воды в 53,28 м, площадь островов сокращается еще на 14% и достигает 1 596,76 га. При этом стоит отметить, что максимальный уровень воды в водохранилище за период 2013–2018 гг. составлял 53,48 м, однако на момент написания данного отчета не удалось подобрать подходящий снимок с низкой облачностью.

Таким образом, затопляемая зона для всех пойменных островов Казанского района переменного подпора оценивается в 1 122,21 га.

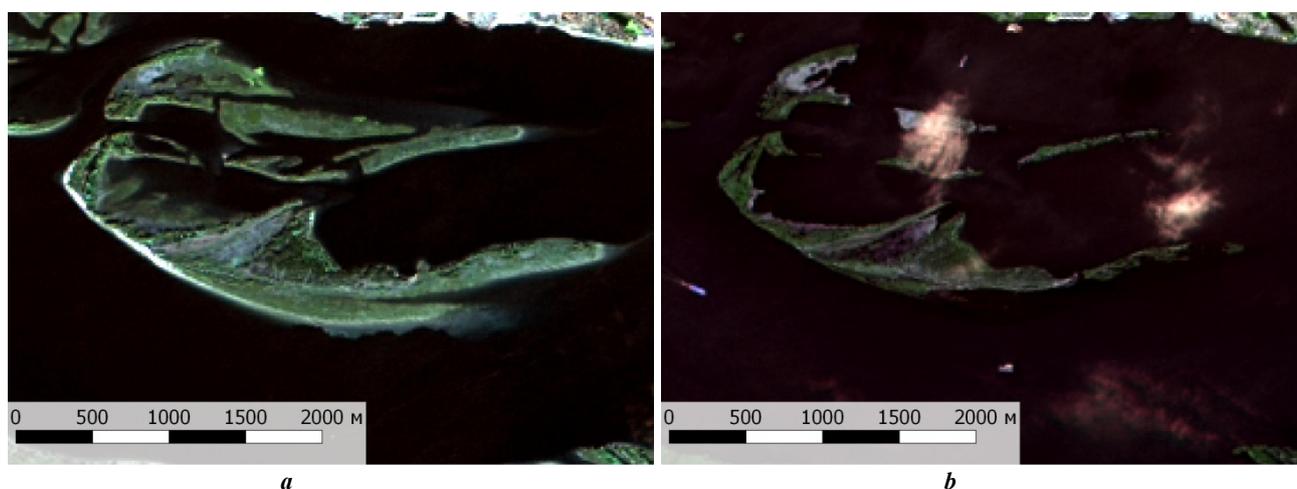


Рис. 2. Пример острова при различных уровнях воды: а) 51,55 м; б) 53,28 м

Fig. 2. An example of island at different water levels: a) 51,55 m; b) 53,28 m

Таблица

Матрицы ошибок модели классификации спутниковых снимков

Table

Confusion matrices of satellite imagery classification models

Снимок от 28 мая 2013 г. (уровень воды 53,28 м)				
		реальные классы		Пользовательская точность, %
		ЗП	ВП	
класс-р	ЗП	320	15	95,5
	ВП	15	131	89,7
Точность классификатора, %		95,5	89,7	
Снимок от 1 октября 2018 г (уровень воды 51,55 м)				
		реальные классы		Пользовательская точность, %
		ЗП	ВП	
класс-р	ЗП	327	8	97,6
	ВП	37	109	74,7
Точность классификатора, %		89,8	93,2	

Примечание. ЗП – земная поверхность; ВП – водная поверхность.

Note. ЗП – land surface; ВП – water surface.

