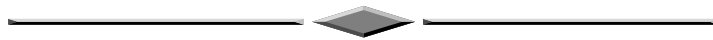


ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.71:[556+551.521]

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1-68-75

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Мария Толеухановна Абишева

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, 071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт Атом, 2, инженер лаборатории геоинформационных технологий, тел. (72251)2-30-12, e-mail: fiesta270488@mail.ru

Елена Павловна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)901-94-58, e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

В настоящее время перспективным направлением является использование новейших технологий и методов, направленных на выявление и оценку состояния объектов. Целью данной работы является усовершенствование технологической схемы при проведении экологического мониторинга. Основой предлагаемого метода является комплексное применение данных аэрофотосъемки и наземных измерений для экологического мониторинга при оценке состояния водных объектов радиоэкологически опасных территорий. В результате проделанной работы была описана последовательность действий как при получении данных с помощью беспилотных летательных аппаратов и их последующей фотограмметрической обработкой, так и при проведении измерений наземными инструментальными методами. Представлена технологическая схема, позволяющая интегрировать информацию, полученную различными методами, которую можно вводить в моделирующие системы, и прогнозировать поведение водного объекта в зависимости от изменения естественных условий и антропогенных воздействий.

Ключевые слова: фотограмметрия, цифровая аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, ортофотоплан, 3D-модель, карта, испытательный полигон

Введение

В последние годы при создании и обновлении картографических материалов используются достижения современной цифровой фотограмметрии. Цифровая аэрофотосъемка является одним из наиболее оперативных способов получения геопространственной информации, позволяющих получать актуализированные данные о земной поверхности и находящихся на ней объектах [1, 2].

Семипалатинский испытательный полигон (СИП), на котором было проведено

456 ядерных испытаний с использованием 616 ядерных устройств [3, 4], занимает огромную территорию (18 300 км²), характеризующуюся относительно низкой плотностью населения и высокой концентрацией радионуклидов на отдельных участках.

В сложившихся условиях перспективным направлением является использование новейших технологий и методов, направленных на выявление и оценку состояния объектов. Для мониторинга таких территорий целесообразно применять автоматизированные системы, которые способны в реальном вре-

мени и масштабе передавать информацию об их состоянии [5–7].

В настоящее время недорогие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются по всему миру и набирают огромную популярность. В воздушное пространство поднимаются БПЛА самого различного назначения, разнообразных аэродинамических схем и со множеством технических характеристик. Преимущества их применения связаны, прежде всего, с развитием микропроцессорной вычислительной техники, навигации, систем управления, передачи данных, искусственного интеллекта. Достижения в данной области дают возможность выполнять полет в автоматическом режиме от взлета до посадки, а также решать задачи мо-

нитинга природных (в том числе водных и прибрежных) объектов.

Методы и материалы

На начальном этапе исследований, направленных на оценку состояния радиоэкологически опасных гидрологических объектов, разработана технологическая схема в виде последовательных производственных этапов выполнения полного комплекса аэрофотосъемочных работ. Объектом исследования выбрано оз. Кишкенсор, находящееся на территории СИП. Оно представляет собой водоем площадью 1,2 км² с прилегающей территорией [8]. Согласно технологической схеме на оз. Кишкенсор выполнен ряд работ (рис. 1).



Рис. 1. Технологическая схема

Полученные результаты

На участке работ была создана сеть планово-высотного обоснования аэрофотосъемки с использованием глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС) приемников Spectra Precision SP80.

Съемочное обоснование развивалось в режиме Real Time Kinematic, опознаки и геодезические пункты расположены равномерно вокруг оз. Кишкенсор (рис. 2, а).

Цифровая аэрофотосъемка на оз. Кишкенсор осуществлена беспилотным летательным аппаратом Gatewing X100. Для карто-

графирования территории было выполнено три залета (рис. 2, б). Планирование аэрофотосъемки выполнялось с помощью наземной станции управления (НСУ). Траектория и основные параметры полета составляли: средняя скорость аппарата – 70 км/ч, высота – 100 м, продольное перекрытие снимков 75 %, поперечное – 50 %.

