

---

FIRST PUBLISHED: October 2011

# THE COMPLEX SYSTEMS

SLOZHNYE SISTEMY

Interdisciplinary Scientific Journal

---

April – June

№ 2 (27), 2018

---

**Editor in Chief** Ivanov O.P. (MSU, Moscow, Russia)  
**Deputy chief Editor** Knyazeva H.N. (NRU HSE, Moscow, Russia)  
**Assistant Editor** Vinnik M.A. (MSU, Moscow, Russia)

### *Editorial council*

**Bogolepova I.N.** (Research Center of Neurology RAMS, Moscow, Russia);  
**Gershenson C.** (National Autonomous University of Mexico, Mexico);  
**Gusev N.B.** (MSU, Moscow, Russia);  
**Erdi P.** (Center for Complex Systems Studies of Kalamazoo College, Michigan, United States);  
**Igamberdiev A.U.** (Memorial University of Newfoundland, Canada);  
**Mainzer K.** (Munich Center for Technology in Society, Munich, Germany);  
**Malinetskii G.G.** (Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia);  
**Melikhov I.V.** (MSU, Moscow, Russia);  
**Panin V.E.** (Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, Russia);  
**Pospelov I.G.** (Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);  
**Hofkirchner W.** (Bertalanffy Center for the Study of Systems Science (BCSSS), Vienna, Austria)

### *Editorial board*

**Belousov L.V.** (MSU, Moscow, Russia); **Bykov V.I.** (R.C.T.U., Moscow, Russia); **Gladkov S.O.** (Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);  
**Golichenkov V.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Doronin Yu.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Klige R.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Kurkina E.S.** (MSU, Moscow, Russia); **Magnitskii N.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Melekhova O.P.** (MSU, Moscow, Russia); **Orynbassarov A.S.** (SPA "Innovative nanotechnology of Kazakhstan", Astana, Kazakhstan); **Potapov A.A.** (Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics (IRE), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); **Riznichenko G.Yu.** (MSU, Moscow, Russia); **Safyanov G.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Surikov V.V.** (MSU, Moscow, Russia); **Chernavskii D.S.** (Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS), Moscow, Russia); **Chulichkov A.I.** (MSU, Moscow, Russia); **Schaniavskii A.A.** (State Center Air Transport Flight Safety, Khimki, Moscow region, Russia); **Kirilishina E.M.** (MSU, Moscow, Russia; technical editor)

---

Publishing company: LIC "PRIYATNAYA COMPANIYA", 2010

Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Certificate of registration of mass communication media ПИ No. ФС77-42729 as of November 25, 2010

**ISSN No. 2220-8569**

---

Sent for the press 15.06.2018. Format 60×88 1/8. Circulation 100. Publishing company: LIC "PRIYATNAYA COMPANIYA" Address of Editorial office: Stromynka Street, 19/2, Moscow, 107076, Russia. Postal address: Maria A. Vinnik, p/b 41, Moscow, 105318, Russia Tel./Fax: +7(495) 978 62 99 <http://www.slozhnye-sistemy.ru>; E-mail: [mail@vinnik.ru](mailto:mail@vinnik.ru) Subscription index in the integrated catalog "Press of Russia" 88852

**Frequency: Quarterly**

---

Typography: LLC "Agromashpro", 5/2, alleya Zhemchugovoy, Moscow, 111402, Russia,  
<http://www.agromashpro.ru>

---

© LIC "PRIYATNAYA COMPANIYA", 2018

© Group of authors, 2018

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Фундаментальные исследования

---

- Боголепова И.Н., Малофеева Л.И.* Постнатальное развитие мозга человека. 4
- Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А.* Морфодинамика системы подводного каньона Константиновский (Чёрное море). 14
- 

### Новые идеи, подходы

---

- Кузьмин С.Б.* Геоэкологические районы Иркутской области с опасными геоморфологическими процессами как сложные геоморфосистемы для оценки риска природопользования. 30
- 

### Дискуссионные аспекты

---

- Смирнов В.Л.* Масштабные коэффициенты для совместного описания самоорганизующихся систем разной природы. 58
-

## *CONTENTS*

---

### **Basic researches**

---

- Bogolepova I.N., Malofeeva L.I.* Postnatal ontogenesis of the human brane. **4**
- Yaroslavtsev N.A., Safyanov G.A., Petrov V.A.* Morphodynamic system of Konstantinjvsky submarine canyon (Black sea). **14**
- 

### **New ideas, approaches**

---

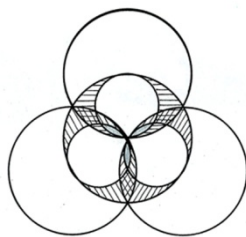
- Kuzmin S.B.* Geoecological areas of the Irkutsk region with the hazardous geomorphological processes as complex geomorphosystems for nature use risk assessment. **30**
- 

### **Debatable aspects**

---

- Smirnov V.L.* Scale factors for collective description of the various nature self-organized systems. **58**
-

УДК 611.813.1.018



## ПОСТНАТАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

**Боголепова И.Н.**<sup>1</sup> (д.мед.н., проф., акад. РАН),

**Малофеева Л.И.**<sup>2</sup> (к.б.н., в.н.с.)

<sup>1,2</sup> ФГБНУ «Научный центр неврологии», лаборатория анатомии и  
архитектоники мозга, г. Москва, РФ

[bogolepovaira@gmail.com](mailto:bogolepovaira@gmail.com)

**Аннотация.** Постнатальный онтогенез мозга человека играет большую роль в его развитии. Целью настоящего исследования была оценка морфометрических показателей развития мозга человека в различные периоды постнатального онтогенеза. Проводилось исследование корковых формаций мозга человека в постнатальном онтогенезе, а именно речедвигательных полей 44 и 45, поля 24 лимбической области коры, гиппокампа. Исследовалась непрерывная серия фронтальных срезов мозга человека новорожденного ребенка, детей 2 лет жизни, 7 лет жизни, 12 лет жизни и взрослого. Срезы окрашены крезиллом фиолетовым. В работе были использованы морфометрические методы. В результате проведенных исследований было выявлено, что интенсивное цитоархитектоническое развитие корковых формаций наблюдается в первые два года жизни. В первые годы жизни отмечается активное формирование волокнистых структур, а также рост нейронов в различных цитоархитектонических слоях. Установленные закономерности развития мозга в постнатальном онтогенезе являются важными для осуществления педагогических занятий и воспитательных мероприятий в периоды постнатального онтогенеза.

**Ключевые слова:** мозг человека, корковые формации, постнатальный онтогенез.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема исследования онтогенеза мозга человека является одной из важных проблем науки о мозге. Это объясняется тем, что именно постнатальный онтогенез ребенка является одним из важнейших этапов развития человека. После рождения мозг новорожденного ребенка претерпевает огромные изменения. В первые годы жизни значительно увеличивается вес и рост малыша. Ребенок начинает учиться держать головку, затем переворачиваться, сидеть, ползать на четвереньках и, наконец, встает и начинает учиться ходить. В первые годы жизни отмечается интенсивное социальное и эмоциональное развитие ребенка, которое во многом зависит от условий его жизни, от общения с матерью, от окружающего мира. Серьезным этапом развития ребенка является освоение речи [27, 25, 1, 19, 2, 16, 28]. С бурным развитием методов магнитно-резонансной томографии в науке о мозге и неврологии [17] интенсивно изучается развитие мозга ребёнка в онтогенезе [18] и при различных патологических процессах.