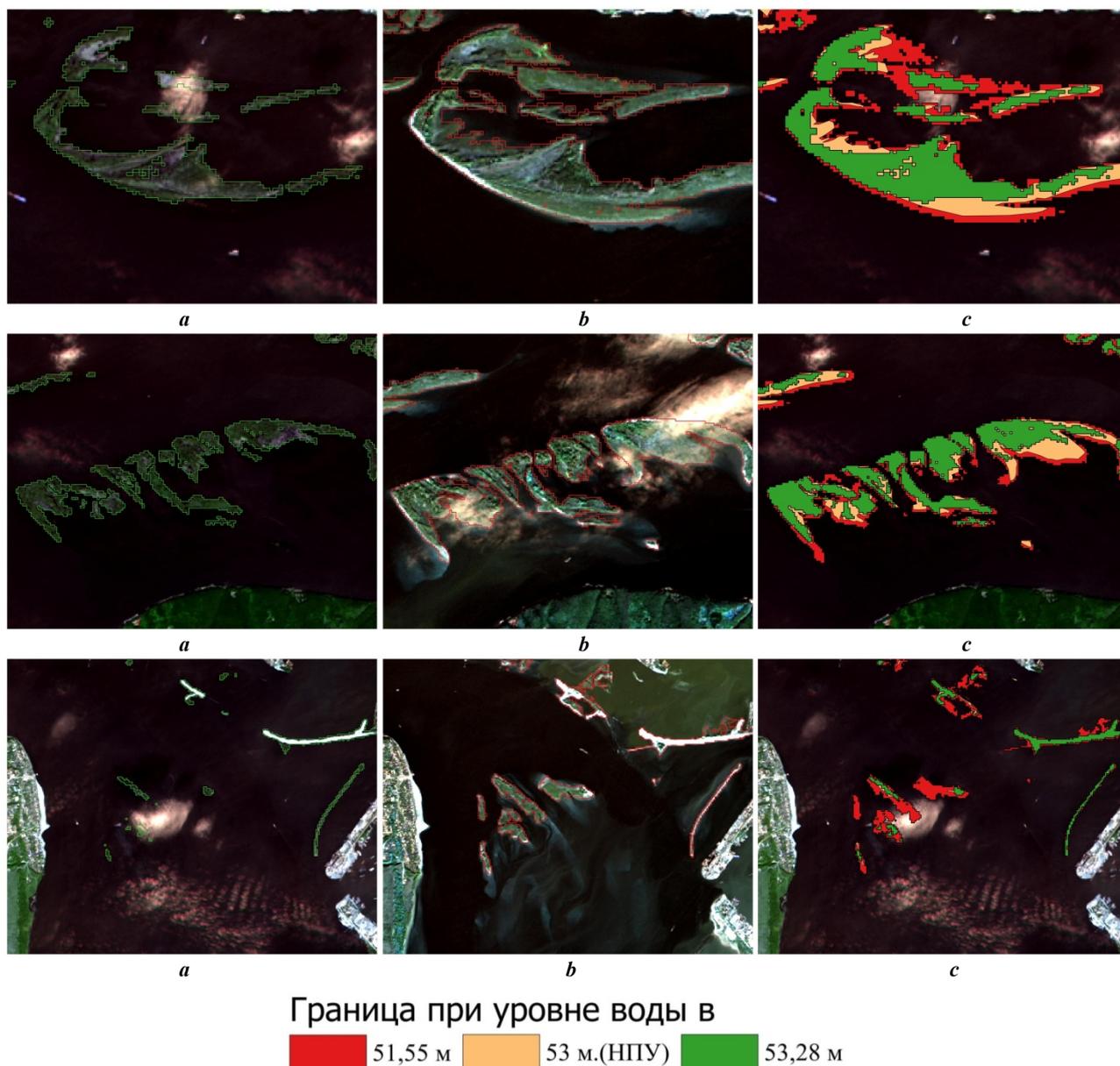


Рис. 3. Примеры границ островов при различных уровнях воды: *a* – при уровне воды 53,28 м; *b* – при уровне воды 51,55 м; *c* – зоны затопления островов

Fig. 3. Examples of islands borders at different water levels: *a* – at water level 53,28 m; *b* – at water level 51,55 m; *c* – flooding zones of islands

Заключение

Результаты оценки динамики границ островных систем показывают, что в зависимости от уровня воды, периодическому затоплению подвергается около 41,2% от общей площади островов.

Данные области характеризуются наиболее гидроморфными условиями почвообразования с соответствующим влиянием на экосистемы островов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-44-160002.

ЛИТЕРАТУРА

Иванов Д.В., Григорьян Б.Р., Бойко В.А., Баршева К.В., Марасов А.А. О правовом статусе островов водохранилищ Российской Федерации // Экологическое право. 2007. № 3. С. 33–38.

Изменения уровней водохранилищ ГЭС РусГидро. 2018. URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/> (дата обращения: 31.01.2019).

Карта рельефа поймы р. Волги (до создания Куйбышевского водохранилища) / под ред. В.И. Мозжерина. М 1:50000. Казань: КГУ, 1990.

Кулагина В.И., Иванов Д.В., Григорьян Б.Р., Рязанов С.С. Почвенный покров островов Куйбышевского водохранилища в районе н.п. Займище // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2016. Т. 158, № 3. С. 404–415.

Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища. Казанский район переменного подпора / под ред. В.А. Бойко. Казань : ФЭН, 2002. 360 с.

Chavez P.S. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing // American Society of Photogrammetry. 1996. № 62. P. 1025–1036.

Congedo L., Munafò M., Macchi S. Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam. Working Paper. Rome : Sapienza University, 2013. 58 p.

James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York : Springer-Verlag, 2013. 440 p.

Landsat 8 (L8) data users handbook. South Dakota : EROS. Sioux Falls, 2015. 106 p.

Liaw A., Wiener M. Classification and Regression by randomForest // RNews. 2002. V. 2/3. P. 18–22.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. 2018. URL: <http://qgis.osgeo.org> (дата обращения: 31.01.2019).

Авторы:

Рязанов Станислав Сергеевич, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), Казань, Россия. E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru.

Кулагина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией экологии почв, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), Казань, Россия. E-mail: viksoil@mail.ru.

