

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КАРЦИНОМЫ: АНАЛИЗ СТРУКТУР В ТЕРМИНАХ «СЛОЖНОСТЬ–ЭНТРОПИЯ»

Красняков И.В., Брацун Д.А.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева 11, krasnyakov\_ivan@mail.ru

За последние несколько лет в онкологии произошёл переход от рассмотрения опухоли как однородного скопления раковых клеток к рассмотрению опухоли как гетерогенного образования, в котором раковые клетки дифференцируются по типу и при взаимодействии друг с другом и своим микроокружением могут образовывать структурные формы. Всё это подтверждается при клинических исследованиях [1,2], в которых выделяют различные морфологические структуры злокачественных новообразований.

Нами предложена и разработана математическая модель роста гетерогенной карциномы с учётом динамического изменения фенотипа клеток. В ходе численных экспериментов были воспроизведены как многоклеточные структуры инвазивной карциномы [3], так и структуры, состоящие из небольшого числа клеток [4]. Важным результатом работы является карта злокачественных структур, построенная в области параметров интеркаляции раковых и здоровых клеток. Затем мы проводим классификацию хорошо дифференцируемых структур (солидная, папиллярная, криброзная) в терминах «Сложность–Энтропия». При анализе мы используем шеарлет–преобразование [5] для построения функции распределения вероятности и вычисления мер сложности и энтропии. В ходе работы получена количественная оценка различия многоклеточных структур инвазивной карциномы.

## Литература

1. Sinn H.P., Kreipe H. A brief overview of the WHO classification of breast tumors, 4th edition, focusing on issues and updates from the 3rd edition // *Breast Care* **Vol. 8**, 2013. P. 149–154.
2. Геращенко Т.С., Завьялова М.В., Денисов Е.В., и др. Внутриопухолевая морфологическая гетерогенность рака молочной железы как фактор, отражающий метастатический потенциал и чувствительность опухоли к химиотерапии // *Acta Naturae* **Vol. 9**, No. 1, 2017. P. 60–72.
3. Bratsun D.A., Krasnyakov I.V., Pismen L.M. Biomechanical modeling of invasive breast carcinoma under a dynamic change in cell phenotype: collective migration of large groups of cells // *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology* **Vol. 19**, 2019. P. 723–743.
4. Красняков И.В., Брацун Д.А. Математическое моделирование формирования малоклеточных групп инвазивной карциномы неспецифического типа // *Российский журнал биомеханики* **том 25**, № 2, 2021 P. 173–185.
5. Brazhe A. Shearlet-based measures of entropy and complexity for two-dimensional patterns // *Physical Review E*. **Vol. 97**, 2018. P. 061301.