

*Л. К. Радченко<sup>1\*</sup>, П. С. Шарыпаев<sup>1</sup>*

## **Обзор и анализ методик создания карт динамики изменения водных объектов**

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

**Аннотация.** Картографирование динамики изменений площади водных объектов считается одной из информативных задач экологического мониторинга. Авторами были рассмотрены методы составления карт динамики водных объектов. Выделены основные приемы составления экологических карт с использованием данных дешифрирования аэрокосмических снимков, рассмотрены преимущества и недостатки данных приемов (совместное и раздельное дешифрирование). Рассмотрена методика составления карт динамики изменения водных объектов с применением статистических данных – с использованием данных полученных с гидрологических постов на территории акватории Аральского моря для генерации поверхности воды. Данный метод предполагает создание цифровой модели рельефа дна моря и прилегающих территорий, а также последующую интеграцию полученных данных с поверхности воды.

**Ключевые слова:** карты динамики, дешифрирование аэрокосмических снимков, цифровая модель рельефа

*L. K. Radchenko<sup>1\*</sup>, P. S. Sharypaev<sup>1</sup>*

## **Review and analysis of methods to create water body dynamics maps**

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,  
Russian Federation  
\* e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

**Abstract.** Mapping the dynamics of changes in the area of water bodies is considered one of the informative tasks of environmental monitoring. The authors considered methods of mapping the dynamics of water bodies. The main techniques of drawing up environmental maps using the data of decoding aerospace images are highlighted, the advantages and disadvantages of these techniques (joint and separate decoding) are considered. The method of mapping the dynamics of changes in water bodies with the use of statistical data is considered – using data obtained from hydrological posts in the territory of the Aral Sea to generate the water surface. This method involves the creation of a digital model of the relief of the seabed and adjacent territories, as well as the subsequent integration of the data obtained from the water surface.

**Keywords:** dynamics maps, aerospace image interpretation, digital elevation model

### ***Введение***

В настоящее время изменение состояния и положения водных объектов ввиду природных и антропогенных воздействий требует тщательного мониторинга с целью выявления, прогнозирования и принятия профилактических мер.

Так в настоящее время есть сведения о глобальных изменениях следующих водных объектов:

– озеро Чад, расположенное в центральной Африке, которое, в период с 1963 по 2001 год потеряло около 95% своего объема. Причины данного явления – колебание количества осадков и чрезмерное для водного баланса данного озера использование воды в сельскохозяйственном секторе. Разумеется, уменьшение объема воды породило межгосударственные проблемы в данном регионе [1];

– озеро Поопо, ныне пересохшее бессточное солёное озеро в Боливии, примерно в 130 км к югу от города Оруро. Основными причинами пересыхания стали: отвод воды из питающих рек, высокая доля испарения. Пересыхание данного озера стало причиной переселения более 500 семей живущих на побережье, гибели миллионов особей рыб и сотен птиц [2].

– и наиболее изученное Аральское море, расположенное на территории нынешнего Узбекистана и Казахстана. Процесс пересыхания начался в шестидесятых годах XX века. Основной причиной данной трагедии стало большой забор воды из питающих рек (Амударьи и Сырдарьи) в целях орошения земель. С 1960 по 2004 годы водоем уменьшился в десять раз, площадь более чем в четыре раза, что привело к опустошению земель, опустыниванию и появлению природных явлений несвойственных данному региону, таких как пыльные бури и множеству пагубных воздействий непосредственно на водоем и местность Приаралье [3, 4].

Цель данной работы – анализ методик создания карт динамики изменения водных объектов.

### ***Методы и материалы***

В данном исследовании используется метод анализа, описываются и анализируются методы картографирования изменения объектов гидрографии (водными объектами) под воздействием природными и антропогенными причинами.

Водный объект – природный или искусственный водоём, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод с характерными формами и признаками водного режима [5].

