

## Исследование применения космических снимков для определения объектов на поверхности водоемов

*Н.Д. Панасенко, М.А. Ганжур, А.П. Ганжур*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Работа посвящена анализу методов обработки данных спутникового наблюдений с целью определения эмпирических математических данных, необходимых для построения моделей гидродинамики и биологической кинетики мелководных водоемов. Мы рассматриваем возможность использования данных дистанционного зондирования Земли для сбора информации. Целью работы является выявление наилучшего метода реализации для программного инструментария повышение качества усвоения данных спутникового зондирования земли гидробиологических процессов мелководного водоема.

**Ключевые слова:** данные спутникового зондирования, мелководный водоем, математическое моделирование, методы фильтрации, Кирш, Собель, LoG, LBP, оператор, распознавание, контур.

Огромное количество российских и зарубежных ученых занимаются математическим моделированием процессов гидродинамики и биологической кинетики проблем водных экосистем. В настоящее время существует более 4000 экологических моделей разного назначения и уровня сложности. Огромный вклад внесли фундаментальные работы в области создания математических моделей, разработки методов диагностики и прогнозирования изменений водных экосистем такие авторы, как Лотка А.Д. [1], Вольтерра В. [2], Марчук Г.И. [3], Озмидов Р.В. [4], Гаузе Г.Ф. [5], где рассматривались вопросы межвидового взаимодействия. Хатчинсон Д.Э. изучал флору и фауну озер. Митчерлих Э.А. открыл закон действия факторов роста и представил новый взгляд на науку о растениях [6]. Винберг Г.Г. [7] занимался исследованиями, связанными с процессами питания и роста водных организмов. Ворович И.И. и Горстко А.Б. [8] разработали схемы рационального использования водных ресурсов. Одум Г.Т. объяснил экологические структуры энергетическими системами [9]. Абакумов А.И. [10], Бобылева Т.Н. [11], Шушкевич Т.В. [12] активно занимаются разработкой методов оптимизации моделирования водных экосистем. Йёргенсен С.Э., Майер Ю. [13] изучали вопросы лимнологии и экологического моделирования. Фолленвайдер Р.А. исследовал эвтрофикацию озер. И не смотря на свое разнообразие, все существующие модели направлены на адекватное описание функционирования водных экосистем.

В настоящее время для эффективного применения этих и многих других моделей с целью анализа и прогноза весьма остро стоит проблема их оснащения реальными входными данными. В качестве источника таких входных данных в современных условиях целесообразно использовать информацию с искусственных спутников Земли, а также с беспилотных летательных аппаратов и от других дистанционных источников геофизической информации [14]. Они позволяют получать основные параметры сложных природных систем, которыми являются прибрежные и морские системы. К ним относятся параметры облачности, топография поверхности, скорости движения водной среды, распределения температур и соленостей в приповерхностном слое, скорость и направление ветра, концентрация хлорофилла. Важнейшей задачей, которую необходимо решить, является разработка методов и инструментов для использования разнородных спутниковых данных. В связи с этим, целью данной работы является описание методов распознавания и анализа данных космической съемки процессов «цветения» фитопланктонных водорослей.

В последнее десятилетие спутниковые методы анализа и изучения территории приобрели для России большое значение. Основные области применения дистанционного зондирования Земли со спутников (ДЗЗ) – это анализ окружающей среды и растительных сообществ, изучение последствий стихийных бедствий, оценка урожайности сельскохозяйственной продукции [15].

На сегодняшний день запущено огромное количество спутников (Ресурс-П, WorldView, Landsat, KompSat, SPOT, Канопус-В, GeoEye, Radarsat, Ресурс-Ф и многие другие), как российских, так и зарубежных, которые покрывают большую часть планеты. Однако большую проблему представляет получение снимков «безоблачных» снимков и снимков различного масштаба. На практике имеется необходимость применять набор с различных спутников. Однако, что же мы рассматриваем?

Фитопланктон - основа трофической пирамиды биогеоценоза мелководного водоема, главное звено пищевой цепи «фитопланктон-зоопланктон-рыба». С течением рек в водоемы поступают питательные вещества - соединения азота, кремния и фосфора, вызывающие резкий рост популяции фитопланктона, называемый «цветением» [16].