На следующем этапе выполнялась фотограмметрическая обработка данных аэрофотосъемки, в результате был создан ортофотоплан масштаба 1 : 2 000. Для этого были определены элементы внешнего ориентирования снимков, выполнено построение ЦМР [9, 10] (рис. 3).

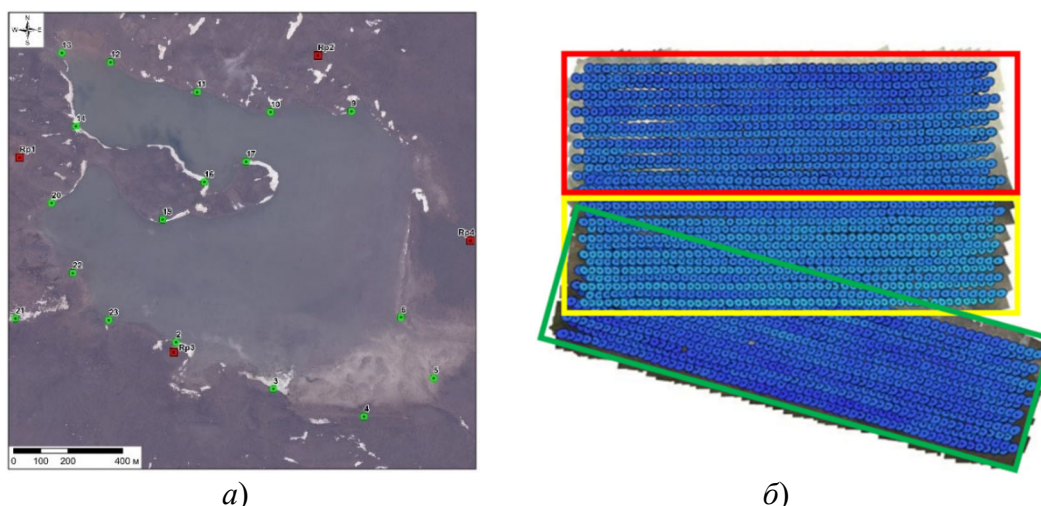


Рис. 2. Объект Кишкенсор:
 а) съемочное обоснование; б) схема полета БПЛА

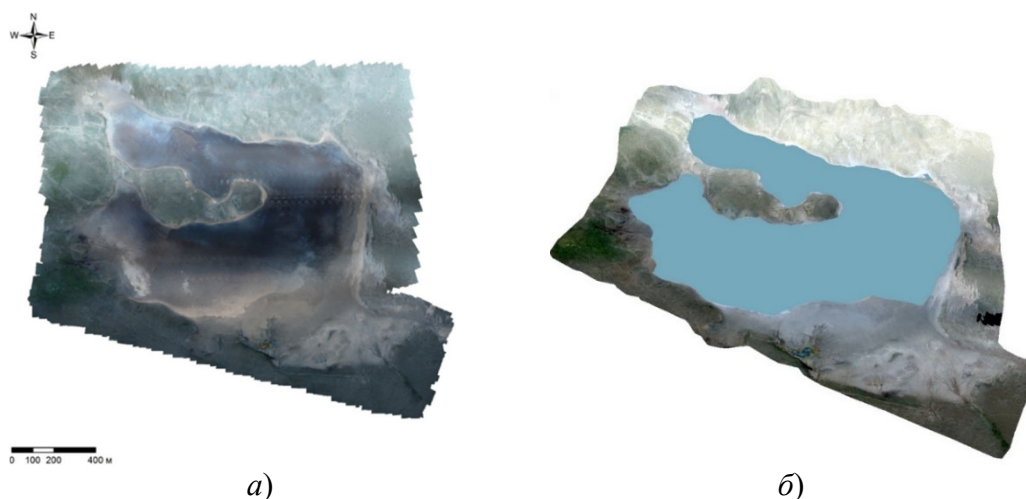


Рис. 3. Результат фотограмметрической обработки:
 а) ортофотоплан местности; б) 3D-модель

Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки выполнялась в программном пакете Agisoft PhotoScan [11], дальнейшее оформление и геопривязка дополнительных пространственных данных (топографи-

ческие карты, ДДЗ Landsat-8/ETM) проводились в ArcGIS 10.3. Оценка расхождений в координатах характерных точек в плане (аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата) показана в табл. 1.