В связи с вышесказанным, важным аспектом науки о мозге является исследование постнатального онтогенеза мозга ребенка. Задачей наших исследований было изучение структурной организации корковых и подкорковых структур мозга ребенка в различные этапы постнатального онтогенеза.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование проводилось на сериях тотальных фронтальных срезов (всего исследовано 10 серий, 420 тотальных фронтальных срезов) мозга

новорожденного ребенка, ребенка 1 года жизни, ребенка 2 лет жизни, ребенка 4 лет жизни, ребенка 7 лет жизни. Срезы толщиной 20 мкм окрашены по методу Ниссля крезилом фиолетовым. Изучалась цитоархитектоника речедвигательных полей 44 и 45 лобной области мозга, поля 23 и 24 лимбической области мозга, гиппокамп, гипоталамус мозга.

В работе были использованы современные морфометрические методы по исследованию площади поверхности корковых формаций мозга, толщины коры и её отдельных цитоархитектонических слоев, величины нейронов, плотности пирамидных нейронов и плотности общей глии, исследования проводились на комплексе электронно-оптического анализа изображений «ДиаМорф» (об. х 100, ок. х 10). Измерению и учету подлежали только нейроны с ядром и ядрышком.

Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 12. Отличия изученных показателей определялись с использованием U-критерия Манна-Уитни, отличия считались достоверными при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ**

У новорожденного ребенка вес мозга равняется около 350-360 гр. После рождения вес мозга ребенка резко увеличивается, достигая около 1000 гр. к концу второго года, т.е. в течение первого года мозг новорожденного ребенка увеличивается в 3 раза. В последующие годы рост мозга продолжается и уже к концу 7 года вес мозга достигает 1250 – 1200 гр., т.е. он увеличивается к концу 7 года приблизительно на 200-250 гр. Вес мозга взрослого человека равняется 1300-1350 гр. [5] Эти данные свидетельствуют о том, что вес мозга увеличивается в основном в течение первых двух лет и в более поздние сроки темпы роста мозга человека замедляются.

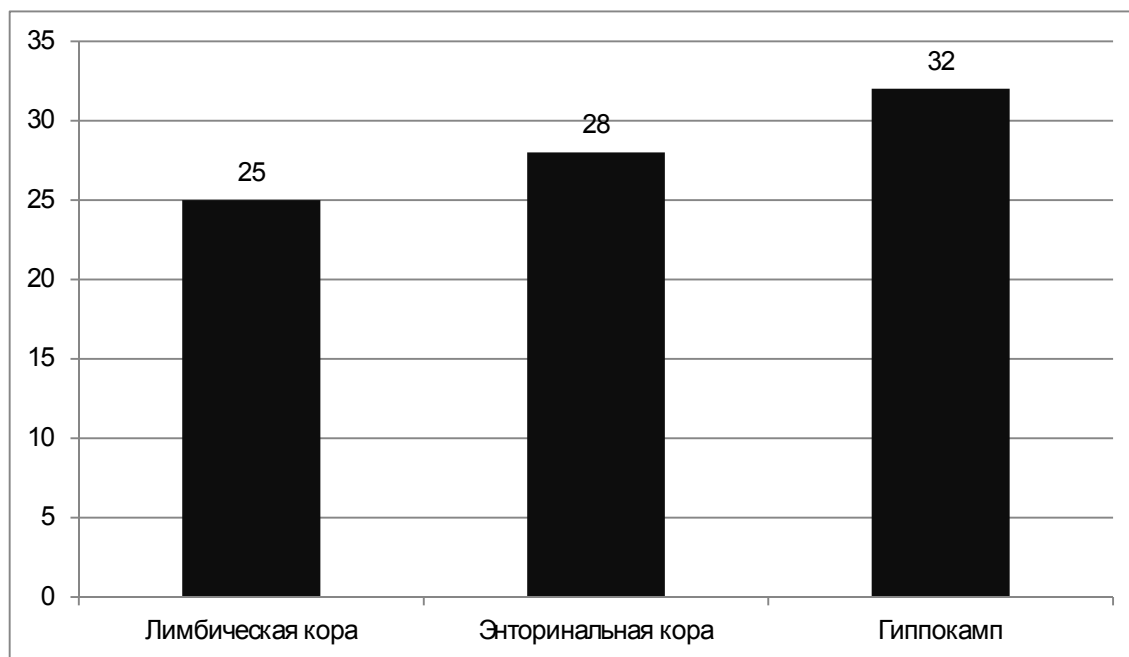
В процессе онтогенеза к моменту рождения происходит определенное формирование всех корковых и подкорковых и стволовых структур мозга.

Следует подчеркнуть, что корковые формации мозга новорожденного ребенка сформированы очень неодинаково и резко отличаются как по своему строению, так и по морфометрическим показателям.

В результате наших исследований было установлено, что у новорожденного ребенка площадь поверхности лимбической области коры составляет только 25% от площади поверхности той же коры взрослого человека (рис. 1). Площадь претектальных полей лимбической области коры составляет 45% от площади той же коры взрослого человека, собственно лимбических полей коры мозга новорожденного – 26% площади поверхности той же коры взрослого человека и площади пограничных лимбических полей коры мозга новорожденного ребенка только 19% площади поверхности той же коры взрослого человека (рис. 2) [9].

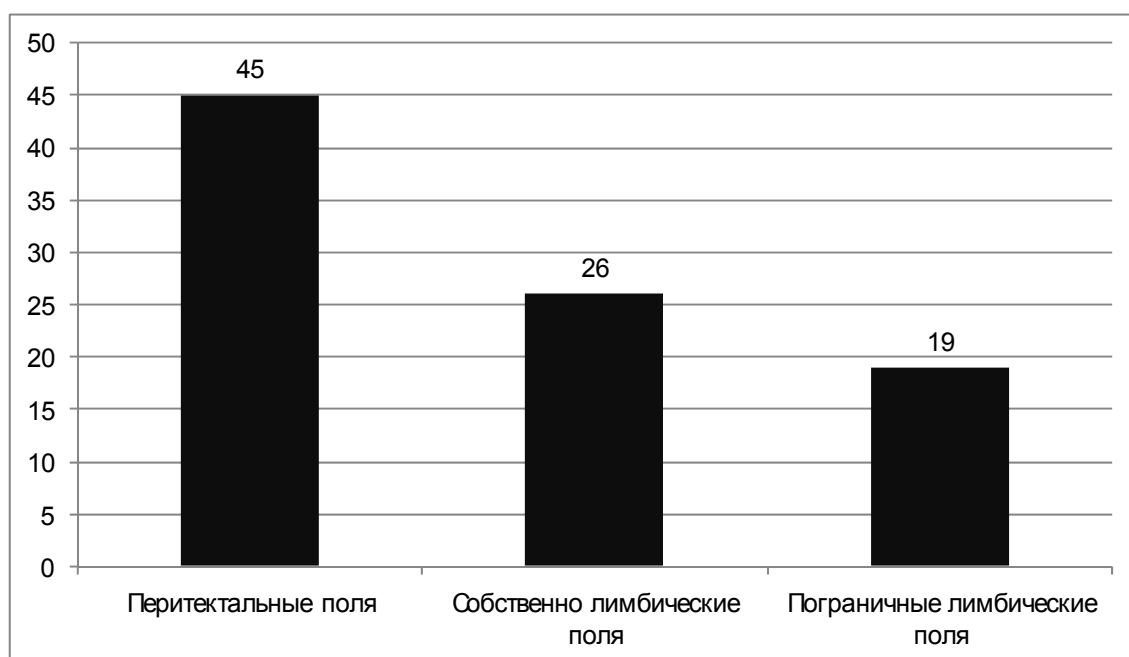
В постнатальном онтогенезе был установлен интенсивный рост площади поверхности корковых формаций мозга ребенка, и основное формирование площади поверхности корковых полей лимбической области происходит в первые годы жизни.