Процесс отображения на карте развития и перемещения объектов и явлений в пространстве и времени называют картографированием изменения явлений и процессов [6]. Результаты этого картографирования – разновременные карты, на которые отображают различные изменения явлений или анализируя эти карты пользователь получает общую информацию о произошедших изменениях. Эти изменения бывают следующими:

– *медленные изменения* – отображая и деля на большие промежутки времени, при этом изменения могут быть различные по охвату: от незначительных до глобальных.

– *быстрые изменения*, в этом случае применяют анализ серии карт, которые созданы с маленькими промежутками по времени. Примерами могут служить синоптическая или экологическая обстановка

– *периодические и циклические изменения*, отображаются явления, которым присуще фазовые изменения процесса или явления на разное время. Например, сезонные или фенологические явления.

– *эпизодические и катастрофические изменения*, отображается местность до и после наступления явления. Это могут быть произошедшие землетрясения или наводнения.

### ***Приемы визуализации динамики на картах***

Визуализировать изменения явлений можно по-разному, это может быть показ явлений на серии карт на разные даты, пользователь, применяя сравнительный анализ и имея определенные знания об произошедшем явлении получать необходимую информацию и выявлять новые знания (увеличение популяции животных). Еще один прием, получивший массовое распространение, благодаря геоинформационному картографированию, это анимационные карты, которые составляются на основе серии карт, отображающих изменения ситуации. Анимация очень наглядна, потому как перед глазами исследователя динамично показывается как изменяется во времени то или иное явление [7].

Поэтому для получения информации о ходе динамических процессов нужны карты на разные временные периоды. Очевидно, что наличие большого количества карт разных временных промежутков позволяет исследователю получить более детальное представление об изучаемом объекте.

Картографирование изменения процессов считается важным инструментом для изучения процессов, происходящих в разных областях. Разновременные карты позволяют получить представление о том, как эти процессы изменяются в пространстве и времени, что помогает понимать и прогнозировать их дальнейшее развитие [8, 9].

### ***Обзор методов составления карт динамики***

Целью картографирования водных объектов является визуализация динамики изменений акватории в различные временные промежутки с помощью карт, которые максимально наглядно передают информацию обычному пользователю. Важно отметить, что изменение площади водоема напрямую связано с изменением уровня воды, который зависит от постоянно меняющихся факторов водного баланса, таких как погодные условия, расход воды в притоках, обмен воды с грунтовыми водами, водоотбор и сброс сточных вод, а также регулирование воды гидроузлами. В результате воздействия этих факторов, изменения аккумулятивной части баланса проявляются в закономерном изменении средней высоты уровня воды в водоеме [10].

Многие карты, отображающие изменения водных объектов, создаются на основе дешифрирования наборов аэрокосмических снимков. Такие наборы, полученные в разное время и охватывающие определенную территорию, называют разновременными снимками, и их используют для изучения динамики изменений. Одно из преимуществ разновременных снимков по сравнению с картами –

обойти процесс составления карты по определенному снимку, что увеличивает оперативность мониторинга.

Возможный набор снимков может отличаться масштабом, типом съемки и сроками съемки, они могут быть результатом специальных съемок с заданным интервалом времени между ними. Эти снимки приводят к одинаковому состоянию, то есть пытаются свести к минимуму все различие при их получении и называют многовременными [11].

Между тем, количество методов создания карт динамики увеличилось с появлением технологий и средств аэрокосмической съемки и их развития. Использование этих методов позволило повысить качество исследований изменений природных объектов, так как увеличилось качество аэрокосмической продукции. К тому же появились результативные методы обработки и дешифрирования разновременных аэрокосмических материалов, благодаря геоинформационным технологиям.

Методы дешифрирования разновременных снимков состоят из обработки большого количества снимков, выполненных в разное время, также учитываются отдельные изображения из этой серии. Исследование динамики территориальных комплексов и их составляющих с использованием сопоставления разновременных снимков основывается на двух ключевых приемах: *раздельном (последовательном)* и *совместном (одновременном)* дешифрировании снимков.

