

Динамическое картографирование озерных акваторий бессточной области Обь-Иртышского междуречья

*Н. Ю. Курепина¹**

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул,
Российская Федерация

* e-mail: nyukurepina@mail.ru

Аннотация. Динамическое картографирование озерных акваторий показывает движение, развитие каких-либо явлений или процессов во времени и в пространстве. За определенный период времени направленность динамического процесса может меняться, что вызывает определенную сложность в его отображении. Ранее выполненные исследования динамических изменений озерных акваторий бессточной области Обь-Иртышского междуречья показали это. В настоящей работе, на основе разновременных топографических и дистанционных исходных данных, а также различных картографических приемов визуализации динамических процессов в геоинформационной среде, сделана попытка разработки оптимального метода комплексного отображения ретроспективных данных. На его основе создана наглядная и информативная картографическая модель, позволившая обосновать очередность выбора объектов. Полученный результат подтверждает широкий спектр возможностей геоинформационно-картографического моделирования и его актуальность в изучении динамических процессов.

Ключевые слова: динамическое картографирование, озерные акватории, картографические модели, бессточная область Обь-Иртышского междуречья

Dynamic mapping of lake water areas in the Ob-Irtysh drainless interfluve

*N. Yu. Kurepina¹**

¹ Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation

* e-mail: nyukurepina@mail.ru

Abstract. Dynamic mapping of lake waters shows the movement, development of any phenomena or processes in time and space. Over a certain period of time, the direction of the dynamic process may change, which causes a certain difficulty in its display. Previously performed studies of dynamic changes in the lake waters of the endorheic region of the Ob-Irtysh interfluve showed this. In this paper, on the basis of multi-temporal topographic and remote source data, as well as various cartographic methods of visualization of dynamic processes in the geoinformation environment, an attempt is made to develop an optimal method for integrated display of retrospective data. On its basis, a visual and informative cartographic model was created, which made it possible to justify the order of choice of objects. The obtained result confirms a wide range of possibilities of geoinformation and cartographic modeling and its relevance in the study of dynamic processes.

Keywords: dynamic mapping, lake water areas, cartographic models, Ob-Irtysh drainless interfluve

Введение

«Динамическое картографирование геосистем» [1] и их отдельных компонентов имеет широкое применение во многих отраслях знаний в науках о Земле. Специфика карт заключается в отображении изменений исследуемых объектов

и явлений в пространственно-временном аспекте. Обсуждение теоретико-методологических вопросов создания карт данной тематики ведется с прошлого столетия [2-5]. Внедрение геоинформационных технологий в географические исследования и автоматизация большинства процессов существенно упростили процедуру проведения динамического картографирования и расширили возможности визуализации [6-9]. Картографические модели, создаваемые в геоинформационной среде по разновременным данным, легко сопоставимы. Операция оверлея позволяет наглядно отобразить пространственно-временные изменения характеристик объекта исследования, а выполнение картометрических операций способствует получению количественных аналитических данных об объекте. В комплексе, используя эти возможности и проведя экспертную оценку, можно выявить динамические процессы геосистемы и ее отдельных элементов, например, озерных акваторий системы озер бессточной области Обь-Иртышского междуречья, и выбрать наиболее информативный способ отображения изменений.

Цель и задачи настоящего исследования

Система озер бессточной области Обь-Иртышского междуречья расположена в степной зоне Западной Сибири (рис. 1 а), где с 50-х годов прошлого столетия наблюдается процесс опустынивания, связанный с антропогенным воздействием. Бессточные озера представляют собой водоемы, не имеющие поверхностного стока или подземного отвода воды в соседние водосборы.