Цитоархитектоническое исследование постнатального онтогенеза корковых и подкорковых структур мозга человека показало, что у новорожденного ребенка



*Рис.*

*1. Величина площади различных структур лимбической системы мозга новорожденного ребёнка (%).*

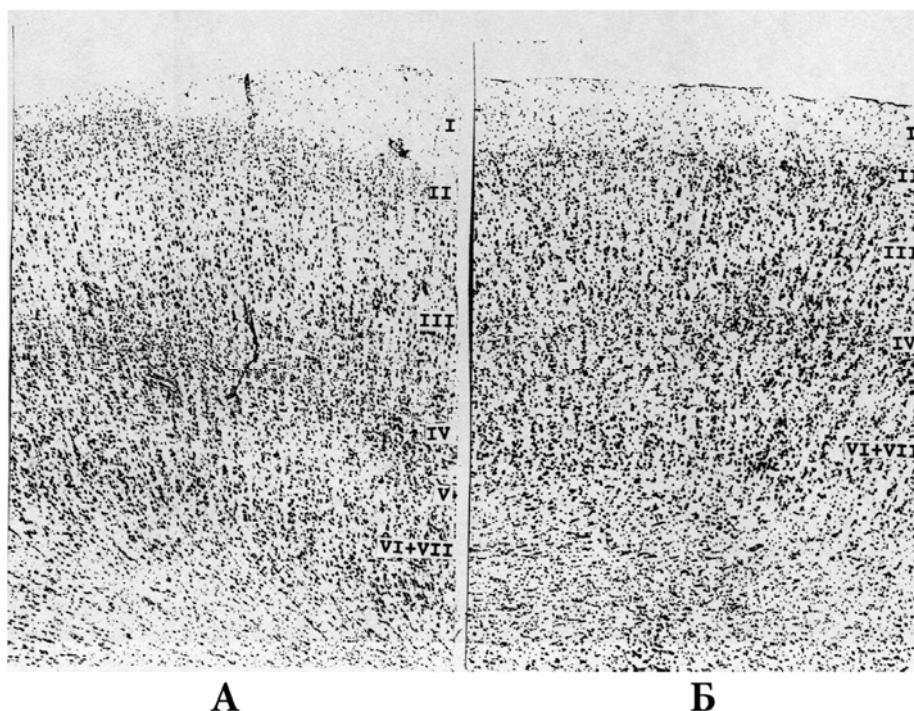


*Рис. 2. Величина площади полей лимбической области мозга новорожденного ребёнка (%).*

наблюдается слабая степень формирования нейронной структуры корковых формаций мозга. Так, в корковых полях лимбической области мозга новорожденного ребенка отмечается лучшее развитие нижнего этажа коры, по сравнению с верхним этажом коры, так, например, в лимбических полях 23 и 24 коры мозга новорожденного

ребенка. В цитоархитектоническом слое V нейроны дифференцированы лучше, чем в верхних цитоархитектонических слоях. Эти нейроны растут более интенсивно по сравнению с нейронами в цитоархитектоническом слое III. В постнатальном онтогенезе отмечается значительное увеличение размеров пирамидных нейронов во всех корковых структурах мозга.

В полях 44 и 45 лобной области мозга ребенка от момента рождения до 2 лет наблюдаются большие изменения цитоархитектоники (рис. 3). В этом периоде наблюдается значительное расширение коры, увеличение размеров нейронов, уменьшение их плотности.



*Рис. 3. Цитоархитектоника поля 45 в левом (А) и правом (Б) полушариях мозга ребенка в возрасте 2 лет.*

Изменяется строение отдельных цитоархитектонических слоев. Слой V разделяется на два подслоя. В поле 45 слой III постепенно подразделяется на три цитоархитектонических подслоя. Следует подчеркнуть, что у новорожденного ребенка уже наблюдаются первые морфологические признаки структурной асимметрии. Так, например, объем поля 45 в правом полушарии мозга новорожденного равняется  $1,65 \text{ см}^3$ , а в левом полушарии –  $1,48 \text{ см}^3$ . В постнатальном онтогенезе структурная асимметрия становится более выраженной, достигая своего максимума у взрослого человека. [4, 8, 14]

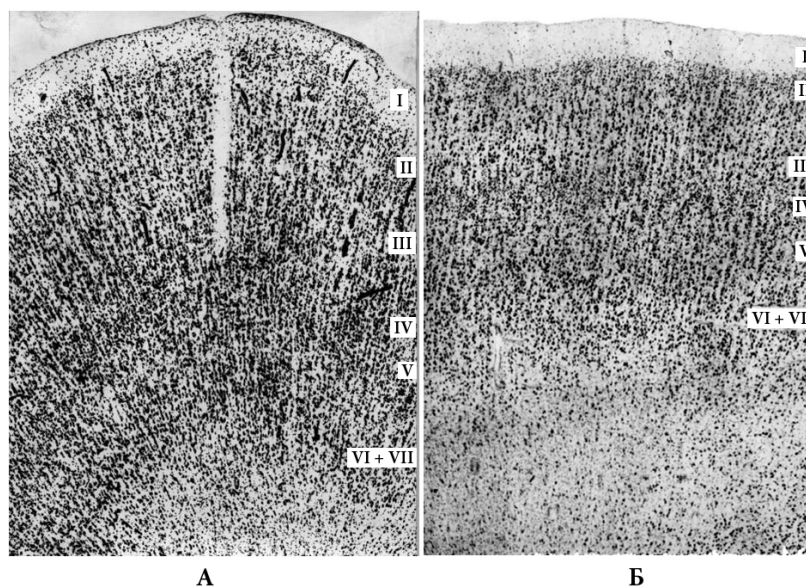
Первые два года постнатального онтогенеза отмечается значительная миелинизация волокнистых структур мозга ребенка. Так, например, при изучении процесса миелинизации в гипоталамусе ребенка было установлено увеличение хорошо выраженных волокон в области зрительного тракта, интенсивное увеличение свода, рост волокнистой капсулы около мамиллярных тел. К 7 годам жизни ребенка развитие

## *Постнатальное развитие мозга человека*

волокнистых структур гипоталамуса продолжается. Четкими становятся различия в волокнистых структурах медиального и латерального ядер. Большое количество волокон выявляется в области свода.