Таблица 1

Оценка точности результатов измерений

Название объекта	Количество точек с уверенной идентификацией на ортофотоплане	Диапазон расхождений, м	
		от 0,00 до 0,10	от 0,11 до 0,12
Количество расхождений / процент			
оз. Кишкенсор	Опорные точки		
	4	4/100	0/0
	Контрольные точки		
18	16/89	2/11	

Принимая во внимание результаты оценки точности определения плановых и высотных координат контрольных и опорных точек, можно сделать вывод, что полученная в результате фотограмметрической обработки снимков точность достаточна для решения поставленных задач.

Таким образом, точность изготовленного ортофотоплана удовлетворяет требованиям, предусмотренными действующими нормативными документами [12], и может быть использована для создания топографических планов масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 0,5 м.

С помощью математического аппарата программного пакета ArcGIS 10.3 рассчитан объем подтопления (зона подтопления), который составил более 200 000 м³ при повышении уровня воды до 0,2 м. На основании представленной модели можно увидеть зону подтопления, в пределах которой возможно повышение уровня подземных вод и увлажнение грунтов зоны аэрации, а также изменение физических и физико-химических свойств подземных вод, преобразование почвогрунтов, видового состава, структуры и продуктивности растительного покрова, возможной трансформации мест обитания животных (выделено зеленым цветом на рис. 4).

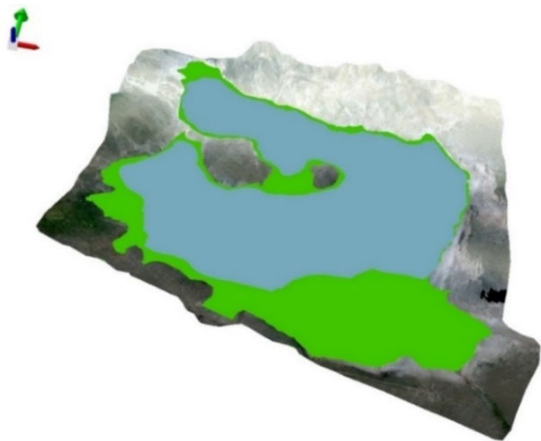


Рис. 4. Зона подтопления объекта Кишкенсор

Далее, согласно технологической схеме, на объекте выполнено комплексное экологическое обследование. Отбор поверхностных проб проводился на оз. Кишкенсор с помощью пробоотборника для забора воды. Лабораторные работы по определению содержа-

ния исследуемых радионуклидов проводились в соответствии с методическими указаниями и инструкциями на поверенной лабораторной аппаратуре. По результатам полевых и лабораторных исследований составлены карты (схемы) [13] радиационной обстановки двух видов: в виде площадного загрязнения (способ картограммы со ступенчатой шкалой) и в виде точек разных размеров, зависящих от уровня загрязнения в месте отбора проб (способ значков).

Составление карт (схем) осуществлялось по следующему алгоритму (рис. 5).

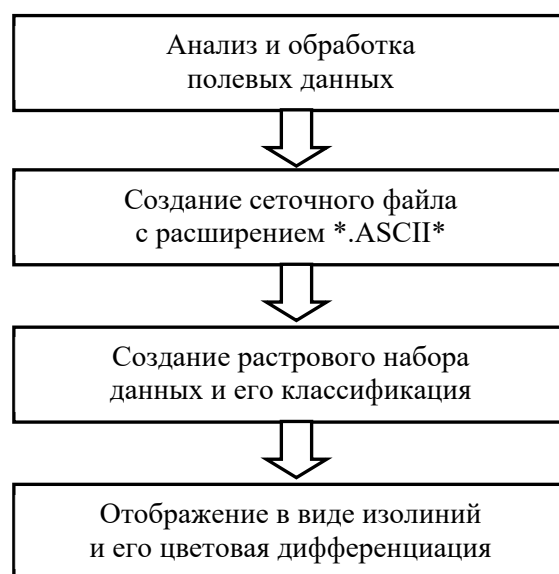


Рис. 5. Алгоритм составления карт площадного загрязнения объекта

Полученные карты различных масштабов являются основой для оценки радиационной обстановки на исследуемой территории.