Исследования, выполненные совместно с немецкими коллегами в рамках проекта «Кулунда» (2011-2016), показали эволюцию степных ландшафтов вследствие интенсивного землепользования и процессов опустынивания, истощение и деградацию почв, динамику изменений селитебных структур и т.д. [10-11]. Ретроспективный анализ водных объектов на ключевых участках (Кулундинский и Михайловский муниципальные районы), осуществленный на основе космокартматериалов (1937-2019), позволил получить цифровые данные береговых линий рек и озер, определить площади озерных акваторий и динамику их изменений [12-14]. Прогноз, указывающий на снижение озерного фонда на данных территориях к 2050 г. [15], убеждает в необходимости и актуальности продолжения научных исследований.

Цель настоящей работы заключается в разработке наглядного способа картографического представления динамических изменений, установленных в системе бессточных озер Обь-Иртышского междуречья, способствующего определению приоритетности выбора объектов (озер) для обоснования дальнейшего изучения.

Для достижения данной цели решались следующие задачи: проанализировать существующие способы картографического изображения динамических процессов и явлений; по разновременным цифровым данным построить динамические картографические модели системы озер бессточной области Обь-Иртышского междуречья разного типа; предложить оптимальное визуальное решение.

Материалы и методы:

В качестве объекта картографирования выступила система озер Обь-Иртышского междуречья, расположенная в границах Кулундинского муниципального района Алтайского края (рис. 1 а-в).

