

УДК 528.88

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМА ЗАТОПЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛИМАНОВ

¹Онаев М.К., ²Туктаров Р.Б., ²Тарбаев В.А., ²Гафуров Р.Р.

¹НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,
Уральск, e-mail: maratonaev@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов

В статье изложены результаты использования спутниковых методов исследования в мониторинге и оценке современного состояния земель лиманного орошения. На примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы исследован режим затопления за 2000–2017 гг. По результатам распознавания спутниковых снимков были созданы цифровые карты, характеризующие режим ежегодного весеннего затопления клеток лимана. Определены сроки, продолжительность и площадь затопления лимана в целом и в разрезе отдельных чеков. Использование технологий дистанционного зондирования подтвердило возможность использования вегетационных индексов для целей идентификации и картографирования растительного покрова лимана. Выявлены закономерности взаимосвязи значений вегетационного индекса NDVI с ботаническими группами растительности лимана и биологической урожайностью естественного травостоя лимана. Исследования показали, что самые низкие значения вегетационного индекса характерны для полынно-разнотравных, марьево-разнотравных и кермеково-разнотравных сообществ (NDVI < 0.4). Наиболее высокие значения индекса отмечаются в злаковых и злаково-разнотравных фитоценозах (NDVI > 0.6). На основе комбинированного использования вегетационного индекса NDVI и данных полевых геоботанических описаний проведено картографирование современного состояния растительного покрова лимана на уровне ассоциаций и определены площадные характеристики выделенных растительных ассоциаций. Анализ показателей вегетационного индекса и биологической урожайности естественного травостоя лимана показал статистически значимую положительную связь между данными параметрами. Осуществлено картографирование продуктивности сенокосов лимана и определены площадные характеристики выделенных диапазонов уровня урожайности зеленой массы многолетних трав. Полученные результаты исследований имеют большое значение для разработки и реализации системы мероприятий, направленных на улучшение и восстановление лиманных кормовых угодий.

Ключевые слова: лиманное орошение, мониторинг, оценка, картографирование, спутниковые методы, Landsat, режим затопления, фитоценозы, вегетационные индексы, NDVI

USE OF SATELLITE METHODS OF RESEARCH IN STUDY OF FLOOD MODE AND MODERN CONDITION THE VEGETABLE COVER OF LIMANS

¹Onaev M.K., ²Tuktarov R.B., ²Tarbaev V.A., ²Gafurov R.R.

¹NAO West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir khan, Uralsk,
e-mail: maratonaev@mail.ru;

²Saratov State Agrarian University n.a. N.I. Vavilov, Saratov

The article describes the results of the use of satellite research methods in monitoring and assessing the current state of liman irrigation lands. On the example of the liman 49 s.o. Taipak of the Ural-Kushum irrigation-watering system, the mode of flooding for the period 2000–2017 was studied. Based on the results of recognition of satellite images, digital maps were created that characterize the mode of the annual spring flooding of the liman cells. The terms, duration and area of flooding of the liman as a whole and in the context of individual checks were determined. The use of remote sensing technologies has confirmed the possibility of using vegetation indices for identification and mapping of the vegetation cover of the liman. The regularities of the relationship between the values of vegetative index NDVI and the botanical groups of liman vegetation and the biological yield of the natural herbage of the liman are revealed. Studies have shown that the lowest values of the vegetative index are characteristic for Artemisia-mixed-plant communities, Chenopodium-mixed-plant communities and Limonium-mixed-plant communities (NDVI < 0.4). The highest values of the index are recorded in cereals and cereal-mixed-plant phytocenoses (NDVI > 0.6). Based on the combined use of the vegetative index NDVI and field geobotanical data, the state of the vegetation cover of the liman was mapped at the level of associations and the area characteristics of the isolated plant associations were determined. The analysis of vegetative index indices and biological yield of the natural herbage of the liman showed a statistically significant positive relationship between these parameters. The cartography of the productivity of haymacks in the liman has been carried out and the area characteristics of the selected ranges of the yield level of the green mass of perennial grasses have been determined. The obtained research results are of great importance for the development and implementation of a system of measures aimed at improving and restoring the liman fodder land.