На рис. 6, 7 приведено распределение трития в воде [14–16], так как его уровень наиболее высокий относительно других радионуклидов (цезий-137, стронций-90, америций-241, плутоний-239+240). Так, по результатам проведенных исследований, обнаружено, что удельная активность трития в грунтовых водах составляет от <12 до 320 000 Бк/кг и в большинстве случаев существенно превышает уровень его допустимого содержания в питьевой воде (7 600 Бк/кг) [17]. Цветовая дифференциация уровней загрязнения тритием поделена на четыре уровня, исходя из значений удельной активности данного радионуклида.

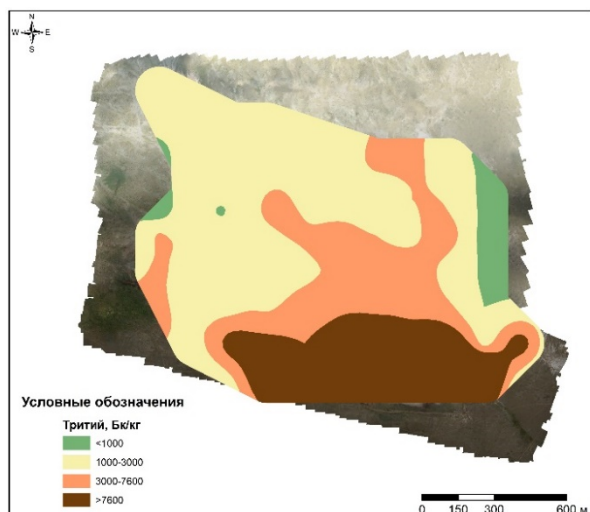


Рис. 6. Схема распределения уровней загрязнения тритием

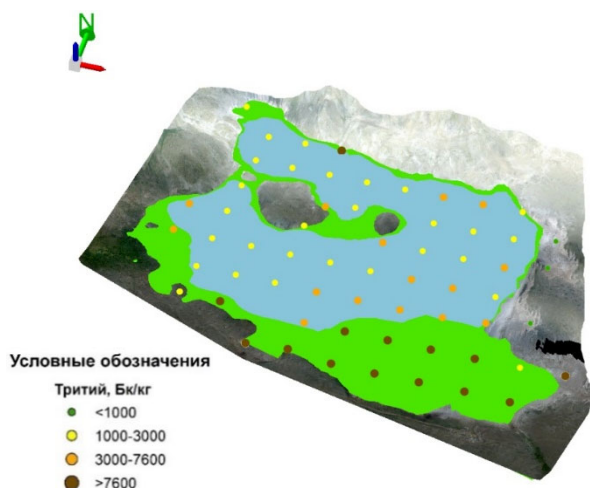


Рис. 7. Схема точечного распределения уровней загрязнения тритием

Согласно полученным результатам, можно сделать выводы, что основные точки с высоким содержанием удельной активности трития находятся в зоне подтопления. Местами точки отсутствуют по причине труднодоступности территории, но можно предположить, что они могут быть такой же повышенной концентрации, поскольку основным источником загрязнения тритием является вода (см. рис. 7).

Заключение

В заключение следует отметить, что по сравнению со спутниковыми снимками и традиционной аэрофотосъемкой, аэрофотосъемка с БПЛА имеет существенные преимущества. Во-первых, это возможность выполнения съемки локальных труднодоступных территорий (участков) для оценки радиоактивного состояния территории, где традиционная съемка не является рентабельной, не говоря уже о космической. Во-вторых, содержание и техническое обслуживание БПЛА несоизмеримо ниже аналогичных расходов при космической и традиционной аэрофотосъемке. В-третьих, высокое пространственное разрешение полученных снимков.