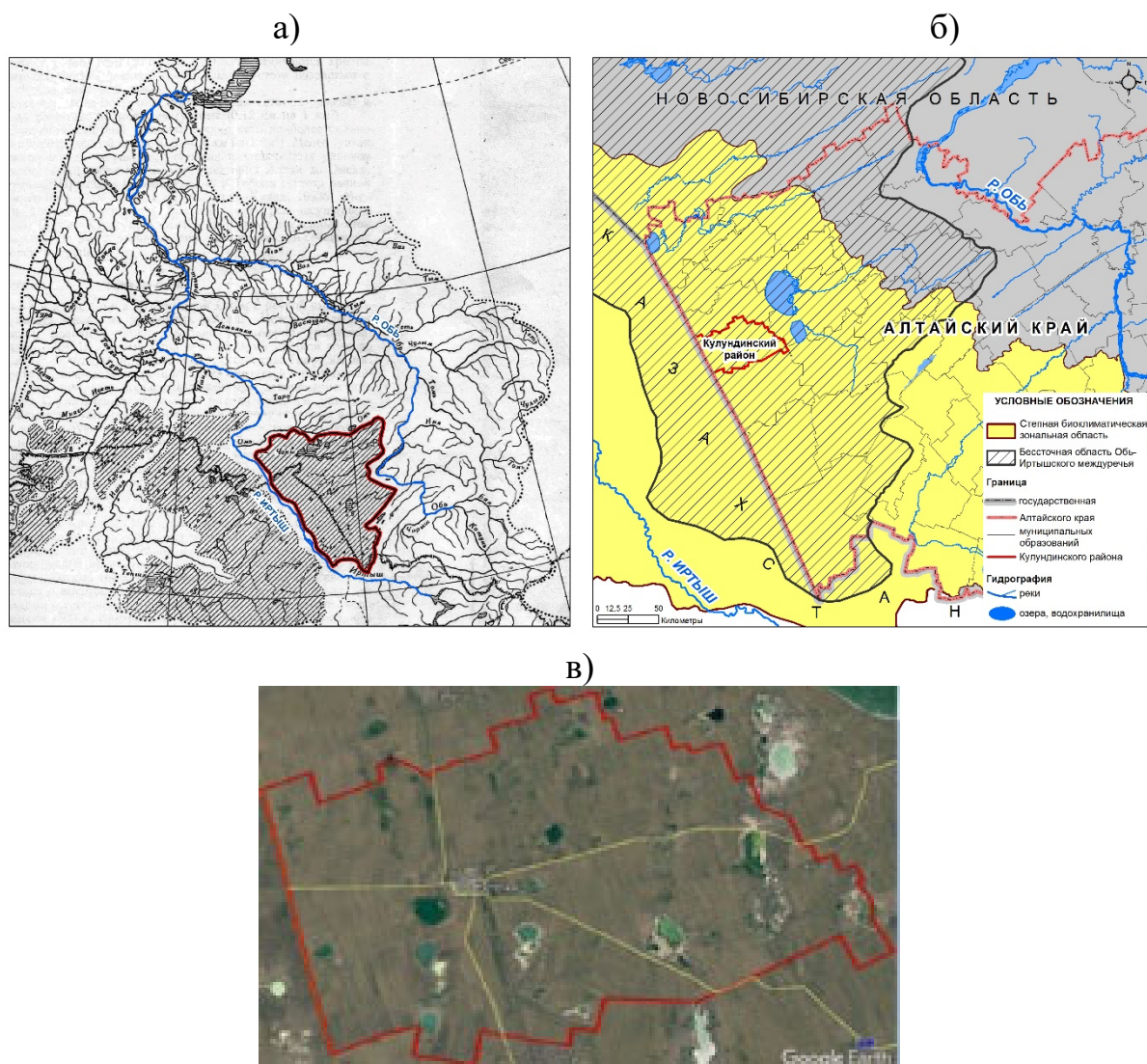


Рис. 1. Расположение:

а) восточной области Обь-Иртышского бассейна (граница области выделена красным цветом, фрагмент карты бассейна р. Оби [16]); б) Кулундинского района (района исследования); в) системы озер Кулундинского района

Главными требованиями, предъявляемыми к картам, в том числе и к динамическим, являются: геометрическая точность, достоверность, наглядность и читаемость, поэтому в качестве исходных данных эффективно использование топографических карт. При этом «изучаемые объекты могут быть оценены по множеству показателей: местоположению (координаты), размерам (протяженность, площади, объемы, высоты, глубины)» [17]. Ретроспективный анализ системы

озер Обь-Иртышского междуречья осуществлялся на основе разновременных топографических материалов (масштаб 1:200 000) «доцелинного» (до 1950-х годов) периода съемки (1933-1947) и «послецелинного» (после 1950-х годов) 1984-1986 гг.

В качестве незаменимого и оперативного информационного источника в исследованиях динамики географических явлений выступают аэрокосмические снимки [18-23]. В наших исследованиях современное состояние определялось по синтетическим изображениям архивов Landsat (2003-2016, 2019), представленных на сайте Google Планета Земля (Google Earth, <https://www.google.com/earth/>). С учетом наличия исходных данных было выделено пять временных рядов (табл.), рассматривались озера, расположенные полностью на территории Кулундинского района. Обработка космокартматериалов и картографическое моделирование производилась в геоинформационной среде на платформе ArcGIS 10.2 (ESRI®).

Таблица

Динамика изменения площади (км²) водной поверхности системы озер Кулундинского района

фрагмент таблицы

Название	Временные ряды				
	1	2	3	4	5
	1933, 1937*	1939, 1941- 1947*	1984- 1986*	2003- 2004, 2007, 2013, 2016**	2019**
Бол. Сор	1,3	1,4	0,8	1,2	1,2
Бол. Шкло (Б. Шкло-Ушкалы)	3,2	2,9	2,6	3,4	3,5
Бурты	1,8	1,8	1,4	1,8	1,7
Горькие Кильты (Кельты)	4,2	4,4	3,8	4,7	5
Горькое (Каки)	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3

*источник данных – топографические карты масштаба 1:200 000

**источник данных – архивы космоснимков Landsat 7-8

Обзор литературных данных [1, 24] показал, что динамическую информацию, извлекаемую в результате геоинформационного совмещения разновременных данных, можно представить в разных сюжетных вариантах: построение серии картографических моделей исследуемых объектов на определенный период времени; моделирование разности состояний контуров объектов на два и более временных периода; одновременное совмещение контуров объектов за разные периоды времени; создание картографической модели ареалов изменения конту-

ров объектов. Для изображения изменения количественных характеристик применяют различного вида картодиаграммы, дополнительно могут использоваться графические приемы такие, например, как стрелки. Представление легенды динамической карты возможно в текстовом, табличном либо матричном виде.