Проблема интенсивного «цветения» воды, научный анализ этих процессов актуальны для самых разных акваторий. Под «цветением» принято понимать значительное развитие одного или двух-трех видов планктона, сопровождающееся значительным ухудшением качества воды. За последние 20-30 лет плотное и часто

---

опасное цветение водорослей значительно увеличилось и распространилось как на пресноводные, так и на морские водоемы. По мнению гидробиологов, это вызвано рядом факторов, связанных с интенсификацией хозяйственной деятельности человека, такими, как изменение климата, внесение в воду большого количества различных минеральных и органических веществ [17].

При анализе информации со спутников, на изображениях видимого диапазона области интенсивного цветения представлены очень наглядно. На рис. 1 представим цветосинтезированные изображения со спутников WorldView [18] и Ресурс-П [19], полученного 10 сентября 2019 г. над акваторией Азовского моря. Масштабные проявления циклонического вихря являются наглядным примером того, как биогенные загрязнители, порожденные интенсивным цветением цианобактерий, распространяются под влиянием динамических и циркулирующих процессов.



Рис. 1. – Распространение примесей:

а) спутник WorldView; б) спутник Ресурс-П

Выявление контурных очертаний играет основную роль в анализе изображений и распознавании образов во время решения задач моделирования изображений. Это точки различия значений яркости изображения в градациях серого и, следовательно, важные характеристики размерности изображения. Эти резкие точки перехода указывают положение объектов на изображении и помогают уменьшить объем данных, сохраняя при этом важную информацию о форме и контуре объектов.

Для дальнейшего анализа выявления изменения в водной среде необходимо рассмотреть несколько алгоритмов, которые позволят выделить контуры изображений. Под краем изображения подразумеваем увеличенный в пространстве промежуток,

падение или резкое изменение значений яркости. В настоящее время доступно большое количество различных алгоритмов, но только некоторые из них являются общими из-за их неспециализированности.

Рассмотрим в наибольшей степени известные алгоритмы: оператор Собеля, оператор Кирша, оператор Лапласа и метод базирующиеся на локальных бинарных шаблонах (Local Binary Patterns (LBP)). Воспользуемся тестовым изображением (рис.2) со спутника WorldView [18], полученное 1 марта 2020 г. над акваторией Азовского моря, для дальнейшего испытания.



Рис. 2. – Исходное изображение для обнаружения контуров

Выделим необходимую область для работы, построим сетку и определим область вручную для сравнения распознавания. Эти сведения позволяют в дальнейшем рассматривать эффективность выбранных методов (рис.3).



Рис. 3. – Определение распознаваемой области

Начнем рассмотрение с алгоритма выделения контуров методом Соболя [20, 21]. Он был введен в 1970 году. Данный оператор состоит из двух матриц (1) и опирается на понятие центральной разницы. Однако вес центральных пикселей удваивается. В

---

операторе Соболя используется весовой коэффициент 2 для средних элементов. Это увеличенное значение используется для уменьшения эффекта сглаживания путем придания большего веса средним точкам.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

При вычислении величины градиента, эти составляющие используются совместно:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

В результате программной реализации получим рисунок 4.

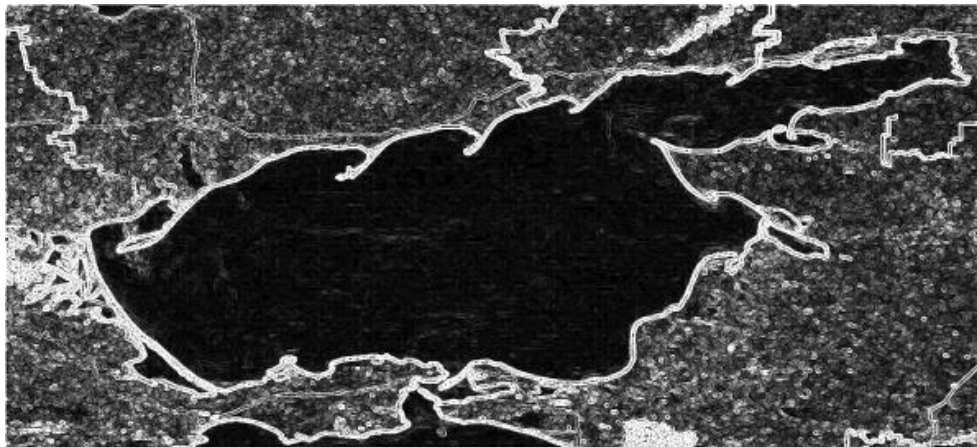


Рис. 4. – Идентификация контуров методом Соболя

Следующим опишем метод Кирша. Разработанный в 1971 году Расселом А. Киршем [20], алгоритм основан на использовании сенсорной матрицы, которая последовательно вращается по ключевым точкам: север, северо-запад, запад, юго-запад, юг, юго-восток, восток и северо-восток [21]:

$$E = \begin{bmatrix} \overbrace{-3 \quad -3 \quad 5}^{k_0} \\ -3 \quad 0 \quad 5 \\ -3 \quad -3 \quad 5 \end{bmatrix}, NE = \begin{bmatrix} \overbrace{-3 \quad 5 \quad 5}^{k_1} \\ -3 \quad 0 \quad 5 \\ -3 \quad -3 \quad -3 \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} \overbrace{5 \quad 5 \quad 5}^{k_2} \\ -3 \quad 0 \quad -3 \\ -3 \quad -3 \quad -3 \end{bmatrix}, NW = \begin{bmatrix} \overbrace{5 \quad 5 \quad -3}^{k_3} \\ 5 \quad 0 \quad -3 \\ -3 \quad -3 \quad -3 \end{bmatrix}, \\ W = \begin{bmatrix} \overbrace{5 \quad -3 \quad -3}^{k_4} \\ 5 \quad 0 \quad -3 \\ 5 \quad -3 \quad -3 \end{bmatrix}, SW = \begin{bmatrix} \overbrace{-3 \quad -3 \quad -3}^{k_5} \\ 5 \quad 0 \quad -3 \\ 5 \quad 5 \quad -3 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} \overbrace{-3 \quad -3 \quad -3}^{k_6} \\ -3 \quad 0 \quad -3 \\ 5 \quad 5 \quad 5 \end{bmatrix}, SE = \begin{bmatrix} \overbrace{-3 \quad -3 \quad 5}^{k_7} \\ -3 \quad 0 \quad 5 \\ -3 \quad 5 \quad 5 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В этом случае предельное значение определяется как максимальное значение, которое можно найти с помощью матрицы, и помогает определить максимальное значение. Из этого можно сделать вывод, что  $k_0$  позволяет выделять вертикальные

границы, а  $k_5$  - диагональные. Также заметно, что последние похожи на первые четыре, но являются их зеркальным отражением по центральной оси используемой матрицы [20, 22].

Результат виден на рисунке 5.

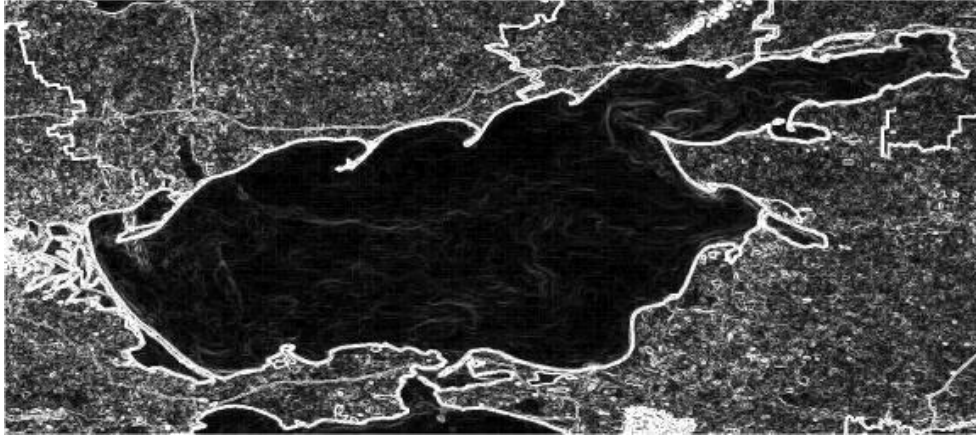


Рис. 5. – Идентификация контуров оператором Кирша

Оператор Лапласа Гаусса (лапласиан гауссиана) (LoG – Laplacian of Gaussian) был предложен в 1982 году и основан на вычислении симметричных круговых производных [20, 21]. Данный алгоритм определяется как:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y^2} \quad (4)$$