Проведенные исследования показали перспективность комплексного подхода при проведении радиоэкологического мониторинга и необходимость включения в технологическую схему процесса совместной обработки данных наземных измерений и результатов фотограмметрической обработки снимков, полученных с БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебникова Е. П., Абишева М. Т. Особенности обнаружения изменений инженерно-технических сооружений при интерпретации и анализе космических изображений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 10–15.
2. Цифровая аэрофотосъемка объектов недропользования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://goraudit.com/o-kompanii/o-nas>.
3. Назарбаев Н. А., Школьник В. С., Батырбеков Э. Г. и др. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние. – Курчатов, 2016. – Т. 2. – 448 с.
4. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон / под ред. В. А. Логачева – М. : ИздАТ, 1997. – 347 с.
5. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Технофера, 2010. – 560 с.

6. Atoyán Ruben, German A. New Technologies in 3-D Mapping // Buletin of Geography. Physical Geography Series. – 2017. – No. 12. – P. 31–40.
7. Konecny G. Geoinformation-Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems. London : Taylor and Francis, 2002. – 248 p.
8. Пронин С. С., Лукашенко С. Н., Ляхова О. Н., Актаев М. Р. Исследование характера и механизма формирования радионуклидного загрязнения оз. Кишкенсор на площадке «Балапан» // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. III Всероссийская науч. конф. с междунар. участием «Гидрологические, гидрофизические, экологические и биогеохимические процессы в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование»: сб. материалов в 4 т. (Барнаул, 28 августа – 01 сентября 2017 г.). – Барнаул : ИВЭП СО РАН, 2017. – Т. 2. – С. 166–175.
9. Никитин В. Н. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–17.
10. Павленко А. В. Разработка методики создания фотограмметрических 3D-моделей местности по аэрокосмическим снимкам : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск : СГГА, 2006. – 23 с.
11. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 119–129.
12. ГКИНП (ОНТА)-05-005-07. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – Астана, 2008.
13. Дышлок С. С., Николаева О. Н., Ромашова Л. А. К вопросу формализации процесса создания тематических карт в ГИС-среде // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 78–85.
14. Lyakhova O. N. Tritium as an indicator of venues for nuclear tests // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 124. – P. 13–21.
15. Tritium (hydrogen-3) // EVS Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, EVS. – 2005. – 3 p.
16. Tritium in the Environment // NCRP No. 62. National Council on Radiation Protection and Measurements. – 1979. – 78 p.
17. Об утверждении гигиенических нормативов «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [Электронный ресурс] : приказ министра национальной экономики Республики Казахстан от 27.02.2015 № 155. – Режим доступа: http://sng-atom.com/sites/default/files/SET_ORB%20155.pdf.

Получено 24.03.2020

© М. Т. Абшиева, Е. П. Хлебникова, 2021

INTEGRATED USE OF AERIAL AND GROUND-BASED MEASUREMENT DATA TO ASSESS THE RADIATION SITUATION OF WATER BODIES

Mariya T. Abisheva

Branch Institute of Radiation Safety and Ecology of the RSE NNC RK, 2, Beibyt Atom St., Kurchatov, 071100, Kazakhstan, Engineer, Laboratory for Geoinformation Technologies, phone: (72251)2-30-12, e-mail: fiesta270488@mail.ru

Helena P. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)901-94-58, e-mail: e.p.khlebnikova@sgugit.ru

Currently, a promising area is the use of the latest technologies and methods aimed at identifying and assessing the condition of objects. The purpose of this work is to improve the technological scheme for environmental monitoring. The proposed method is based on the results of integrated application of aerial photog-

raphy and ground-based measurements for environmental monitoring in assessing the state of water bodies in radioecologically dangerous territories. As a result of this work, the sequence of work was described both when obtaining data using unmanned aerial vehicles and their subsequent photogrammetric processing, and when performing measurements using ground-based instrumental methods. A technological scheme is presented that allows integrating information obtained by various methods, which can be entered into modeling systems and predict the behavior of a water body depending on changes in natural and anthropogenic impacts.