Раздельное дешифрирование заключается в определении идентичных объектов на соседних разновременных снимках и выявлении изменений. Изображения, которые сопоставляются путем соответствия разных видов изображений или объединением карт и снимков [12]. Плюсы этого метода в том, что не проводится предварительное геометрическое преобразование снимков, и в результате получают качественные оценки изменений. [13].

Совместное дешифрирование – это когда ряд снимков с разных отрезков времени моделируются в одно изображение, используя все правила дешифрирования с получением количественных характеристик или уже готовых карт [14]. Методы совместного дешифрирования состоят из :

- сложение снимков или изображений;
- сложение переходных карт;
- стереоскопические наблюдения.

Для объединения аналоговых снимков, сделанных в разное время, используется оптический проектор, фототрансформатор. Минусы этого метода – возникновение проблем суммирования оптических плотностей двух изображений, которые благодаря современным технологиям можно снизить или совсем избежать [15].

Для сложения (или вычитания) разновременных снимков, они должны быть выполнены в единой системе, то есть единая система съемки и ее условия. Этот метод используется в метеорологических исследованиях.

Часто осуществляется объединение преобразованных изображений, таких как результаты квантования, расчет вегетационного индекса или классификации.

*Суммирование трех разновременных аэрокосмических снимков* дает нам возможность работать с цветным изображением с различными фотограмметрическими характеристиками. Также применяется метод синтеза многоспектрального (двухспектрального) снимка с панхроматическим снимком более высокого пространственного разрешения [16].

Еще один сложный и трудоемкий метод – это классификация объектов по характеристикам временного образа, в данном случае используется серия снимков, рассматриваемых как аналог многоспектрального снимка.

Для метода *сложения переходных карт* используются данные разных типов. Преимущества данного метода – сопоставимость, единая система условных обозначений, единые цензы отбора и обобщения элементов содержания, позволяющие выполнять совместный анализ данных с помощью геоинформационных технологий. [17].

*Последовательное составление разновременных карт* – метод при котором векторное и растровое изображение накладывается друг на друга, в данном случае вектор не изменяется, а растр может не совпадать. Также используются и *статистические данные* при составлении тематических карт. Традиционно статистические данные представлены в виде количественных показателей, таких как численность населения, процентная доля национальностей, увлажненность территорий и т.д. Разумеется, такие данные визуализируются с помощью картограмм, картодиаграмм, способов количественного фона [13]. Но для отображения состояния акватории данные приемы не подходят. Предлагается создание цифровой модели рельефа (ЦМР) – дна Аральского моря и окрестностей и генерация поверхности воды согласно значению показателя уровня воды, полученных с гидрологических постов. Основным источником информации для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) являлись бумажные топографические карты масштаба и карты изолиний рельефа котловины Аральского моря [18].

Одной из трудоемких задач считается приведение глубин и отметок к действующей государственной системе высот, при которой оценка результатов моделирования уровня воды в створах гидрологических постов прямо зависит от точности (вертикальной ошибки) построения ЦМР [19,20].

### ***Заключение***

Данное исследование выполнено с целью выбора методики для мониторинга акватории Аральского моря. В настоящее время основной метод наблюдения основан на использовании данных дешифрирования аэрокосмических снимков, который и планировалось использовать в исследовательской деятельности, связанной с изучением изменений акватории Арала путем картографической визуализации. Но стоит отметить, что по отношению к морю отсутствует стабильность поступления данных, ввиду политической и экономической ситуации в регионе. Поэтому в настоящее время существует проблема актуализации (усовершенствования) методики мониторинга за акваторией Аральского моря.