Реализация имеет два шага. Фильтром Гаусса производится сглаживание изображения. Затем вычисляется функция Лапласа. Это и является причиной образования двойных контуров. Определение происходит путем нахождения нулей в процессе пересечения двойных границ. Реализация функции LoG обычно осуществляется через следующие матрицы:

$$G_x = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Результат работы данного алгоритма будет следующим (рис. 6)

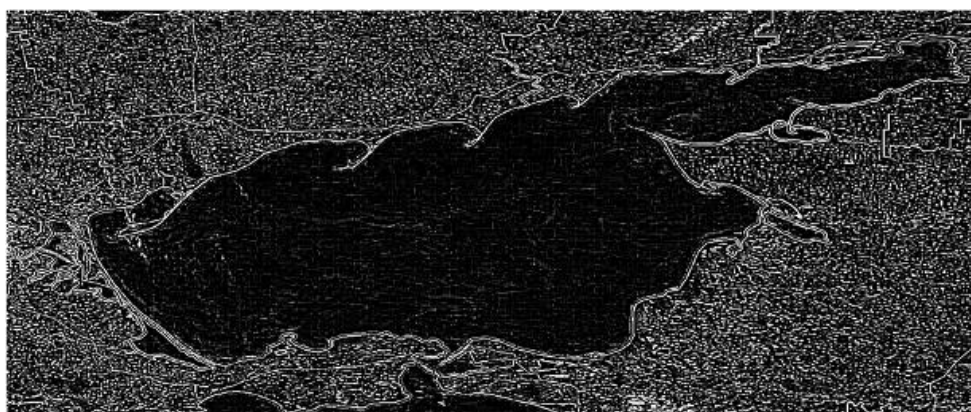


Рис. 6. – Идентификация контуров оператором LoG

В качестве завершающего метода обнаружения границ, рассмотрим предложенный в 1996 году локальный бинарный шаблон (Local Binary Patterns) или LBP оператор [23-26]. Суть оператора заключается в применении порогового преобразования к пикселям изображения, при котором значение яркости сгенерированного пикселя сравнивается с яркостью окружающих пикселей. Результаты сравнения преобразуются в двоичные. В основном случае используется круговая окрестность радиусом в один пиксель:

$$\begin{bmatrix} 5 & 9 & 1 \\ 4 & 4 & 6 \\ 7 & 2 & 3 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

После использования оператора изображение разбивается на прямоугольные участки, где вычисляется гистограмма, и показываем, как часто встречаются пиксели с разной яркостью. Яркость каждого пикселя можно рассчитать по следующей формуле:

$$\text{LBP}(X, Y, W, H) \stackrel{\text{def}}{=} 2^7 \cdot [s_{00} \geq s_{11}] + 2^6 \cdot [s_{10} \geq s_{11}] + 2^5 \cdot [s_{01} \geq s_{11}] + 2^0 \cdot [s_{01} \geq s_{11}] + 2^4 \cdot [s_{21} \geq s_{11}] + 2^1 \cdot [s_{02} \geq s_{11}] + 2^2 \cdot [s_{12} \geq s_{11}] + 2^3 \cdot [s_{22} \geq s_{11}]. \quad (7)$$

Здесь:

$(X, Y)$  – координаты левого верхнего пикселя рассматриваемой области;

$(W, H) = (3w, 3h)$  – размеры области для вычисления;

$s_{i,j} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} p(X + iw + x, Y + jh + y)$  – сумма пикселей по

прямоугольнику;

$p(x, y)$  – значение пикселя изображения;

$$[a \geq b] \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 1, & \text{если } a \geq b \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad [25, 26]$$

Пример реализации изображен на рисунке 7.



Рис. 7. Идентификация контуров LBP оператором

В статье была предпринята попытка изучить, как применяются методы выделения контуров объектов, основанных на разрывах яркости полутонового изображения. Проведено исследование относительной эффективности каждого из приведенных в статье методов.

Результаты работы свидетельствуют о наглядности и актуальности использования высокотехнологичных методов фильтрации изображений ДЗЗ. Рассмотрены современные методы выделения контуров объектов, основанных на разрывах яркости полутонового изображения, применяемые в реальном или близком к нему времени, и кратко описаны их алгоритмы. Исследование каждого из приведенных в статье методов осуществлялось при помощи программного средства С#.