Keywords: liman irrigation, monitoring, assessment, mapping, satellite methods, Landsat, flooding regime, phytocenoses, vegetative indices, NDVI

В настоящее время дистанционный мониторинг (в первую очередь спутниковый) позволяет получать объективную информацию по всей территории, занятой сельско-

хозяйственными землями [1]. Не составляет исключение использование спутниковых методов исследований в мониторинге земель лиманного орошения, позволяющем

получать оперативные, объективные и точные картографические материалы о масштабах и длительности затопления лиманов; площадях засоления и заболачивания почвогрунтов; степени деградации травостоя лиманных земель. Спутниковые материалы являются уникальным источником данных для проведения ретроспективного анализа на территориях, где по каким-то причинам в течение ряда лет не проводились исследования, позволяющие выявить все качественные и количественные изменения за определенный временной период.

Цель исследования: мониторинг режима затопления и оценка современного состояния растительного покрова земель лиманного орошения с использованием данных ДЗЗ на примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы Республики Казахстан.

Материалы и методы исследования

Материалами для проведения исследовательских работ послужили разновременные космические снимки, полученные зарубежными космическими аппаратами Landsat-7, Landsat-8 и Terra за период 2000–2017 гг.; картографические материалы на объект исследований, а также результаты наземных геоботанических обследований, выполненных на экспериментальных участках лимана. Для идентификации продолжительности и масштабов затопления лимана применялись снимки, выполненные в весенний период (апрель – середина июня), а для оценки и картографирования состояния растительного покрова – изображения, отснятые в период с мая по июль.

Обработка и анализ космических снимков проводились по стандартной схеме с использованием методов визуального и автоматизированного дешифрирования; метода построения индексных изображений в программном комплексе ENVI 5.2 [2]. Вычисление площадных характеристик объектов и картографическое оформление полученных материалов осуществлялось на базе ГИС-пакета ArcGIS 10.3.1.

Результаты исследования и их обсуждение

Урало-Кушумская оросительно-обводнительная система – это межхозяйственная система каналов в земляном русле протяженностью 1231,9 км. Система введена в эксплуатацию в 1974 г. Головное сооружение находится в п. Кушум Зеленовского района Западно-Казахстанской области.

В систему входят каскад из четырех водохранилищ и пять магистральных каналов. В настоящее время по техническим причинам механическая подача воды не осуществляется. Система запроектирована на обеспечение водой 12985 га регулярного, 97635 лиманного орошения и обводнение 2177 тыс. га пастбищ прилегающих территорий [3].

Общая площадь лимана 49 с.о. Тайпак составляет 3877 га и состоит из 35 чеков (клеток). Клетки лимана обвалованы земляными валами и имеют средний размер затопляемой площади в пределах от 88 до 120 га, с отдельными отклонениями как до 57, так и до 140 или 236 га. Подача воды на лиман обеспечивается системой открытых каналов в земляном русле. Почвенный покров представлен светло-каштановой почвой, по механическому составу – тяжелосуглинистой крупно-пылеватопесчаной. Глубина залегания уровня грунтовых вод на объекте исследований составляет в среднем 3,3 м.

Основным фактором, определяющим общее мелиоративное состояние лиманных экосистем, урожайность лиманного луга и продуктивное долголетие его фитоценозов, является водный режим, который включает в себя нормы затопления, глубину затопления, сроки затопления и продолжительность стояния воды [4].

С использованием данных ДЗЗ был исследован режим затопления лимана 49 с.о. Тайпак за период 2000–2017 гг. По результатам распознавания спутниковых снимков были созданы цифровые карты, характеризующие режим ежегодного весеннего затопления клеток лимана. Определены сроки, продолжительность и площадь затопления лимана в целом и в разрезе отдельных клеток. Результаты оценки режима затопления рассматриваемой территории лимана 49 с.о. Тайпак с использованием геопространственной информации свидетельствуют об отсутствии регулярного водообеспечения лимана, приведшего к ухудшению мелиоративного состояния и снижению продуктивности лиманных земель. Исходя из представленных данных видно, что за период с 2000 по 2017 гг. системное затопление лимана производилось лишь в 2000–2002 гг. со средней площадью заливки 2967 га. В 2003–2004 гг. площадь затопляемых угодий уменьшилась в среднем до 1168 га, а начиная с 2005 г. и заканчивая 2009 г. – заливка лиманных лугов практически не происходила (до 10%

от площади лимана). Период 2010–2017 гг. характеризуется существенной вариабельностью изменения площади затопления, но все же незначительным улучшением уровня водообеспеченности лимана. Анализ расчетных данных показал, что наибольший уровень водообеспеченности за рассматриваемый период наблюдался в чеках 12, 14, 31, 32, расположенных в северной части лимана (рис. 1).