Развитие мозга ребенка происходит с одной стороны под влиянием генетически закрепленных программ, с другой стороны, под влиянием внешней среды. В случае нарушения нормального хода развития организма ребенка наблюдаются очень серьезные изменения структурной организации мозга. Нами был исследован мозг глухонемого ребенка 4-х лет. В семье этого ребенка глухонемыми были отец и дядя этого ребенка, что говорит о генетических нарушениях слуха и хода формирования центральной нервной системы [7, 8].

В результате исследования речедвигательных полей 44 и 45 лобной коры мозга глухонемого ребенка было установлено, что эти поля характеризуются монотонным типом строения, слабой выраженностью цитоархитектонических слоев. В цитоархитектоническом слое III поля 45 практически отсутствуют крупные пирамидные нейроны, зато встречается много нейронов грушевидной формы. Слой IV практически отсутствует (рис. 4).



*Рис. 4. Цитоархитектоника поля 45 коры мозга 4-летнего ребенка (А-норма, Б-глухонемой).*

Речедвигательные поля глухонемого ребенка характеризуются однообразным типом строения, густо- и мелкоклеточной корой. По своему строению речедвигательные поля мозга глухонемого ребенка 4 лет. Имеет большое сходство с аналогичной корой нормального ребенка 2-х лет.

Итак, мозг новорожденного является несформированным и его развитие происходит интенсивно в первые два года после рождения и степень созревания отдельных структур мозга находится в этот период не только под влиянием генетических программ, но и под влиянием воспитания и обучения. Установленное в наших исследованиях резкое увеличение веса мозга ребенка в первые годы жизни

также были выявлены и другими учеными [26]. Ученые уделяют огромное внимание внешней среде, стимулирующей развитие мозга ребенка [22, 24, 15, 11]. Для ребенка необходимым является постоянное решение каких-то новых задач и новых заданий. Очень важной при этом является обратная связь ребенка с взрослыми, чтобы получить правильную и адекватную оценку своего поведения. Учеными были определены факторы, при которых замедляется развитие мозга ребенка. Это, в первую очередь, психические заболевания родителей, неполная семья, плохое обращение с ребенком, низкий образовательный уровень матери. Следует особо подчеркнуть, что в процессе раннего постнатального онтогенеза происходит формирование индивидуального строения мозга ребенка, который так ярко проявляется у взрослого человека [6, 10].

В постнатальном онтогенезе отмечается гетерохрония развития отдельных корковых формаций мозга ребенка. Так к 4-х летнему возрасту ребенка величина поверхности зрительной области составляет 82% от той же коры взрослого человека, а поверхность нижнетеменной области – только 64% [20].

Таким образом, было показано, что постнатальный онтогенез является очень важным периодом развития мозга ребенка, когда происходит огромные изменения мозга как в целом, так и его отдельных структур. Очень важным периодом развития мозга ребенка и формирования его корковых структур является первые два года после рождения, когда отмечается резкое увеличение веса мозга, рост площади поверхности отдельных корковых формаций мозга, что подтверждается исследованиями с помощью MRT [23].

В этот период наблюдаются значительные изменения цитоархитектоники, глиоархитектоники и миелоархитектоники корковых и подкорковых структур мозга ребенка. Отмечается дальнейшее развитие цитоархитектонических слоёв корковых формаций, увеличение размеров нейронов, уменьшение плотности их расположения, активная миелинизация волокнистых структур мозга. Важно подчеркнуть, что в период постнатального онтогенеза по мнению многих ученых 30-40% развития мозга находится под влиянием генетических программ, а 70-60% – под влиянием внешней среды. Поэтому в первые годы постнатального периода совершенно необходимо, чтобы мать и ребенок находились в постоянном тесном контакте [13, 12, 21].

Ребенок в эти годы требует к себе большого внимания. В последующие годы постнатального онтогенеза продолжается развитие мозга ребенка, и ребенок должен находиться под постоянным контролем родителей, воспитателей, учителей. Для каждого периода постнатального онтогенеза требуются свои развивающие игры, игрушки, книжки и т.д. Все эти педагогические мероприятия способствуют, в конечном счете, правильному развитию мозга ребенка, который обеспечивает формирование поведения, мышления, памяти, высоких когнитивных функций.

---

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Балыгин М.М., Дмитриев В.И. Влияние биологических и социально-гигиенических факторов на здоровье детей раннего возраста, проживающих в сельской местности // *Здравоохранение РФ.* – 1996. – № 6. – С. 23-27.

2. Баранов А.А. Проблема роста и развития ребенка: теоретические и научно-практические проблемы // Российский педагогический журнал. – 1999. – № 2. – С. 4-6.
3. Боголепова И.Н. Морфологические особенности индивидуального строения мозга человека // Журнал неврологии и психиатрии им С.С. Корсакова. – 1982. – Т. 82, № 7. – С. 972.
4. Боголепова И.Н., Амунц В.В., Оржиховская Н.С., Малофеева Л.И. Морфометрические критерии структурной асимметрии корковых и подкорковых образований мозга // Журнал неврологии и психиатрии им С.С. Корсакова. – 1983. – Т. 83, № 7. – С. 971-975.
5. Боголепова И.Н. Онтогенез мозга человека // Педиатрия. Журнал имени Г.Н. Сперанского. – 1997. – № 5. – С. 27-30.
6. Боголепова И.Н. Структурные основы индивидуальной variability // Вестник Академии медицинских наук. – 2002. – № 6. – С. 31-35.
7. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И., Белогрудь Т.В. Особенности строения речедвигательной коры лобной области мозга глухонемого ребенка // Морфология. – 2002. – № 5. – С. 28-31.
8. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. Структурная асимметрия корковых формаций мозга человека. – М.: Издательство РУДН, 2003. – 155 с.
9. Боголепова И.Н. Сравнительный онтогенез корковых формаций мозга человека и обезьян. – М.: Издательство РУДН, 2005. – 361 с.
10. Боголепова И.Н. Индивидуальная variability цитоархитектоники переднего лимбического поля 24 мозга человека // Морфология. – 2007. – Т. 132, № 4. – С. 16-20.
11. Еремеева О.В., Митришенков В.А. Современная энциклопедия мамы и малыша: от беременности до трех лет. – М.: Литагент «РИПОЛ», 2009. – 512 с.
12. Каганова Т.И. Проблемы формирования здоровья детей первого года жизни // Современные проблемы науки и образования. – 2004. – № 2. – С. 79.
13. Комаровский Е.О. Начало жизни вашего ребёнка. – Харьков: Фолио (серия «Для пап и мам»); СПб: Кристалл. (серия «Семейный альбом»), 1996. – 92 с.
14. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В., Кадыков А.С., Боголепова И.Н., Белопасова А.В. Функциональная асимметрия речевых структур у здоровых людей, выявляемая при помощи функциональной магнитно-резонансной томографии // Материалы конференции Современные направления исследований функциональной асимметрии и пластичности мозга. – Москва, 2010. – С. 173-177.
15. Леонтьев А.К. Детальное содержание личности. – М., 2005 – 461 с.
16. Пивень Е.А. Состояние здоровья детей первых трёх лет жизни и медико-социальный анализ их семей (по материалам Москвы). Автореферат диссертации на кандидата медицинских наук. – М., 2004. – С. 185.
17. Пирадов М.А., Танащян М.М., Кротенкова М.В., Брюхов В.В., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н. Передовые технологии нейровизуализации // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2015. – Т. 9, № 4. – С. 11-18.
18. Полунина А.Г., Брюн Е.А. Нейроанатомические особенности головного мозга у мужчин и женщин // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2017. – Т. 11, № 3. – С. 68-75.
19. Полунина Н.В. Состояние здоровья матери и ребенка в связи с факторами образа жизни. Автореферат дисс. Док. Мед. Наук. – М., 1996. – С. 47.
20. Развитие мозга ребенка. Под ред. С.А. Саркисова – Л.: Медицина, 1965. – 396 с.
21. Engström E., Niklasson A., Wikland K.A., Ewald U., Hellström A. The role of maternal factors, postnatal nutrition, weight gain, and gender in regulation of serum IGF-I among preterm infants // Pediatric research. – 2005. – Vol. 57 (4). – P. 605-610.