На основании проведенных исследований, делаем вывод, что метод LBP можно эффективно использовать для распознавания объектов, состоящих из криволинейных контуров, обеспечивающих высочайшую резкость краев и высокую детализацию. Другой метод может быть лучше, но при других условиях. В ходе дальнейшей работы планируется вводить улучшение в программную реализацию.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-37-90070 «Математические модели и численные методы для анализа и прогноза состояния прибрежных систем на основе данных дистанционного зондирования».*



## Литература

1. Lotka A.J. Contribution to the energetics of evolution // Proc. Natl. Acad. Sci. 1922. №. 8. pp. 147-150. DOI:10.1073/pnas.8.6.147
2. Volterra V. Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together // Rapp. P. – V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 1928. Vol. 3. pp. 3-51. DOI:10.1093/icesjms/3.1.3
3. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. // Москва: Наука, 1988. С. 304.
4. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане. – Л. Гидрометеиздат, 1986. С. 278
5. Gause G.F. Experimental studies on the struggle for existence: 1. Mixed population of two species of yeast // Journal of Experimental Biology. 1932. V. 9. pp. 389-402.
6. Mitscherlich E.A. Das Gesert des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags // Landw. Jahrb. 1909. 595 p.
7. Винберг Г.Г. Некоторые итоги практики применения продукционно-гидробиологических методов. // Продукция популяций и сообществ водных организмов и методы ее изучения. – Свердловск: Урал. центр АН СССР, 1985, С. 3-18.
8. Ворович И.И., Горелов А.С., Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Жданов Ю.А., Сурков В.Ю, Эпштейн Л.В. Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря: математические модели / под ред. Воровича И. И. - Москва: Наука, 1981. С. 360.
9. Odum H.T. System Ecology. New York: Wiley, 1983. 644 p.
10. Абакумов А.И. Признаки стабильности водных экосистем в математических моделях // Труды Института системного анализа РАН. Системный анализ проблемы устойчивого развития. Москва: ИСА РАН. 2010, Т. 54, С. 49 – 60.
11. Бобылева Т.Н. Моделирование очистки сточных вод на вертикальных фильтрах // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6643](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6643)
12. Шушкевич Т.В. Использование метамоделей в качестве основы для описания пространственных данных // Инженерный вестник Дона, 2020, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6660](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6660)
13. Jorgensen S.E., Mejer H., Firiis M. Examination of a lake model // Ecological Modelling. 1978. Vol. 4. pp. 253-278.
14. Панасенко Н.Д., Сухинов А.И. Использование многоканальных космических снимков для распознавания процессов "цветения" в мелководных водоемах на примере

азовского моря // Актуальные вопросы и инновационные технологии в развитии географических наук. Сборник трудов Всероссийской научной конференции. 2020. С. 615-618.

15. Кашкин, В.Б.; Сухинин, А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учебное пособие // Москва: Логос, 2001. С. 264.

16. Leontyev A.L., Nikitina A.V., Chumak M.I. Application of assimilation and filtration methods for satellite water sensing data for plankton population evolution processes predictive modeling // Computational Mathematics and Information Technologies. Electronic journal. 2020. Т. 1. № 1. pp. 1-11.

17. Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Строчкова А.Я., Шендрик В.Д. Спутниковый мониторинг цветения вредоносных водорослей на Рыбинском водохранилище // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, Т. 11. № 3. 54-72 с.

18. The official website of NASA Worldview, [worldview.earthdata.nasa.gov](http://worldview.earthdata.nasa.gov)

19. The official website of Roscosmos Geoportal, [gptl.ru](http://gptl.ru)

20. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2012. С. 1081.

21. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – Москва: Мир, 1982. С. 716.

22. Kirsch R. Computer determination of the constituent structure of biological images // Computers and Biomedical Research, 1971, Vol. 4, № 3, pp. 315–328. DOI: 10.1016 / 0010-4809 (71) 90034-6

23. Маенпаа, Т. The local binary pattern approach to texture analysis – Extensions and Applications. – Oulu University Press, 2003. P.80.

24. Петрук В.И., Самородов А.В., Спиридонов И.Н. Применение локальных бинарных шаблонов к решению задачи распознавания лиц. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2011. № 5. С. 58-63.

25. Sukhinov A. A., Ostrobrod G. B: Efficient Face Detection on Epiphany Multicore Processor. – Computational Mathematics and Information Technologies. Electronic journal. 2017. Т. 1. № 1. pp. 1–15.

