

Библиографический список

1. Ратнер В.А. Математическая популяционная генетика (элементарный курс). – Новосибирск: Наука, 1977.
2. Жданова О.Л., Колбина Е.А., Фрисман Е.Я. Проблемы регулярного поведения и детерминированного хаоса в математической модели эволюции менделевской лимитированной популяции // Дальневосточный математический журнал. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – Т. 4, № 2. – С. 289–303.
3. Жданова О.Л., Фрисман Е.Я. Динамические режимы в модели однолокусного плотностно-зависимого отбора // Генетика. 2005. – Т. 41, №11. – С. 1575–1584.
4. Жданова О.Л., Колбина Е.А., Фрисман Е.Я. Влияние промысла на генетическое разнообразие и характер динамического поведения менделевской лимитированной популяции // ДАН. 2007. – Т. 412, №4. – С. 564–567.
5. Фрисман Е.Я., Жданова О.Л., Колбина Е.А. Влияние промысла на генетическое разнообразие и характер динамического поведения менделевской лимитированной популяции // Генетика. – М.: Наука, 2010. – Т. 46, № 2. – С. 272–281.

УДК 528.8, 556.55

Разработка классификатора термокарстовых озер Центрального Ямала на основе снимков спутника Sentinel-2

А.В. Кульшин, Л.А. Хворова
АлтГУ, г. Барнаул

В статье рассматриваются задачи разработки классификатора термокарстовых озер Центрального Ямала на основе многоспектральной спутниковой информации. Для эффективного решения поставленной задачи сформирована база данных, содержащая космические снимки исследуемой территории. Классификатор, обученный на снимках спутника Sentinel-2, будет являться эффективным инструментом для поиска «индикаторов» интенсивного газовыделения, что позволит вовремя среагировать экологами на различном рода экологические проблемы.

Ключевые слова: *Центральный Ямал, Бованенково, дистанционное зондирование Земли, термокарстовые озера,*

взвешенное вещество, SNAP, ERDAS Imagine, классификация, классификатор.

Проводимое авторами исследование посвящено разработке классификатора термокарстовых озер Центрального Ямала в соответствии с концентрацией взвешенного вещества при помощи спутниковых снимков Sentinel-2 за 2016-2020 года.

В настоящее время стало возможно выполнять исследования на местности с внедрением дистанционного зондирования Земли не только с точки зрения изменения площадей термокарстовых озер, но и с точки зрения определения характеристик качества воды, как дополнительных показателей активизации термокарстовых процессов и деградации мерзлоты [1, 2]. Термокарстовые озера, образующиеся в результате вытаивания подземных льдов различного генезиса, являются наиболее пригодными геоморфологическими индикаторами криогенных изменений поверхности в условиях потепления.

Термокарст – процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаивания подземного льда, просадки земной поверхности, образующиеся при протаивании льдистых мёрзлых пород и вытаивании подземного льда. В результате образуются воронки, провалы, аласы, золь, внешне напоминающие карстовые формы рельефа.

Классификация – один из этапов перехода от исходного изображения к растровой тематической карте. Поэтому иногда классификацию изображений называют сегментацией, хотя это не совсем верно. Процедура сегментации должна обеспечивать разбиение изображения на связные области (сегменты), каждый из которых соответствует определенному классу. Задача классификации заключается в разбиении признакового пространства на области, соответствующие различным тематическим категориям (классам) объектов земной поверхности. То есть по каждому измерению классам будут сопоставлены определенные интервалы значений, один или несколько для каждого класса. Такая задача относится к методам распознавания образов, основанным на принципе кластеризации [3].

