

Охотского моря. Пространственное распределение интегральной массы хлорофилла, представленное на рисунке 2, демонстрирует аналогичное превосходство объемов репродукции при низких температурных условиях. Это подтверждается результатами мониторинга гидробионтов, изложенными в [3, с. 203-209].

*Работа поддержана грантом Российской фонда фундаментальных исследований № 18-01-00213.*

*Работа поддержана грантом Комплексной программы фундаментальных научных исследований «Дальний Восток» (проект № 18-5-051).*

### **Библиографический список**

1. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 286 с.
2. Svetlana Ya Pak, Alexander I. Abakumov. Mapping of Model Estimates of Phytoplankton Biomass from Remote Sensing Data // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2019. Pp 73–79.
3. Мониторинг состояния окружающей среды на Западно-Камчатском лицензионном участке в 2015-2016 гг.: информ. бюл. Красноярск - Петропавловск-Камчатский, 2015. 376 с.
4. Лучин В.А., Круц А.А. Характеристики ядер водных масс Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 204–218.

### **УДК 528.88**

#### **Оценка качества воды в озёрах Ямала по спутниковым данным**

**A.A. Перевозчикова<sup>1</sup>, Л.А. Хворова,<sup>1</sup> Н.М. Ковалевская<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>АлтГУ, г. Барнаул; <sup>2</sup>ИВЭП СО РАН, г. Барнаул

Потепление климата и таяние многолетнемерзлых грунтов ведут к возникновению и усилению таких деструктивных и опасных процессов, как заболачивание, термокарстовые просадки (термокарст – процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда), формирование и исчезновение озёр.

Снижение прочности многолетнемёрзлых пород сопровождается ростом экономических и экологических ущербов на предприятиях отечественного нефтегазового комплекса, так как большинство газовых месторождений и значительная часть месторождений нефти в Западной Сибири располагаются в зоне вечной мерзлоты.

Ввиду труднодоступности и высокой степени заболоченности территории в северных районах изучение термокарстовых озёр с применением методов дистанционного зондирования поверхности Земли является актуальной и практически значимой проблемой [1–6].

На полуострове Ямал сосредоточено более пятидесяти тысяч лимнологических вод. И одной из научных задач, связанной с их изучением, является оценка качества воды и классификация озёр, расположенных в районе Бованенково.

Цель исследования: применение ДЗЗ для оценки качества воды и классификации озёр полуострова Ямал (района Бованенково).

Для достижения цели в работе рассмотрены следующие задачи:

1) изучение, обзор и анализ литературы по дистанционному зондированию Земли из космоса;

2) сбор, тематическая обработка и интерпретация спутниковых данных на основе космоснимков подстилающей поверхности спутника Sentinel-2 и Landsat;

3) обработка снимков и проведение классификации в программе ERDAS IMAGINE 2010;

4) оценка качества воды в озёрах Ямала по данным семейства спутников Sentinel-2 и Landsat.

Для реализации цели и задач исследования в работе были выделены следующие этапы.

**1 этап** – обработка космических снимков семейства спутников Sentinel-2 и Landsat и их маскирование.

На данном этапе исследования была использована база данных спутниковых изображений «Озёра Ямала», которая содержит описание двух категорий озёр: расположенных на возвышенностях (738 озёр) и расположенных в низменностях (192 озера).

Согласно существующей классификации озёр разработана база лимнологических вод (рис. 1).