Результаты

По официальным данным в Кулундинском муниципальном районе расположено 25 озер, большинство из которых соленые и горько-соленые. На анализируемых картах 18 озер имеют собственные названия, 16 из них целиком размещаются в границах района. Именно они и выступили в качестве основных объектов исследования системы озер Кулундинского района бессточной области Обь-Иртышского междуречья.

После преобразования топографических карт и космических снимков в цифровой формат, определения площадных данных акваторий озер на конкретный период времени были сопоставлены их картометрические характеристики, которые выявили разнонаправленную динамику изменения площадей и береговых линий озер. По площадным значениям акваторий установлено, что с 1937 г. до 1980-х годов основная тенденция у большинства исследуемых объектов (11 из 16) была к сокращению площади водной поверхности. В последние из анализируемых этапов отмечено увеличение площадей водной поверхности по сравнению с показателями 1930-х годов: у 7 и водоемов – 2003-2016 гг.; у 9 – на 2019 г., что соответствует общей тенденции роста увлажненности территории в этот период.

Одним из первых вариантов визуализации динамических трансформаций, установленных в системе бессточных озер, стала серия картографических моделей исследуемых объектов на конкретные временные периоды, показавшая неэффективность данного способа отображения, т.к. на моделях, кроме координатной сетки, отсутствуют ориентиры для фиксации пространственных изменений, а незначительные сдвиги во взаимном расположении водоемов или относительно административной границы трудно различимы.

Одновременное изображение динамических преобразований в поведении озерных акваторий в сочетании с разными временными периодами привело к увеличению количества комбинаций производных моделей и не способствовало целостному представлению о пространственной трансформации водных поверхностей за весь исследуемый период времени. Даже применение дополнительных графических средств для показа направления основного смещения положения береговых линий не явился действенным (рис. 2 а).

Вариант одновременного совмещения контуров водоемов за все временные периоды (рис. 2 б) стал наиболее наглядным, но только для озер, которые имеют динамику постепенного сокращения либо увеличения акваторий за рассматриваемый период, в других же случаях, читаемость изображений теряется.

Рассмотренные выше примеры позволяют наблюдать картины пространственно-временных динамических проявлений, однако их общим недостатком является отсутствие каких-либо количественных характеристик исследуемых

объектов, позволяющих аргументированно сделать выбор приоритетности для дальнейшего изучения.