Geosphere Research, 2019, 3, 69–74. DOI: 10.17223/25421379/12/6

S.S. Ryazanov, V.I. Kulagina

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences
(separate subdivision of State institution «Tatarstan Academy of Sciences»), Kazan, Russia*

DETERMINATION OF FLOODING ZONES OF THE FLOODPLAIN ISLANDS ON THE TERRITORY OF THE KUIBYSHEVSKY WATER RESERVOIR USING REMOTE SENSING DATA

Water reservoirs islands, particularly islands of the Kuibyshev reservoir (the largest in Eurasia), are little-studied formations with both natural and anthropogenic origin. The reservoir water regime, which can have not only seasonal, but also weekly and daily dynamics, determines high dynamism of islands boundaries, as well as areas of surface and subsurface flooding. Determination of islands flooding zones is necessary both for monitoring of island systems and for efficient and sustainable land use management. The current study was performed to determine the flooding zones of islands of the Kazan District of Variable Backwater, which is located on the territory from the Zelenodolsk-Nizhnie Vyazovye bridge (55°49'27.1"N; 48°31'05.6"E) to the Kazan area (55°42'51.2"N 49°01'52.9"E). The water level on that part of the reservoir is characterized by significant annual fluctuations from 48.6 m to 53.5 m with a Normal Water Level of 53 m. On the area under investigation 262 object were distinguished with the total area of 1856.25 hectares (Fig. 1). To determine the boundaries of island systems at different water levels two multispectral Landsat 8 scenes were picked up: (1) scene from 1st October 2018 (water level in the reservoir – 51.55 m); (2) scene from 28th May 2013 (water level in the reservoir – 53.28). Landsat scenes were converted from Digital Numbers to Top of Atmosphere Reflectance values with subsequent atmospheric correction using DOS1 method. Finally, multispectral imagery was classified as ground or water land cover using Radom Forest technique. To train the classification model 300 points were randomly created on the territory of islands and 89 extra points were distributed on the full scene area. Overall accuracies of land use classification were 93.76% and 90.64% for the scene of 28th May 2013 and the scene of 1st Oct 2018, respectively. The results of land use classification of islands showed that according to the water level, significant areas become flooded (Fig. 3). At minimal water level of 51.55 m islands area were estimated as 2718.97 hectares. When the water level reaches normal water level (53 m), the surface area of islands reduces by 31.7% and estimates as 1857.25 hectares. At maximal water levels of 53.28 m, the island area reduces by another 14% and reaches 1596.76 hectares. Thus, the flood zone for all the floodplain islands of the Kazan region of variable backwater was estimated at 1122.21 hectares. The results showed, that depending on the water level, about 41.2% of the total islands area is subjected to periodic flooding. These areas are characterized by hydromorphic conditions with a corresponding effect on island ecosystems.

Keywords: islands, water reservoir, Landsat 8, remote sensing data, Tatarstan.

References

Ivanov D.V., Grigoryan B.R., Boiko V.A., Barsheva K.V., Marasov A.A. *O pravovom statusе ostrovov vodokhranilishch Rossiyskoy Federatsii* [On the legal status of the water reservoir islands of the Russian Federation] // *Ekologicheskoye pravo*. 2007. No 3. pp. 33–38. In Russian

Izmeneniya urovney vodokhranilishch GES RusGidro [Changes in reservoir levels at RusHydro HPP]. 2018. URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/> In Russian

Karta rel'yefa поймы р. Волги (do sozdaniya Kuybyshevskogo vodokhranilishcha) [The relief map of the Volga river floodplain (before the establishment of the Kuibyshev reservoir)] / Ed.: V.I. Mozzherin. Scale 1:50000. Kazan: KSU. 1990. In Russian

Kulagina V.I., Ivanov D.V., Grigor'yan B.R., Ryazanov S.S. *Pochvennyy pokrov ostrovov Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v rayone n.p. Zaymishche* [The islands soil cover of the Kuibyshev reservoir in the area of the settlement Zaymishche] // *Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*. 2016. V. 158. № 3. pp. 404–415. In Russian

Ekologicheskiye sistemy ostrovov Kuybyshevskogo vodokhranilishcha. Kazanskiy rayon peremennogo podpora [Ecological systems of the Kuibyshev reservoir islands. Kazan district of variable backwater] / Ed.: V.A. Boyko. Kazan: «Fen». 2002. 360 p. In Russian

Chavez P.S. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing // *American Society of Photogrammetry*. 1996. No 62. pp. 1025–1036.

Congedo L., Munafò M., Macchi S. Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam. Working Paper // Rome: Sapienza University. 2013. 58 p.

James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York: Springer-Verlag, 2013. 440 p.

Landsat 8 (L8) data users handbook. South Dakota: EROS. Sioux Falls, 2015. 106 p.

Liaw A., Wiener M. Classification and Regression by randomForest // *RNews*. 2002. V. 2/3. pp. 18–22.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. 2018. URL: <http://qgis.osgeo.org>

Authors:

Ryazanov Stanislav S., Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (separate subdivision of State institution «Tatarstan Academy of Sciences»), Kazan, Russia. E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru.

Kulagina Valentina I., Cand. Sci. (Biology), Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (separate subdivision of State institution «Tatarstan Academy of Sciences»), Kazan, Russia. E-mail: viksoil@mail.ru.