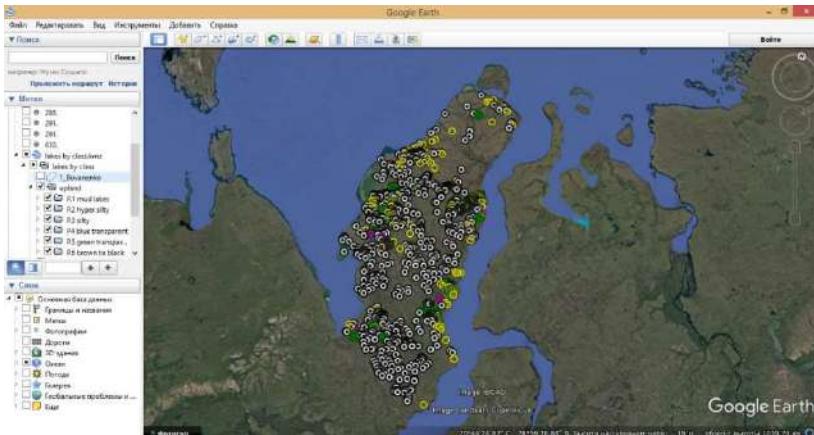


Рисунок 1 – База лимнологических вод

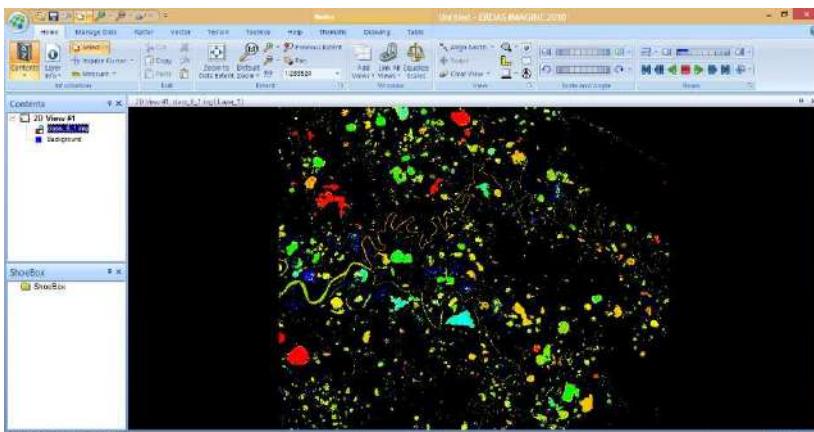


Рисунок 2 – Классификация озёр района Бованенково

Оценка параметров качества воды осуществлялась на основе следующих методов обработки спутниковых изображений: параметрической классификации с обучением и спектральных водных индексов, в частности, нормализованного водного индекса (Normalized Difference Water Index) (рис. 2).

Оценка качества воды озёр региона Бованенково осуществлялась по следующим параметрам: общего количества растворённых и взвешенных веществ (total suspended matter, TSM); концентраций растворенной органики или желтого вещества (yellow matter, YM); концентраций хлорофилла «а» (chlorophyll-a, Chl-a).

**2 этап** исследования – интерпретация результатов: определение класса, к которому относится озеро на основе данных дистанционного зондирования и характеристик качества воды (табл.1).

Таблица 1 – Интерпретация результатов

Номер ДЗ-класса	Описание
0	Зеленая непрозрачная вода
1	Надводная растительность
2	Серая непрозрачная вода
3	Мутная илистая вода
4	Сверх мутная илистая вода
5	Мутная вода с глиной

В результате проведенных исследований получили, что:

**I. Применяемая классификация эффективно выделяет:**

- а) самую мутную воду (класс 5-4, самый высокий уровень TSM);
- б) наиболее прозрачную воду с зарождающейся растительностью (класс 1, самый низкий уровень TSM) от всего остального (требуется дальнейшее исследование).

Глинистая масса, топкий ил и мутная илистая вода – самые первые термокарстовые явления; прозрачная вода класса 1 пока еще не тронута термокарстом. Таким образом, применяемая классификация отвечает минимальным требованиям для моделирования начальной стадии развития термокарста, в том числе, и на основе использования архивных многоспектральных изображений.

Следующий шаг исследования заключается в пространственном распределении термокарста и прогнозировании его развития. Данное обстоятельство крайне важно из-за опасностей, которые термокарст представляет для инфраструктуры Ямала.

Необходимо отметить, что применяемая классификация не позволяет отличить более поздние и менее мутные стадии (с промежуточными уровнями TSM) развития термокарстовых озёр. Это, вероятно, вызвано тем, что для классификации использовались снимки спутника Landsat среднего разрешения, что недостаточно для идентификации существующих различий изучаемых классов.

**II. Использованное маскирование** позволяет эффективно отличить водную поверхность от земной поверхности (включая населенные пункты, которые обычно распознаются текстурными методами, требующими больших вычислительных затрат).

Возможно косвенное различие параметров качества воды (YM, Chl-a), поскольку рассматриваемые параметры коррелируют с TSM, в частности, высокие значения показателя поглощения света жёлтым веществом в классе 1.

В заключение отметим, что данная работа выполнена совместно с ИВЭП СО РАН (г. Барнаул) и является продолжением многочисленных актуальных междисциплинарных исследований [7–12], выполняемых в рамках научного сотрудничества АлтГУ и ИВЭП.