26. Panasenko N.D., Ganzhur M., Dyachenko N., Smirnova O., Poluyan A. Recognition of “flowering” processes on the base of remote sensing data in shallow water ponds on the example

---



of the Azov Sea // E3S Web of Conferences 175, 12013 (2020)  
DOI: 10.1051/e3sconf/202017512013

### References

1. Lotka A.J. Contribution to the energetics of evolution. Proc. Natl. Acad. Sci. 1922. №. 8. pp. 147-150. DOI:10.1073/pnas.8.6.147
2. Volterra V. Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together. Rapp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 1928. Vol. 3. pp. 3-51. DOI:10.1093/icesjms/3.1.3
3. Marchuk G.I., Sarkisyan A.S. Matematicheskoe modelirovanie cirkulyacii okeana [Mathematical modeling of ocean circulation]. Moskva: Nauka, 1988. 304 p.
4. Ozmidov R. V. Diffuziya primesej v okeane [Diffusion of impurities in the ocean]. L. Hydrometeoizdat, 1986. 278 p.
5. Gause G.F. Experimental studies on the struggle for existence: 1. Mixed population of two species of yeast. Journal of Experimental Biology, 1932. V. 9. pp. 389-402.
6. Mitscherlich E.A. Das Gesert des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags. Landw. Jahrb. 1909. 595 p.
7. Vinberg G.G. Produkciya populyacij i soobshchestv vodnyh organizmov i metody ee izucheniya. Sverdlovsk: Ural center of the USSR Academy of Sciences, 1985, pp. 3-18.
8. Vorovich I.I., Gorelov A.S., Gorstko A.B., Dombrovsky Yu.A., Zhdanov Yu.A., Surkov F.A., Epstein L.V. Racional`noe ispol`zovanie vodny`x resursov bassejna Azovskogo morya: matematicheskie modeli [Rational use of water resources of the Azov sea basin: mathematical models]. Izd. Vorovich I.I. Moskva: Nauka, 1981. 360 p.
9. Odum H.T. System Ecology. New York: Wiley, 1983. 644 p.
10. Abakumov A.I. Trudy Instituta sistemnogo analiza RAN. Sistemnyj analiz problemy ustojchivogo razvitiya. Moskva: ISA RAS, 2010, Vol. 54, pp. 49-60.
11. Bobyleva T.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6643](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6643)
12. Shushkevich T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6660](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6660)
13. Jorgensen S.E., Mejer H., Firiis M. Ecological Modelling. 1978. Vol. 4. pp. 253-278.

14. Panasenko N.D., Sukhinov A.I. Aktual'nye voprosy i innovacionnye tekhnologii v razvitii geograficheskikh nauk. Sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii. 2020, pp. 615-618.
15. Kashnin V.B., Sukhinin A.I. Remote sensing of the Earth from space. Digital Image Processing: A Tutorial. Moscow: Logos, 2001. P. 264.
16. Leontyev A.L., Nikitina A.V., Chumak M.I. Computational Mathematics and Information Technologies. Electronic journal. 2020. T. 1. № 1. pp. 1-11.
17. Lavrova O.Yu., Soloviev D.M., Strochkov A.Ya., Shendrik V.D. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2014, Vol. 11, № 3, pp. 54-72.
18. The official website of NASA Worldview, [worldview.earthdata.nasa.gov](http://worldview.earthdata.nasa.gov)
19. The official website of Roscosmos Geoportal, [gptl.ru](http://gptl.ru)
20. Gonzalez R.S. Woodsue R.E. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. Moskva: Technosphere, 2012. P. 1081.
21. Pret U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. Moskva: Mir, 1982. P.480
22. Kirsch R. Computers and Biomedical Research, 1971, Vol. 4, No. 3, pp. 315–328. DOI: 10.1016 / 0010-4809 (71) 90034-6
23. Maenpaa, T. Extensions and Applications. Oulu University Press, 2003. P. 80.
24. Petruk V.I., Samorodov A.V., Spiridonov I.N. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya: Priborostroenie 2011. № 5. pp. 58-63.
25. Sukhinov A. A., Ostrobrod G. B: Electronic journal. 1/2017. pp. 1–15.
26. Panasenko N.D., Ganzhur M., Dyachenko N., Smirnova O., Poluyan A. Recognition of “flowering” processes on the base of remote sensing data in shallow water ponds on the example of the Azov Sea. E3S Web of Conferences 175, 12013 (2020) DOI: 10.1051/e3sconf/202017512013