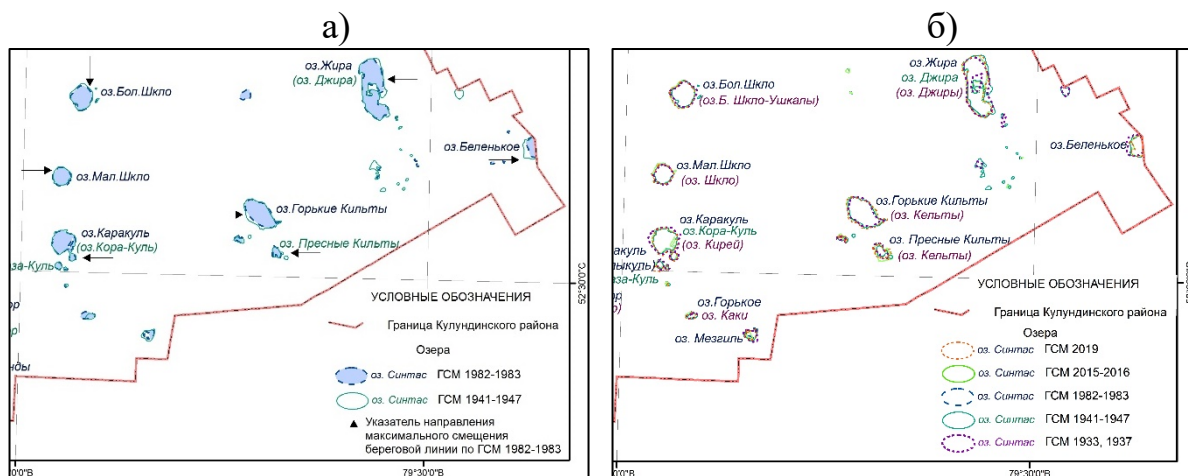


Рис. 2. Динамика изменения акваторий и береговых линий озер, фрагменты карт: а) с 1940-х по 1980-е годы; б) с 1930-х по 2019 гг.

В картографии одним из распространенных способов визуализации числовых данных являются картодиаграммы. Диаграммы в виде столбиков наиболее часто употребляемы при изображении изменений явлений во времени (рис. 3 а, б). В данном случае при картографическом моделировании логично отображать состояние береговых линий озерных акваторий на крайние временные периоды – первый (1930-е годы) и последний (2019 г.), а динамика изменения площади озер за пять временных периода передается через размер высоты столбчатых диаграмм (рис. 3 а). Такая картографическая композиция более полно показывает изменение площадных характеристик водоемов, однако ее недостатком является отсутствие части информации по направлениям трансформации контуров озер на периоды 40-х и 80-х годов. Визуально данная интерпретация позволяет расставить приоритеты выбора объектов в следующем порядке: Мал. Сор, Мезгиль, Бол. Сор, водоемы с небольшой площадью и риском исчезновения, поскольку ориентир идет на динамику изменения столбиков, прежде всего, высоту последних двух столбцов – показателей состояния акваторий за последние временные периоды исследования в сравнении с первым.

Другой вариант использования столбчатой диаграммы – это отображение непосредственно количественных характеристик площадей акваторий на каждый временной период, где посредством направления столбика вверх/вниз отображается положительная либо отрицательная тенденция изменений. Кроме того, для лучшего визуального восприятия информации и более глубокого понимания процесса динамических изменений ширина столбиков подобрана в соответствии с продолжительностью каждого периода (рис. 3 б). При данной постановке в приоритете дальнейшего исследования оказываются озера: Мал. Сор, Бурты, Пресные Кильты.

ществляется по данным столбчатых диаграмм. Она (выборка) представляется следующей: озера Мал. Сор и Мезгиль на грани полного сокращения. В настоящее время площадь их акваторий составляет 0,3 км² и 0,4 км² при изначальных размерах 1,0 км² и 0,9 км² соответственно.