Keywords: photogrammetry, digital aerial photography, unmanned aerial vehicle, orthophotoplane, 3D model, map, test site

REFERENCES

1. Khlebnikova, E. P., & Abisheva, M. T. (2016). Features detection of changes engineering and technical installations at interpretation and analysis of space images. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology] (pp. 10–15). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
2. Digital aerial photography of subsoil use objects. (n. d.). Retrieved from <http://goraudit.com/o-kompanii/o-nas> [in Russian].
3. Nazarbayev, N. A., Shkolnik, V. S., & Batyrbekov, E. G. (2016). *Provedenie kompleksa nauchno-tekhnicheskikh i inzhenernykh rabot po privedeniyu byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona v bezopasnoe sostoyanie: T. 2* [Performing a set of scientific, technical and engineering works to bring the former Semipalatinsk Test Site into a safe condition: Vol. 2]. Kurchatov, 448 p. [in Kazakhstan].
4. Logachev, V. A. (1997). *Yadernye ispytaniya SSSR. Semipalatinskiy poligon* [Nuclear tests of the USSR. Semipalatinsk Test Site]. Moscow: IzdAT Publ., 347 p. [in Russian].
5. Schauvenerdt, R. A. (2010). *Distantionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy* [Remote Sensing. Models and methods of image processing]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 560 p. [in Russian].
6. Atoyán Ruben, & German, A. (2017). New Technologies in 3-D Mapping. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 12, 31–40.
7. Konecny, G. (2002). Geoinformation-Remote Sensing. Photogrammetry and Geographic Information Systems, 248.
8. Pronin, S. S., Lukashenko, S. N., Lyakhova, O. N., & Aktaev, M. R. (2017). Study of the nature and mechanism of formation of radionuclide contamination of Lake Kishkensor at the "Ba-lapan" site. In *Sbornik materialov III Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentral'noy Azii. T. 4. Gidrologicheskie, gidrofizicheskie, ekologicheskie i biogeokhimicheskie protsessy v vodnykh ob'ektakh i na vodosborakh Sibiri i ikh matematicheskoe modelirovanie* [Proceedings of III All-Russian Scientific Conference with International Involvement: Water and Environmental Problems of Siberia and Central Asia: Vol. 4. Hydrological, Hydrophysical, Environmental and Biogeochemical Processes in Water Bodies and Catchments in Siberia and their Mathematical Modeling] (pp. 166–175). Barnaul: Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ. [in Russian].
9. Nikitin, V. N. (2013). Experience in building an orthophotomap upon the results of large-scale aerial photography using a non-metric digital camera. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 2. Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology] (pp. 12–17). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
10. Pavlenko, A. V. (2006). Development of a methodology for creating photogrammetric 3D-models of the terrain using aerospace images. *Candidate's thesis*. Novosibirsk: SSGA Publ., 23 p. [in Russian].
11. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2018). Experimental studies of the accuracy of constructing a dense digital model based on the materials of an unmanned aircraft system. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 23(2), 119–129 [in Russian].
12. Instruction for photogrammetric works in building digital topographic maps and plans. (2008). GKINP (ONTA)-05-005-07. Astana.

13. Dyshlyuk, S. S, Nikolayeva, O. N., & Romashova, L. A. (2015). Concerning formalization of the process of creating thematic maps in GIS environment. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 78–85 [in Russian].
14. Lyakhova, O. N. (2013). Tritium as an indicator of venues for nuclear tests. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 13–21.
15. Tritium (hydrogen-3) (2005). EVS Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, 3 p.
16. Tritium in the Environment. (1979). NCRP No. 62. National Council on Radiation Protection and Measurements, 78 p.
17. Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan of February 27, 2015 No. 155. Hygienic standards "Sanitary and epidemiological requirements for ensuring radiation safety" [in Russian].

Received 24.03.2020

© M. T. Abisheva, E. P. Khlebnikova, 2021