Классификацию по максимуму правдоподобия иначе называют байесовским решающим правилом. В этом подходе используется вероятность появления каждого класса Ω_k для точки с данным набором значений признака x_i , которая определяется по известной формуле Байеса:

$$p\left(\frac{\Omega_k}{x_i}\right) = \frac{P(\Omega_k)p(x_i/\Omega_k)}{\sum_{j=1}^k P(\Omega_j)p(x_i/\Omega_j)}$$

В целом метод максимума правдоподобия наиболее универсален. Единственная проблема состоит в том, что далеко не всегда сигнатуры выделяемых классов могут быть аппроксимированы нормальным распределением.

Для разработки классификатора термокарстовых озер Центрального Ямала был сформирован архив спутниковых снимков Sentinel-2 за 2016-2020 гг., включающий в себя снимки исследуемой территории, а также полевые данные (концентрация взвешенного вещества).

В процессе исследования было предложено определять класс изучаемого водного объекта по уровню концентрации взвешенного вещества. На основе полученных со спутников данных было выделено 4 типа озер:

250 < TSM – озера с крайне мутной и глинистой водой,

100 < TSM <= 250 – озера смутной водой,

20 < TSM <= 100 – озера со слегка мутной водой,

TSM <= 20 – озера с прозрачной водой.

Используя данную классификацию, по изученным архивным данным спутников Sentinel-2 изучаемой территории, была проведена параметрическая классификация термокарстовых озер Центрального Ямала в программной среде ERDAS Imagine при помощи процедуры «Supervised Classification» модуля «Raster – Supervised». Предварительно все снимки прошли атмосферную коррекцию через модуль Sen2Cor программы SNAP.

Параметрическая классификация была проведена на множестве обучающих наборов: 3 набора с 66% обучающих объектов, 2 набора – с 50% и 3 набора – с 33%. Всего в разработке классификатора участвовало 36 водных объектов.

Заключение. В результате проделанной работы, на основе многоспектральных данных спутника Sentinel-2 по уровню концентрации взвешенного вещества был получен классификатор термокарстовых озер Центрального Ямала, обладающий точностью классификации, больше 75% – требование ИВЭП, в процессе исследования удалось достичь результата в 83%.

Кроме того, проведенные на основе архивной многоспектральной спутниковой информации исследования показали:

1. Отсутствие значительных корреляций между площадями озер и изменением температурного режима и уровнем осадков.

2. Циклические изменения классов термокарстовых озер в исследуемом регионе: наличие: илистых озер с гипер-илистыми циклами, умеренно-илистых озер с илистыми циклами и безилистых озер с илистыми циклами.

Библиографический список

1. Ефанов А.В., Кульшин А.В. Оценка качества воды в озёрах Ямала по спутниковым данным // Материалы научно-образовательного консорциума «Вернадский»: Региональная площадка «Вернадский – Алтайский край». Электронный ресурс: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020_2/data/vernadsky.htm

2. Ефанов, Кульшин. Оценка качества воды на тестовых участках Обской губы (Тамбей-Сабетта, морской путь) // Сб. трудов XXII городской научно-практич. конф. молодых ученых «Молодежь – Барнаул», Барнаул, 2–27 ноября 2020 г.

3. Дрост Г.И., Тешебаева К., Ловцкая О.В., Балыкин Д.Н., Хворова Л.А., Ковалевская Н.М., Кульшин А.В. Мониторинг динамики озер Центрального Ямала на основе многоспектральной спутниковой информации // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 18–24 апреля 2021 г. Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2021, С. 461–462, DOI:10.29006/978-5-6045110-3-9.

4. Ефанов А.В., Кириллов В.В, Ковалевская Н.М., Кульшин А.В., Ловцкая О.В., Хворова Л.А. Использование многоспектральной спутниковой информации для мониторинга динамики озер и оценки лимнологических характеристик водных экосистем Центрального Ямала // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии, 2021, Т. 5, №1.

5. Efanov A.V., Kovalevskaya N.M., Kulshin A.V., Khvorova L.A. Monitoring of lake dynamics and assessment of limnological characteristics of aquatic ecosystems of the Central Yamal // Journal of Physics: Conference Series (JPCS), 2021.