22. Fancourt R. Brain development and learning the first years // Journal of infant and toddler education. – 2000. – Vol. 2. – P. 22-26.

23. Knickmeyer R.C., Gouttard S., John H. Gilmore A Structural MRI study of human brain development from birth to 2 years // The journal of neuroscience. – 1998. – Vol. 28 (47). – P. 12176-12182.

24. Levitt P. Structural and functional maturation of the developing brain // Journal of pediatrics. – 2003. – Vol. 143. – P. 35-45.

25. Navarro-Ruboi M.D., Jovell A.J., Schor E.L. Socioeconomic status and preventive health-care use by children in Spain // Am. J. Prev. Med. – 1995. – Vol. 11 (4). – P. 256-262.

26. Pena-Metian A. Development of human brain evolution // Human evolution. – 2000. – Vol. 15, № 1-2. – P. 99-112.

27. Siddhu C.M., Srivastava B.C. Health status of infants and preschool children in different socio-cultural groups Indian // Indian J Public Health. – 1970. – Vol. 14. – P. 39-43.

28. Uylings H.B.M., Malofeeva L.I., Bogolepova I.N., Zille K., Amunz K. Broca's language area from a neuroanatomical and developmental perspective // The neurocognition of language. Editors: Colin M. Brown and Peter Hagoort. – Oxford, 1999. – P. 413-436.

#### **POSTNATAL ONTOGENESIS OF THE HUMAN BRAIN**

*Bogolepova I.N.*<sup>1</sup> (Dr. Sci. (Medicine)),

*Malofeeva L.I.*<sup>2</sup> (Cand. Sci. (Biology)),

<sup>1,2</sup> *Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation*

[bogolepovaira@gmail.com](mailto:bogolepovaira@gmail.com)

**Abstract.** Postnatal ontogenesis of the human brain plays a big role in its development. The purpose of this study was to assess the morphometric parameters of the development of the human brain in different periods of postnatal ontogenesis. A study was made of the cortical formations of the human brain in postnatal ontogenesis, namely, the speech-motor fields 44 and 45, the field 24 of the limbic region of the cortex, the hippocampus. A continuous series of frontal sections of the human brain of a newborn child, children of 2 years of life, 7 years of life, 12 years of life and an adult was studied. Slices painted cresyl violet. Morphometric methods were used in the work. As a result of the conducted studies it was revealed that intensive cytoarchitectonic development of cortical formations is observed in the first two years of life. In the first years of life, active formation of fibrous structures is noted, as well as growth of neurons in various cytoarchitectonic layers. The established patterns of brain development in postnatal ontogenesis are important for the implementation of pedagogical studies and educational activities during postnatal ontogenesis.

**Key words:** human brain, cortical formations, postnatal ontogenesis.

#### **REFERENCES**

1. Balygin M.M., Dmitriev V. I. Vliyanie biologicheskikh i sotsial'no-gigienicheskikh faktorov na zdorov'e detej rannego vozrasta, prozhivayushhikh v sel'skoj mestnosti. *Zdravookhranenie RF*, 1996, no. 6, pp. 23-27.

2. Baranov A.A. Problema rosta i razvitiya rebenka: teoreticheskie i nauchno-prakticheskie problem. *Rossijskij pedagogicheskij zhurnal*, 1999, no. 2, pp. 4-6.

3. Bogolepova I.N. Morfologicheskie osobennosti individual'nogo stroeniya mozga cheloveka. *ZHurnal nevrologii i psikiatrii im S.S. Korsakova*, 1982, vol. 82, no. 7, P. 972.

4. Bogolepova I.N., Amunts V.V., Orzhekhovskaya N.S., Malofeeva L.I. Morfometricheskie kriterii strukturnoj asimetrii korkovykh i podkorkovykh obrazovanij mozga. *ZHurnal nevrologii i psikiatrii im S.S. Korsakova*, 1983, vol. 83, no. 7, pp. 971-975.

5. Bogolepova I.N. Ontogenez mozga cheloveka. *Pediatriya. ZHurnal imeni G.N. Speranskogo*, 1997, no. 5, pp. 27-30.

6. Bogolepova I.N. Strukturnye osnovy individual'noj variabel'nosti. *Vestnik Akademii meditsinskikh nauk*, 2002, no. 6, pp. 31-35.

7. Bogolepova I.N., Malofeeva L.I., Belograd' T.V. Osobennosti stroeniya rechedvigatel'noj kory lobnoj oblasti mozga glukhonemogo rebenka. *Morfologiya*, 2002, no. 5, pp. 28-31.

8. Bogolepova I.N., Malofeeva L.I. Strukturnaya asimmetriya korkovykh formatsij mozga cheloveka. M.: Izdatel'stvo RUDN, 2003, 155 p.

9. Bogolepova I.N. Sravnitel'nyj ontogenez korkovykh formatsij mozga cheloveka i obez'yan. M.: Izdatel'stvo RUDN, 2005, 361 p.

10. Bogolepova I.N. Individual'naya variabel'nost' tsitoarkhitektoniki perednego limbicheskogo polya 24 mozga cheloveka. *Morfologiya*, 2007, vol. 132, no. 4, pp. 16-20.

11. Eremeeva O.V., Mitrishenkov V.A. Sovremennaya ehntsiklopediya mamy i malysya: ot beremennosti do trekh let. M.: Litagent «RIPOL», 2009, 512 p.

12. Kaganova T.I. Problemy formirovaniya zdorov'ya detej pervogo goda zhizni. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2004, no. 2, pp. 79.

13. Komarovskij E.O. Nachalo zhizni vashego rebyonka. KHar'kov: Folio (seriya «Dlya pap i mam»); SPb: Kristall. (seriya «Semejnyj al'bom»), 1996, 92 p.

14. Kremneva E.I., Konovalov R.N., Krotenkova M.V., Kadykov A.S., Bogolepova I.N., Belopasova A.V. Funktsional'naya asimmetriya rechevykh struktur u zdorovykh lyudej, vvyavlyaemaya pri pomoshhi funktsional'noj magnitno-rezonansnoj tomografii. *Materialy konferentsii Sovremennye napravleniya issledovanij funktsional'noj asimmetrii i plastichnosti mozga*. Moskva, 2010, pp. 173–177.