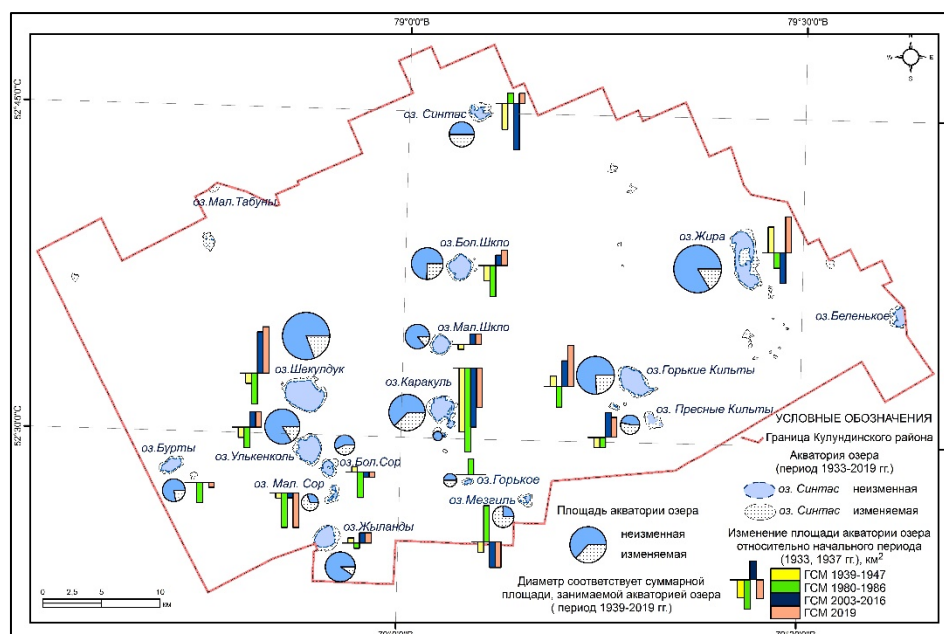


Рис. 4. Предлагаемая картографическая модель визуализации динамики изменения площади акваторий и береговых линий озер за период с 1930-е по 2019 гг.

Обсуждение

Динамическое картографирование озерных акваторий представляет собой сложный процесс визуализации, поскольку изменения береговых линий водоемов имеет разную направленность трансформации в пространстве, сокращения водных поверхностей озер в разные периоды времени сменяются их увеличением, и наоборот.

При геоинформационно-картографическом моделировании динамических данных водоемов возможна различная их интерпретация, однако результат полученных геоизображений не всегда информативен и показателен.

Предлагаемый методический подход создания картографической модели отображения динамических изменений озерных акваторий бессточной области Обь-Иртышского междуречья на примере системы озер Кулундинского района в геоинформационной среде показал свою состоятельность, поскольку продемонстрировал соответствие главным требованиям, предъявляемым к картам (геометрическая точность, достоверность, наглядность и читаемость), а также возможность комплексного отображения разновременных данных, имеющих разнонаправленные характеристики, и объективного выбора объектов с целью дальнейшего изучения.

Заключение

Динамическое картографирование озерных акваторий в геоинформационной среде оптимально, а применение инструментов пространственных операций способствует оперативному созданию карт и наглядному отображению информации.

На основе опыта работы с различными программными продуктами ГИС, анализа использования способов картографического изображения объектов и явлений предложен новый методический подход визуального представления динамических процессов трансформации акваторий и береговых линий водоемов системы озер бессточной области Обь-Иртышского междуречья по ретроспективным данным, охватывающим более 80 лет.

Геоинформационно-картографическая модель, созданная на основе предложенной методики, является новой формой картографического представления динамической информации. Комплексное отображение разновременных и разнонаправленных процессов трансформации озер, переданное посредством пространственно-знаковой композиции геометрических фигур (береговых линий и акваторий озер) и картодиаграмм (количественных характеристик водных объектов), наглядно и информативно.

Анализ результирующей картографической модели позволил объективно оценить ситуацию по динамическим процессам в системе озер Кулундинского района, обосновать очередность выбора водоемов Мал. Сор и Мезгиль для дальнейшего изучения и установить необходимость продолжения исследований в отношении ряда озер – Бол. Сор, Каракуль, Бурты, имеющих динамику сокращения акваторий.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН и Гранта РФФИ № 21-55-75002/21 «Разработка рекомендаций в целях устойчивого совместного использования почв и грунтовых (подземных) вод: принятие решений при поддержке и участии заинтересованных сторон».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. – М.: Научный мир, 2000. – С. 3-54.
2. Картографирование динамики географических явлений и составление прогнозных карт: Матер. к симп. на Третьей науч.-техн. конференции по картографии. – Иркутск, 1968. – 81 с.
3. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. – М.: Мысль, 1986. – С. 154-203.
4. Салищев К.А. Картоведение: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – С. 285-288.
5. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикуннов В.С., Глазырин В.В., Заварзин А.В., Замай С.С., Лурье И.К., Охонин В.А., Пырьев В.И., Рыльский И.А., Семин В.И., Серапинас Б.Б., Симонов А.В. Трофимов А.М., Флейс М.Э., Якубайлик О.Э., Яровых В.Б. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
6. Суворов А.К. Принципы наглядности картографического изображения // Известия АН. Серия географическая. – 2002. – № 1. – С. 104-111.
7. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник. – М.: КДУ, 2008. – С. 398-405.