График сроков заливки лимана, определенный с использованием космической информации, позволяет сделать вывод о том, что техника затопления лимана в рассматриваемый период в целом соответствовала оптимальным срокам. Начало заливки наблюдалось во время прохождения весеннего паводка (третья декада марта – первая декада апреля), а длительность стояния воды в лимане составила в среднем 32–48 дней.

Изучению свойств растительного покрова принадлежит важное место в системе мониторинга лиманных земель, поскольку именно растения являются наиболее четким показателем эколого-мелиоративного состояния лиманов. Из всех компонентов контроля растения первыми реагируют на негативные процессы в почве и воде [5].

В качестве источников эталонной информации о состоянии характеристик растительного покрова использованы данные полевых геоботанических описаний, про-

веденные на экспериментальных участках лимана в 2016–2017 гг.

Сравнительный анализ флористического состава затапливаемых и незатапливаемых участков лимана показал, что при значительных перерывах в затоплении наблюдается ухудшение качественных показателей естественного травостоя, проявляется изреженность и смена биологической формации. На участках недостаточного увлажнения доминируют ксерофитные растения, такие как полынь беловойлочная, полынь Лессинга, рогач песчаный и др.; на регулярно затапливаемых участках – злаковые и осоковые растения (овсяница луговая, лихостов луговой, пырей ползучий, клубнекамыш морской и др.) [6].

Для идентификации и картографирования растительного покрова лимана был использован вегетационный индекс NDVI, диапазоны значений которого для различных фитоценозов, по нашим данным, практически не перекрываются. В ходе исследований была проанализирована тенденция временного изменения NDVI для каждого из основных растительных сообществ лимана в течение вегетационного периода. Максимальная вариабельность NDVI и соответствие значений индекса определенным растительным сообществам лимана наблюдались по снимку Landsat-8 от 16 июня 2016 г.

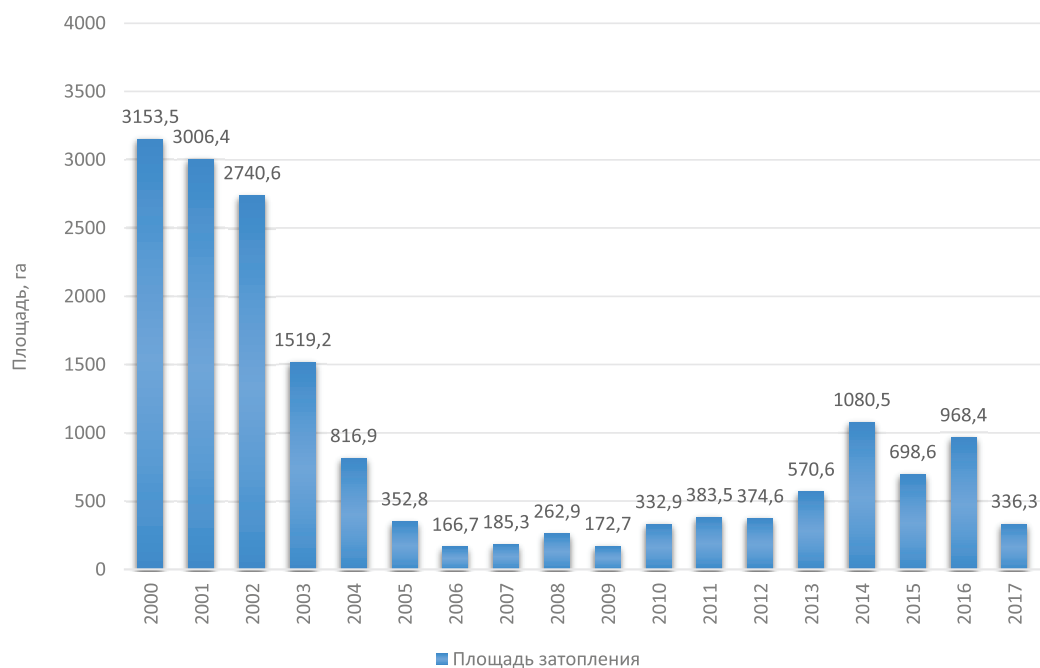


Рис. 1. Динамика изменения площади затопления лимана 49 с.о. Тайпак за 2000–2017 гг.