15. Leont'ev A.K. Detal'noe sodержanie lichnosti. M., 2005, 461 p.

16. Piven' E.A. Sostoyanie zdorov'ya detej pervykh tryokh let zhizni i mediko-sotsial'nyj analiz ikh semej (po materialam Moskvu). Avtoreferat dissertatsii na kandidata meditsinskikh nauk. M. 2004, P. 185.

17. Piradov M.A., Tanashyan M.M., Krotenkova M.V., Bryukhov V.V., Kremneva E.I., Konovalov R.N. Peredovye tekhnologii nejrovizualizatsii. *Annaly klinicheskoy i ehksperimental'noj nevrologii*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 11-18.

18. Polunina A.G., Bryun E.A. Nejroanatomicheskie osobennosti golovnogogo mozga u muzhchin i zhenshhin. *Annaly klinicheskoy i ehksperimental'noj nevrologii*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 68-75.

19. Polunina N.V. Sostoyanie zdorov'ya materi i rebenka v svyazi s faktorami obraza zhizni. Avtoreferat diss. Dok. Med. Nauk, M. 1996, P. 47.

20. Razvitie mozga rebenka. Pod red. S.A. Sarkisova. L.: Meditsina, 1965, 396 p.

21. Engström E., Niklasson A., Wikland K.A., Ewald U., Hellström A. The role of maternal factors, postnatal nutrition, weight gain, and gender in regulation of serum IGF-I among preterm infants. *Pediatric research*, 2005, vol. 57 (4), pp. 605-610.

22. Fancourt R. Brain development and learning the first years. *Journal of infant and toddler education*, 2000, vol. 2, pp. 22-26.

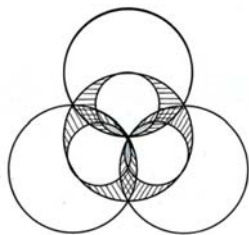
23. Knickmeyer R.C., Gouttard S., John H. Gilmore A Structural MRI study of human brain development from birth to 2 years // *The journal of neuroscience*, 1998, v. 28(47), p. 12176-12182.

24. Levitt P. Structural and functional maturation of the developing brain. *Journal of pediatrics*, 2003, vol. 143, pp. 35-45.

25. Navarro-Ruboi M.D., Jovell A.J., Schor E.L. Socioeconomic status and preventive health-care use by children in Spain. *Am. J. Prev. Med.*, 1995, vol. 11(4), pp. 256-262.

26. Pena-Metian A. Development of human brain evolution. *Human evolution*, 2000, vol. 15, no. 1-2, pp. 99-112.
27. Siddhu C.M., Srivastava B.C. Health status of infants and preschool children in different socio-cultural groups Indian. *Indian J Public Health.*, 1970, vol. 14, pp. 39-43.
28. Uylings H.B.M., Malofeeva L.I., Bogolepova I.N., Zille K., Amunz K. Broca's language area from a neuroanatomical and developmental perspective. *The neurocognition of language*. Editors: Colin M. Brown and Peter Hagoort. Oxford, 1999. P. 413-436.

УДК 551.462.34



## МОРФОДИНАМИКА СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО КАНЬОНА КОНСТАНТИНОВСКИЙ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Ярославцев Н.А.<sup>1</sup> (к.т.н., в.н.с.),

Сафьянов Г.А.<sup>2</sup> (д.геогр.н., проф.),

Петров В.А.<sup>3</sup> (к.геогр.н. с.н.с.)

<sup>1</sup>Филиал ОАО ЦНИИС НИЦ «Морские берега», г. Сочи, РФ;  
*demmi8@mail.ru*;

<sup>2</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, г. Москва, РФ;  
*safyanov.gen@yandex.ru*;

<sup>3</sup>Филиал ОАО ЦНИИС НИЦ «Морские берега», г. Сочи, РФ; *demmi8@mail.ru*

**Аннотация.** На основе повторных топобатиметрических съёмок приводится анализ морфодинамики эрозионных ложбин, образующих систему подводного каньона Константиновский, включающего центральное русло и два боковых отвершка: западный и восточный. Установлены связи процессов, протекающих в верховьях каньона с динамикой прилегающих галечных пляжей. В пределах верховья центрального русла шириной вдоль берега 450 м, выходящего на глубину 10-12 м, сток наносов на глубину происходит по продольным бороздам, развитым на дне её центральной части до глубин 40-50 м, а вдоль бортов – до 80 м. Аккумуляция наносов в верхних частях русла и отвершков каньона приводит к выдвиганию бровки свала глубин в море, увеличению крутизны её морского края и, при достижении критического значения уклона, смещению накопившегося материала под воздействием волн и гравитации вниз по тальвегам. После этого вновь начинается фаза седиментации в верховьях эрозионных ложбин. Скорость и объёмы накопления материала в центральном русле и боковых отвершках во многом зависят от удалённости их верховий от берега и интенсивности вдольберегового перемещения наносов, обусловленной штормовой активностью моря.

**Ключевые слова.** Аккумуляция, бровка свала глубин, вдольбереговой поток, подводный каньон, отвершек, размыв, русло, сток наносов, тальвег.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на интенсивное освоение рассматриваемого участка берега, процессы, протекающие в верховье Константиновского каньона и их влияние на устойчивость прилегающих галечных пляжей, изучены недостаточно [12]. В публикациях, касающихся Константиновского каньона, приводятся краткие сведения о процессах, протекающих в нём и на прилегающем участке берега, а также даётся оценка ухода в каньон крупнообломочного материала [2, 3]. Вместе с тем нет единого мнения о его влиянии на устойчивость галечного пляжа, сопряжённого с ним, и объёмах наносов, уходящих в каньон.

Каньон Константиновский, по литодинамической связи с береговой зоной, можно отнести к латеральному типу, получающему наносы при их вдольбереговом перемещении [9]. Имеющийся фактический материал позволяет сделать заключение о том, что данный участок береговой зоны можно выделить в отдельную литодинамическую систему, включающую разветвлённую сеть эрозионных ложбин каньона и прилегающий галечный пляж. Ранее относительная устойчивость этой системы обеспечивалась балансом между поступлением на рассматриваемый участок

берега наносов из вдольберегового потока и их уходом вдоль берега и в верховья эрозионных ложбин. Возведение Имеретинского порта и строительство пляжного комплекса с набережной, усиленной откосным бетонным креплением с ростверком [8], возведённым почти посередине ранее существовавшего галечного пляжа, нарушило это относительное равновесное состояние и многократно усложнило естественный ход береговых процессов. Следует иметь в виду, что побережье между устьями рек Мзымта и Псоу, включающее галечный пляж и многочисленные каньоны, в том числе и Константиновский, представляет собой единую автономную литодинамическую систему, динамика которой практически независима от смежных участков береговой зоны [12], вмешательство в любое звено которой может привести к необратимому развитию негативных процессов.

Анализ топографических материалов, полученных по Константиновскому каньону за последние 40 лет, позволил определить его морфометрические характеристики, оценить протекающие в нём процессы и выявить основные закономерности развития рельефа, а также проследить его влияние на морфодинамику прилегающего галечного пляжа.