### **Библиографический список**

1. Романов А.Н., Хвостов И.В., Уланов П.Н., Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Плуталова Т.Г., Кобелев В.О., Печкин А.С., Синицкий А.И., Сысоева Т.Г., Хворова Л.А. Космический мониторинг арктических и субарктических территорий Ямalo-Ненецкого автономного округа. Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс», 2018. 120 с.
2. Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Павлов В.Е., Мышляков С.Г., Скачкова А.С., Хворова Л.А., Колисниченко Н.А. Исследование динамики параметров качества воды в Обской губе и прилежащем Карском шельфе на основе многолетних спутниковых наблюдений // В сб. трудов конф.: Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2017). 2017. С. 196–201.
3. Романов А.Н., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А., Сысоева Т.Г., Суроватов К.Ю., Шаповалов С.В. Анализ пространственных образов растительного покрова полуострова Ямал на основе данных дистанционного зондирования // Научный вестник ЯНАО. Экология Арктики. Салехард, 2016. № 4 (93). С. 43–50.
4. Kovalevskaya N.M., Kirillov V.V., Pavlov V.E., Myshlyakov S.G., Skachkova A.S., Khvorova L.A., Kolisnichenko N.A. Investigation of Water Quality Parameters Dynamics in the Gulf of Ob and the Adjacent Kara Sea Shelf on the Basis of Multi-year Satellite Observations // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. Vol. 2033. P. 196–201.
5. Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Павлов В.Е., Котовщикова А.В., Семчуков А.Н., Мышляков С.Г., Скачкова А.С., Печкин А.С., Скороспехова Т.В., Хворова Л.А., Колисниченко Н.А. Исследование динамики параметров качества воды в заливах Карского моря и прилежащем Карском шельфе на основе архивной и оперативной спутниковой информации // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23, № 4. С. 65–82.
6. Колисниченко Н.А., Хворова Л.А., Ковалевская Н.М. Математическая обработка спутниковых данных для изучения распространенности загрязняющих веществ в водах Обской губы // Информация и образование: границы коммуникаций. 2018. №10 (18). С. 85–86.
7. Сысоева Т.Г., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А. Анализ состояния растительности, как показателя изменения климата, на основе индекса NDVI и спутниковых данных // Сб. трудов Всеросс. конф по математике (МАК-2016). 2016. С. 224–227.

8. Сысоева Т.Г., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А. Оценка биологической продуктивности ландшафтов с использованием дистанционных методов зондирования Земли // В сб.: Политехническая неделя в Санкт-Петербурге – материалы научного форума с международным участием. 2016. С. 323–326.

9. Ковалевская Н.М., Колисниченко Н.А., Хворова Л.А. Анализ пространственного распределения и динамики количества фитопланктона Обской губы на основе данных ДЗ3 // В сб. МАК: Математики – Алтайскому краю. Сборник трудов всероссийской конференции по математике. 2017. С. 303–306.

10. Ковалевская Н.М., Колисниченко Н.А., Хворова Л.А. Анализ пространственного распределения и динамики количества фитопланктона Обской губы на основе данных ДЗ3 // Сборник трудов всероссийской конференции по математике (МАК-2017). 2017. С. 303–306.

11. Ковалевская Н.М., Колисниченко Н.А., Хворова Л.А. Анализ пространственного распределения и динамики количества фитопланктона Обской губы на основе данных ДЗ3 // Сборник трудов всероссийской конференции по математике (МАК-2017). 2017. С. 303–306.

12. Сысоева Т.Г., Ковалевская Н.М., Хворова Л.А. Анализ состояния растительности на основе индекса NDVI и данных спутника LANDSAT 8 // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. 2016. № 13. С. 149–152.

## УДК 51-77

### **Структурное эконометрическое моделирование драйверов динамики пожаров и изменений сельскохозяйственного землепользования в Республике Бурятия**

**E.В. Понькина<sup>1</sup>, А.С. Маничева<sup>1</sup>, А.В. Прищепов<sup>2,3</sup>,  
О.А. Екимовская<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>АГУ, г. Барнаул; <sup>2</sup>Университет Копенгагена, г. Копенгаген;

<sup>3</sup>Институт степей УрО РАН, г. Оренбург;

<sup>4</sup>Байкальский институт природопользования, г. Улан-Удэ

Одним из значимых индикаторов динамики сельскохозяйственного землепользования является площадь используемой в производстве земли. Сокращение посевых площадей – важное свидетельство снижения агрогенной нагрузки на территорию и смены формы землепользования. По данным РОССТАТ за период 1990-2017 гг. средняя пятилетняя площадь посева в Республике Бурятия сократилась в 5,5 раз, общее поголовье скота сократилось в 1,5 раза – КРС и в 4,4 раза – овец и коз.