Исследования показали, что самые низкие значения вегетационного индекса характерны для полынно-разнотравных, марьево-разнотравных и кермеково-разнотравных сообществ ($NDVI < 0,4$). По мере изменения соотношения видового состава сообществ с появлением в составе травостоя мезофитных видов трав наблюдается увеличение значений вегетационного индекса. Наиболее высокие значения индекса

отмечаются в злаковых и злаково-разнотравных фитоценозах ($NDVI > 0,6$).

По результатам анализа данных геоботанических описаний была проведена эколого-доминантная классификация растительных сообществ до уровня ассоциаций. Были выделены 3 типа растительных ассоциаций, которым соответствуют определенные диапазоны вегетационного индекса NDVI (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны значений вегетационного индекса NDVI для растительных ассоциаций лимана 49 с.о. Тайпак по данным ДЗЗ, 2016 г.

Растительные ассоциации	Диапазоны значений NDVI
Луговые (с доминированием в составе травостоя луговых злаковых растений: пырея ползучего, бекмании обыкновенной и других трав, как наиболее ценных в кормовом и средообразующем значении)	0,605–0,778
Степные (с доминированием в составе травостоя степных растений: разнотравья, мари сизой и другого разнотравья)	0,453–0,605
Степные-полупустынные (с доминированием в составе травостоя малоценной пустынной растительности: кермека и других трав)	0,000–0,453

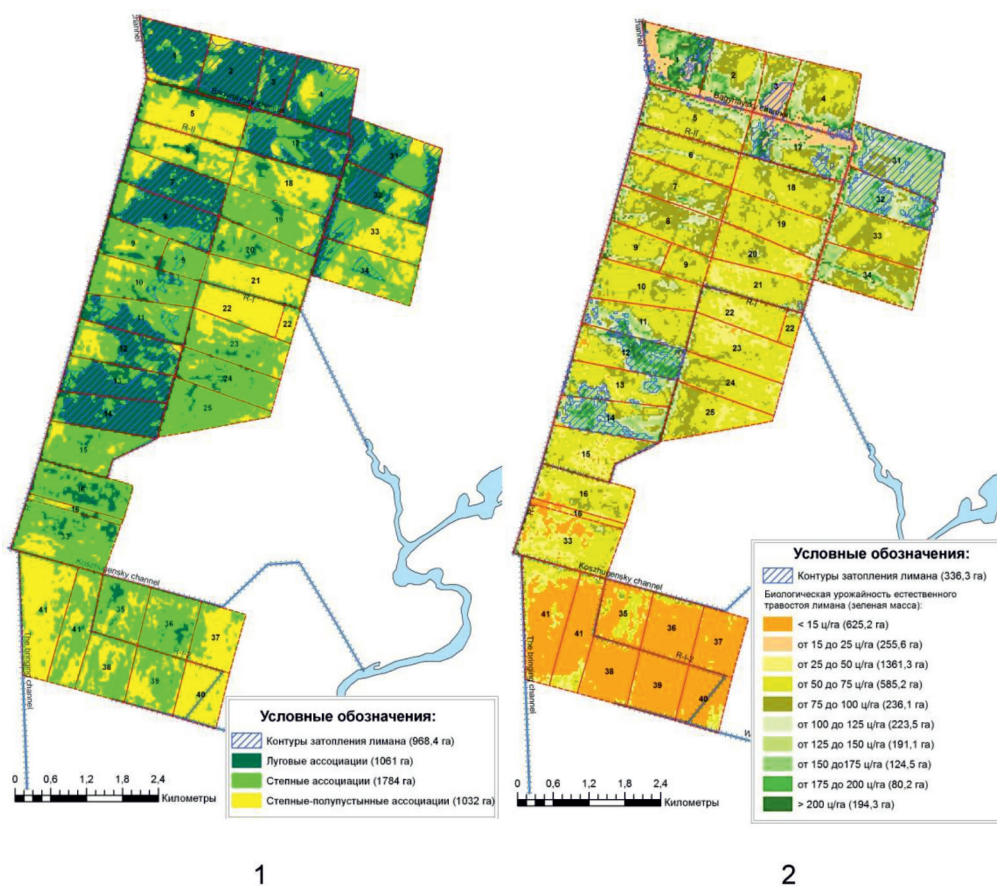


Рис. 2. Фрагменты карты фитоценозов (1) и карты биологической урожайности естественных сенокосов (2) лимана 49 с.о. Тайпак по данным ДЗЗ

Наложение результатов картографирования режима затопления лимана на карту фитоценозов подтвердило взаимосвязь между ботаническим составом травостоя и отсутствием или наличием затопления лимана. На основании результатов данной классификации было осуществлено картографирование состояния растительного покрова изучаемого лимана и определены площадные характеристики выделенных ассоциаций (рис. 2).