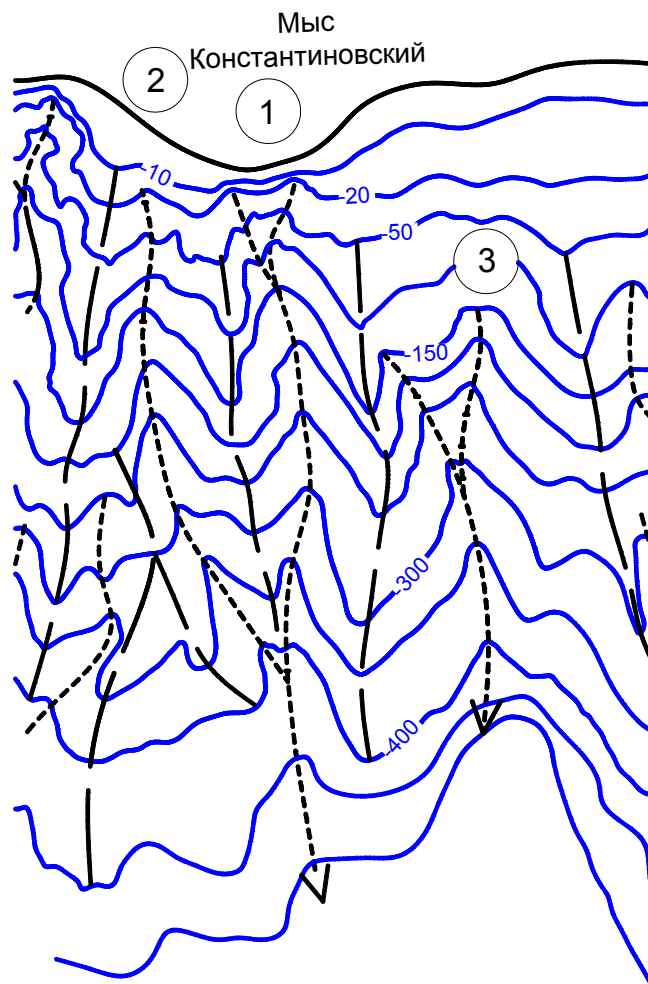
### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Морфологическое описание Константиновского каньона и исследование процессов, протекающих в нём, наряду с данными из опубликованных источников, базировались на сравнении и анализе выявленных изменений в рельефе пляжа и прилегающего участка дна по планам, построенным в масштабе от 1:1000 до 1:2000 по результатам изысканий, проведённым в 1975, 1987, 2007 и 2010 годах. Топографические съёмки были выполнены Черноморским отделением морских берегозащитных сооружений, которое в настоящее время переименовано в Научно-исследовательский центр «Морские берега», расположенный в г. Сочи. Основной анализ динамики подводного рельефа каньона проводился при сравнении планов в масштабе 1:1000, выполненных в единой системе, на которых галсы располагались через 20 м, а промерные точки на них – через каждые 5 м. Кроме того, привлекались материалы съёмки, выполненных в 1838 и 1886 годах, и Государственной съёмки участка дна между реками Мзымта и Псоу, изданной в 1978 г. в масштабе 1:10000, а также данные изысканий, проведённых в 2007 г. перед строительством Имеретинского порта.

Верховье Константиновского каньона выходит к вершине одноимённого мыса, сложенного легко размываемыми, в основном, аллювиальными отложениями [2]. Мыс почти симметричной формы [5] выдвинут в море на 400 м. Современная линия берега в районе мыса соответствует её положению конца 19 века [4], что свидетельствует об относительной стабильности протекающих здесь процессов. Мыс всегда был обрамлён галечным пляжем, стабильность которого поддерживалась притоком наносов за счет вдольберегового транспорта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Каньон Константиновский включает центральную эрозионную ложбину (русло), вершина которой расположена в 2,7 км восточнее устья р. Мзымта, и два крупных боковых отвершка – западный и восточный (рис. 1).



*Рис. 1. Карта-схема расположения отвершков Константиновской системы каньона. Цифры в кружках – номера отвершков. 1 – центральное русло каньона; 2 – западный отвершек; 3 – восточный отвершек.*

Центральное русло каньона является верхней частью ложбины, прослеживающейся до глубины 1500 м, которая на глубине 1000 м делится на две ветви: одна – западная идёт в сторону устья р. Мзымта, формируя приустьевую систему каньонов, а вторая – восточная направлена в сторону мыса Константиновский [12]. Эти две ветви разделяются ярко выраженным подводным хребтом. Восточная ветвь на глубине 500 – 550 м, примерно, в 33 км от берега, в свою очередь, делится на западную, формирующую систему каньона Новый, и центральное русло каньона Константиновский, от которой, по мере продвижения к берегу, отделяются восточный и западный отвершки. Совокупность рассмотренных крупных эрозионных форм, включающая центральное русло, западный и восточный отвершки, а также ряд более мелких эрозионных ложбин образуют систему каньона Константиновский.

С западной стороны система каньона Константиновский отделена от каньона Новый подводным хребтом, который начинается на глубинах 15-20 м и уходит на глубину 550 м, а с восточной – от системы каньона Имеретинский хребтом, уходящим на глубину более 1 км. Эрозионные ложбины отвершков также отделены от центрального русла подводными хребтами.

Каньон Константиновский можно отнести к латеральному типу, получающему наносы при их вдольбереговом перемещении [9]. На данном участке берега вдольбереговой поток наносов, под совокупном воздействием волн разных направлений, направлен от устья р. Мзымта на юго-восток в сторону р. Псоу.

Общая протяжённость берега, в пределах которой на литодинамические процессы оказывает влияние Константиновская система каньонов, составляет около 1,9 километра [11]. Бровка свала глубин верховья центрального русла Константиновского каньона расположена на глубине 10 – 12 м, где её ширина вдоль берега составляет 460 м. С глубиной ширина русла по дну уменьшается и на глубине 160 м она составляет 100 м. В результате выхода в центральное русло небольшого отвершка на глубине 180 м, зарождающегося на крутом склоне её восточного борта, ширина русла увеличивается до 220 м. В таблице 1 представлены данные по изменению ширины центрального русла по дну и по ограничивающим её хребтам, где также приводятся данные по средним наклонам бортов русла и разнице отметок между её дном и ограничивающим западным хребтом.

*Таблица 1. Основные морфометрические параметры центрального русла каньона Константиновский*