8. Бешенцев А.Н. Геоинформационные системы долгосрочного мониторинга природопользования // Информационные технологии. – 2015 – Т. 21. – № 8. – С. 625-629.
9. Коновалова Т.И. Методология картографирования трансформации геосистем // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2021. – Т. 37. – С. 56–69. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.56>
10. Экономические, экологические, технологические факторы и результаты деятельности сельскохозяйственных предприятий в условиях Кулундинской степи: коллектив. монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2014. – 140 с.
11. Siberian Agro-steppe as Pioneering Region for Sustainable Land Use (collective megarave). – Springer, 2020. – 528 p.
12. Курепина Н.Ю., Цимбалей Ю.М., Плуталова Т.Г., Циликина С.В. Оценка динамики опустынивания территории на основе ретроспективного анализа топо- и космоматериалов (на примере объектов Кулундинской степи) // Известия Алтайского краевого отделения Русского географического общества. – Барнаул: Изд-во АзБука. – 2016. – № 4 (433). – С. 30-43.
13. Рыбкина И.Д., Курепина Н.Ю., Плуталова Т.Г. Перспективы водопользования на территории бессточной области Обь-Иртышского бассейна Алтайского края // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: материалы междунар. конф. М.: ООО "МАКС Пресс", 2020. – С. 127-131.
14. Хезе С., Курепина Н.Ю., Вальде И., Плуталова Т.Г. Картографический анализ и космический мониторинг изменений в системе землепользования в Кулундинской степи // Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2021. – С. 139-175.
15. Измайлова А.В. Современное состояние водных ресурсов естественных и искусственных водоемов Российской Федерации и тенденции и тенденции их изменения / А.В. Измайлова // Дис... д-р геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2019. – 278 с.
16. Западная Сибирь / Под ред. Г.Д. Рихтера – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 488 с. (вкладыш).
17. Верещака Т.В. Топографические карты: научные основы содержания. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. – 319 с.
18. Кравцова В.И., Родионова Т.В. Исследование динамики площади и количества термокартовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам // Криосфера Земли. – 2016. – Т. XX. – № 1. – С. 81-89.
19. Полищук Ю.М., Куприянов М.А., Брыскина Н.А. Дистанционное исследование динамики площади озер в сплошной криолитозоне Сибири // География и природные ресурсы. – 2017. – № 3. – С. 164-170.
20. Пшеничников А.Е. Применение данных дистанционного зондирования для исследования динамики озер и числа озер юга Тюменской области // Геодезия и картография. – 2018. – № 5. – С. 45-53. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-935-5-45-53
21. Lyons E.A. and Sheng Y. LakeTime: Automated Seasonal Scene Selection for Global Lake Mapping Using Landsat ETM+ and OLI // Remote Sens. – 2018. – Vol. 10(1), 54; doi:10.3390/rs10010054
22. Wang Y., Ma J., Xiao X., Wang X., Dai S., Zhao B. Long-Term Dynamic of Poyang Lake Surface Water: A Mapping Work Based on the Google Earth Engine Cloud Platform // Remote Sens. – 2019. – Vol. 11(3), 313; doi:10.3390/rs11030313
23. Zhao H., Zhang M., Chen F. GAN-GL: Generative Adversarial Networks for Glacial Lake Mapping // Remote Sens. – 2021. – Vol. 13(22), 4728. <https://doi.org/10.3390/rs13224728>
24. Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных / Перевод под ред. В.С. Тикунова. – М.: Научный мир, 2005. – С. 265-268.

© Н. Ю. Курепина, 2022