Площадь земель лимана, занятая луговыми растительными ассоциациями, составила 1061 га, или 27,4%, степными ассоциациями – 46,0% (1784 га) и степными-полупустынными – 26,6%, или 1032 га. Луговая растительность, составляющая качественную основу лиманного сена, отмечена в основном на клетках с наибольшим уровнем водообеспеченности. Растительный покров, состоящий из луговых ассоциаций, занимает от 22 до 85% от площади соответствующих чеков. На остальных клетках луговые фитоценозы занимают небольшую площадь среди растительных сообществ (от 7 до 17% от занимаемой площади). Полученная картина свидетельствует о деформации растительного покрова, развитии процессов деградации лиманных земель, проявляющихся в форме ксерофитизации и галофитизации коренных фитоценозов.

Общий анализ данных показателей вегетационного индекса, полученных с помощью обработки космического снимка Landsat-8 (OLI) за 06.07.2017 г. и биологической урожайности зеленой массы многолетних трав, собранных 04.07.2017 г. в полевых исследованиях на лимане, показал статистически значимую положительную связь между данными параметрами.

Урожайность зеленой массы многолетних трав определялась по общепринятой методике [7, 8] на пробных площадках лимана, представленных 44 точками. Регрессионная модель зависимости биологической урожайности естественного травостоя лимана от NDVI для данной территории представлена формулой

$$Y = 1012,2x - 110,67, \quad (1)$$

где x – величина NDVI; y – урожайность зеленой массы травостоя, ц/га.

Коэффициент парной корреляции R равный 0,854 свидетельствует о тесной взаимосвязи между рассматриваемыми показателями; коэффициент детерминации $R^2 = 0,730$ характеризует выбранную модель, как

модель хорошего качества; расчетное значение критерия Фишера $F_{расч.} = 113,49$, значительно превышающее $F_{теор.} = 4,06$ (для $\alpha = 0,05$), указывает на высокую степень адекватности уравнения регрессии; уровень значимости $\alpha = 1,64015E-13$ подтверждает устойчивую зависимость функции y от воздействующего фактора x .

На основании расчетных модельных значений переменной по уравнению регрессии проведена группировка показателей биологической урожайности естественного травостоя лимана (10 групп) с присвоением каждой группе соответствующего диапазона индекса вегетации NDVI (табл. 2).

Таблица 2

Соответствие диапазонов значений индекса NDVI диапазонам значений биологической урожайности естественного травостоя лимана, 2017 г.

Диапазоны значений биологической урожайности естественного травостоя (зеленой массы)	Диапазоны значений индекса NDVI
< 15 ц/га	0,000–0,125
от 15 до 25 ц/га	0,125–0,134
от 25 до 50 ц/га	0,134–0,159
от 50 до 75 ц/га	0,159–0,183
от 75 до 100 ц/га	0,183–0,208
от 100 до 125 ц/га	0,208–0,233
от 125 до 150 ц/га	0,233–0,258
от 150 до 175 ц/га	0,258–0,282
от 175 до 200 ц/га	0,282–0,307
> 200 ц/га	0,307–0,541

По результатам данной классификации осуществлено картографирование продуктивности сенокосов лимана и определены площадные характеристики выделенных диапазонов уровня урожайности зеленой массы многолетних трав (рис. 2). Площадь участков лимана с высокой урожайностью многолетних трав (более 100 ц/га зеленой массы) составила 813,6 га, или 21,0%. Данные участки отмечены преимущественно на клетках северной части лимана, где по результатам исследований 2016 г. было определено доминирование луговых фитоценозов среди растительных сообществ лиманных земель. Площадь участков лимана с низкой урожайностью многолетних трав (менее 25 ц/га зеленой массы) составила 880,8 га, или 22,7%. Эти участки отмечены в южной части территории лимана, на клетках 37–40, занятых преимущественно степными-полупустынными растительными ассоциациями.

Заключение

Таким образом, результаты проведения исследований по оценке современного состояния земель лиманного орошения с использованием спутниковых методов на примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы позволили оценить режим затопления лимана, включая сроки, продолжительность и площадь затопления в целом и в разрезе отдельных чеков. В ходе проведения работ выявлены закономерности взаимосвязи значений вегетационного индекса NDVI, а также уровня водообеспеченности с ботаническими группами растительности лимана и биологической урожайностью естественного травостоя лимана. На основе интерпретации спутниковой информации и данных полевых геоботанических описаний проведено картографирование продуктивности сенокосов лимана и классификация растительных сообществ лимана до уровня ассоциаций.