Решение данной проблемы – создание методики наблюдения за водным объектом с использованием данных дешифрирования и статистических данных,

описанных в данной статье. Статические данные представлены в виде морфометрических характеристик – количественных показателей абсолютного уровня воды в разные временные периоды. С ними можно ознакомиться на сайтах гидрометеорологических служб, таких как Узгидромет и Казгидромет, и на портале знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sucking Dry an African Giant // United Nations University. URL: <https://ourworld.unu.edu/en/sucking-dry-an-african-giant> (дата обращения: 25.04.2023).
2. Bolivia's Lake Poopó Disappears // earthobservatory.nasa. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/87363/bolivias-lake-poopo-disappears> (дата обращения: 25.04.2023).
3. Общие сведения об Аральском море // Исполнительная Дирекция Международного фонда спасения Арала в Республике Казахстан. URL: <https://kazaral.org/aralskoe-more/obshhie-svedeniya/> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Михайлов В. Н. Гидрология : [учебник для вузов] / В. Н. Михайлов, С. А. Добролюбов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017.
5. Кодекс "Водный кодекс Российской Федерации" от 12.04.2006 № 74-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - с изм. и допол. в ред. от 28.04.2023.
6. Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. – М.: Науч. мир. – 2000.– 108 с.
7. Olthof I., Rainville T., Dynamic surface water maps of Canada from 1984 to 2019 Landsat satellite imagery // Remote Sensing of Environment. – 2022. 279. 113121. 10.1016.
8. Campos N., Quesada R., Bolaños A., Bolaños G., Mapping Mountain Landforms and Its Dynamics: Study Cases in Tropical Environments // Applied Sciences. – 2022. – 12. 10843. 10.3390.
9. Никитин В. Н. Разработка технологии создания и обновления динамических карт на примере политико-административных карт Российской Федерации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2010. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-sozdaniya-i-obnovleniya-dinamicheskikh-kart-na-primere-politiko-administrativnyh-kart-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 23.04.2023).
10. Богословский Б. Б. Водный баланс и термина озера и водохранилищ. - Л. : Политех. ин-т, 1979.-71 с.
11. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения Текст : электронный/ учебное пособие/А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Поно-марчук, Е.С. Перминова; Пермский государственный национальный ис-следовательский университет.–Электронные данные.– Пермь, 2020 – URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifr-irovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf>. (дата обращения: 16.04.2022).
12. Пошивайло Я.Г., Утробина Е.С., Колесников А.А., Аэрокосмические методы в тематической картографии: учебное пособие по дисциплине «Аэрокосмические методы в тематической картографии»./ Я.Г. Пошивайло, Е.С. Утробина, А.А. Колесников – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 166 с.
13. Радченко, Л. К. Основы тематической картографии: учебное пособие / Л. К. Радченко, О. Н. Николаева. – Новосибирск: СГУГИТ, 2018. – 103 с.
14. Чадра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы: учебник для вузов. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
15. Сладкопепцев, С. А. Тематическое картографирование (достижения и проблемы): монография/ С.А. Сладкопепцев – М. : МИИГАиК, 2010. С. 130.
16. Nicholas S., Elements of Aerial Photography // Remote Sensing Tutorial. – 2011. – P. 1–10.

17. Использование космических снимков при мониторинге природных и антропогенных процессов Аральского моря / О. В. Тушавина, Е. В. Надежкина, Т. С. Грунтович, Е. С. Надежкина. // Экология урбанизированных территорий. – 2017. – №2. – С. 12–15.

18. Мирмахмудов Эркин Рахимжанович, Тошенов Бекзод Шермамат Угли, Миртолипов Рустамбек Бахтиер Угли Цифровая модель рельефа дна Аральского моря на основе топографических карт // Вопросы науки и образования. 2020. №19 (103). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-model-reliefa-dna-aralskogo-morya-na-osnove-topograficheskikh-kart> (дата обращения: 23.05.2023).

19. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М. Автоматизированная информационная система гидрологического мониторинга и управления данными // Метеорол. и гидрология. – 2017. – № 3. – С. 103–113.

20. Anna, Klikunova & Khoperskov, Alexander. (2021). Creating a digital terrain models.

© Л. К. Радченко, П. С. Шарытаев, 2023