Полученные результаты дают возможность объективно оценивать режим затопления, состояние и структуру естественного травостоя земель лиманного орошения в пределах зоны сухих степей Западного Казахстана, а также имеют большое значение для планирования мероприятий, направленных на сохранение лиманов и повышение их экологической устойчивости.

Список литературы

1. Об утверждении Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 30.07.2010 № 1292-р (ред. от 30.05.2014). – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/73433> (дата обращения: 08.05.2018).
2. Украинский П.А. Практикум по автоматизированной обработке данных дистанционного зондирования: Пособие для студентов географических факультетов университетов / П.А. Украинский, Э.А. Терехин. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. – 246 с.
3. Онаев М.К. Лиманное орошение в Западно-Казахстанской области / М.К. Онаев. – Уральск, 2011. – 110 с.
4. Мамин В.Ф. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга луговых лиманов / В.Ф. Мамин. – М.: ВНИИОЗ, 2001. – 30 с.
5. Сенчуков Г.А. Использование местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения: научный обзор / Г.А. Сенчуков, В.Д. Гостищев, А.С. Капустян и др. – Новочеркасск: ФГНУ «РосНИИПМ», 2011. – 172 с.
6. Онаев М.К. Периодичность затопления и растительный покров лиманов Западно-Казахстанской области / М.К. Онаев, С.Е. Денизбаев, Ж.Б. Тасанова, Д.Т. Хабиев // Правовые, экономические и экологические аспекты рационального использования земельных ресурсов: сборник статей международной научно-практической конференции (19–20 мая 2016 г., Саратов). – Саратов: ООО «Буква», 2016. – С. 36–39.
7. Доспехов Б.А. Методика полевых опытов (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.
8. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса. – М., 1987. – 197 с.

References

1. Ob utverzhenii Konceptii razvitiya gosudarstvennogo monitoringa zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya i zemel', ispol'zuemyx ili predostavlennyx dlya vedeniya sel'skogo xo-zyajstva v sostave zemel' inyx kategorij, i formirovaniya gosudarstvennyx informacionnyx resursov ob e'tix zemlyax na period do 2020 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 30.07.2010 № 1292-r (red. ot 30.05.2014). – Rezhim dostupa: <http://government.ru/docs/all/73433> (data obrashheniya: 08.05.2018).
2. Ukrainskij P.A. Praktikum po avtomatizirovannoj obrabotke dannyx distancionnogo zondirovaniya: Posobie dlya studentov geograficheskix fakul'tetov universitetov / P.A. Ukrainskij, E'.A. Terexin. – Belgorod: Izd-vo BelGU, 2010. – 246 p.
3. Onaev M.K. Limannoe oroshenie v Zapadno-Kazaxstanskoj oblasti / M.K. Onaev. – Ural'sk, 2011. – 110 p.
4. Mamin V.F. Metodicheskie rekomendacii po organizacii i vedeniyu monitoringa lugovyx limanov / V.F. Mamin. – M.: VNIIOZ, 2001. – 30 p.
5. Senchukov G.A. Ispol'zovanie mestnogo stoka dlya orosheniya zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya: nauchnyj obzor / G.A. Senchukov, V.D. Gostishhev, A.S. Kapustyan i dr. – Novochech-kassk: FGNU «RosNIIPM», 2011. – 172 p.
6. Onaev M.K. Periodichnost' zatopleniya i rastitel'nyj pokrov limanov Zapadno-Kazaxstanskoj oblasti / M.K. Onaev, S.E. Denizbaev, Zh.B. Tasanova, D.T. Xabiev // Pravovy'e, e'konomicheskie i e'kologicheskie aspekty' racional'nogo ispol'zovaniya zemel'nyx resursov: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (19–20 maya 2016 g., Saratov). – Saratov: ООО «Bukva», 2016. – pp. 36–39.
7. Dospexov B.A. Metodika polevyx opy'tov (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) / B.A. Dospexov. – M.: Al'yans, 2011. – 352 p.
8. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevyx opy'tov s kormovy'mi kul'turami / VNIИ kor-mov im. V.R. Vil'yamsa. – M., 1987. – 197 p.