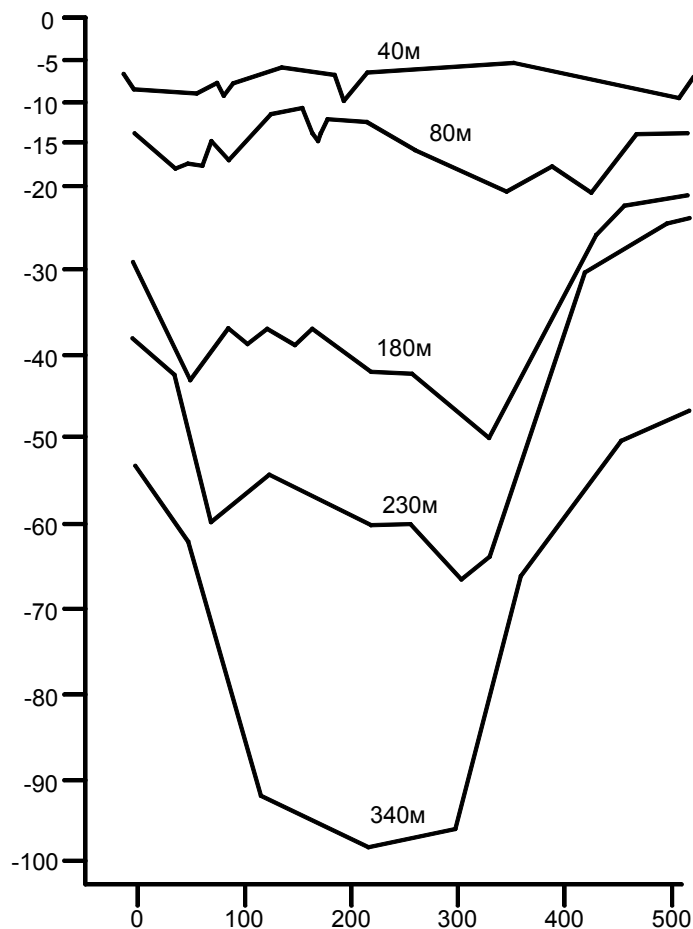
Глубина моря по оси русла, м	Ширина русла по дну, м	Ширина русла по ограничивающим хребтам, м	Разница отметок между дном русла и ограничивающими хребтами, м	Средний наклон бортов, град.	
				Западного	Восточного
12	460	560	3	15	15
20	430	500	8	13	13
40	340	520	33	20	38
80	200	520	46	25	29
120	200	470	50	12	10
160	100	450	82	34	31
180	220	450	85	37	29

В верхней части центрального русла до глубины 200 м её сечение (поперечный профиль) имеет U-образную форму с несколько выпуклым дном. На плане масштаба

## *Морфодинамика системы подводного каньона Константиновский (Черное море)*

1:10000, центральное русло каньона Константиновский в диапазоне глубин от 200 до 500 м показано в виде депрессии в континентальном склоне V-образной формы, с шириной по верху 500-600 м.

Дно верхней части центрального русла каньона прорезают эрозионные борозды, ориентированные вдоль его оси. Глубина борозд, расположенных в центральной части русла, относительно его дна, изменяется от 2 до 4 м при ширине 40-80 м, за исключением крайних борозд, протянувшихся непосредственно вдоль бортов русла, с ярко выраженными тальвегами, глубина вреза которых достигает 9 м, а ширина – 140 м (рис. 2).



*Рис. 2. Поперечные профили по центральному руслу Константиновского каньона. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м; цифры на рисунке – удаление сечения от берега, м.*

В результате этих соотношений дно русла в центральной части приподнято, а у бортов опущено. Продольные борозды, расположенные в средней части русла, наиболее наглядно выражены в диапазоне глубин от 15 до 40 м, а вдоль западного и восточного бортов – до глубины 80 м. В диапазоне глубин от 90 до 150 м на дне центрального русла каньона продольных эрозионных борозд не наблюдается, но на глубинах 160-180 м в рельефе дна они вновь проявляются с врезом до 2-3 м. Примечательно, что, как на верхнем, так и на нижнем участке, на склонах продольных борозд наблюдаются микроборозды, заканчивающиеся конусами выноса,

фиксирующими трассы перемещения наносов. Данные съёмки подводного рельефа свидетельствуют о постоянстве расположения продольных борозд и разделяющих их гребней на дне каньона, что указывает на относительную устойчивость этих форм мезорельефа. Представляется, что борозды – это трассы перемещения крупнообломочного материала с верхних горизонтов на более низкие под воздействием волн и гравитации.

Склоны бортов центрального русла крутые. Их средняя крутизна изменяется от 10° до 38°, обнаруживая тенденцию к увеличению на участке сужения русла (см. таблицу 1). Следует отметить, что нижние фрагменты бортов, примыкающие к дну, значительно круче верхних и их наклон местами достигает 50°-60°. Это свидетельствует о продолжающемся расширении верхней части центрального русла Константиновского каньона.

Глубина вреза русла (высота склонов) увеличивается с глубиной, так на 20 м она составляет 8 м, на 180 м – 85 м, а на пятистах метрах – 90 м (см. таблицу 1). За высоту склонов принимается разность отметок дна центрального русла и гребня западного ограждающего хребта.

В таблице 2 приводятся данные по изменению с глубиной средней крутизны дна по оси центрального русла.

*Таблица 2. Средний наклон дна по оси центрального русла каньона Константиновский*

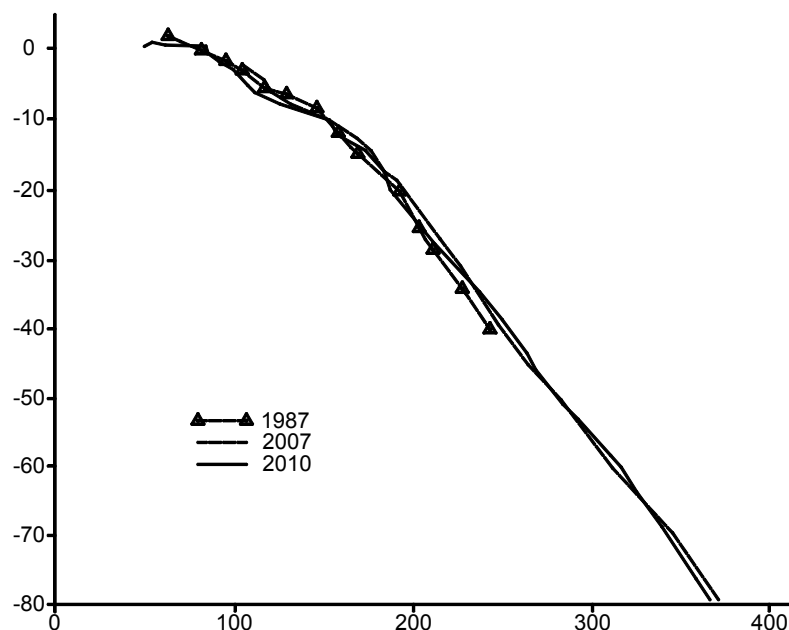
Диапазон глубин, м	10-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-1000	1000-1500
Наклон дна, град.	18	14	9	8	6	4	3

Как видно, наибольшие изменения наклона дна наблюдаются в диапазоне глубин от 10 до 300 м, где он уменьшается с 18° до 9°, при этом наклон дна плавно уменьшается на 4-5°, при каждом перепаде глубин в 100 м. Мористее дно становится более пологим и в диапазоне глубин от 1000 до 1500 м его наклон составляет 3°. Наиболее динамичной в этом плане является верхняя часть центрального русла до глубины 170 м, значения крутизны которой представлены в таблице 3, где также приводятся данные по уклонам дна двух его отвершков. Продольный профиль центрального русла Константиновского каньона (рис. 3) в диапазоне 10–20 м имеет слегка выпуклую форму.

В.П. Зенкович при погружении в 1974 г. в этот каньон установил, что дно центрального русла от его западного до восточного борта до глубины 220 м покрыто сплошным слоем галечного материала [1]. В верхней части центрального русла отложения гальки с сомкнутым скелетом формируют крутой наклон дна, что отражено в таблице 3.

Чередование участков дна разной крутизны, как в центральном русле, так и в отвершках, несомненно, связано со смещением наносов по их тальвегам.

**Морфодинамика системы подводного каньона Константиновский (Черное море)**



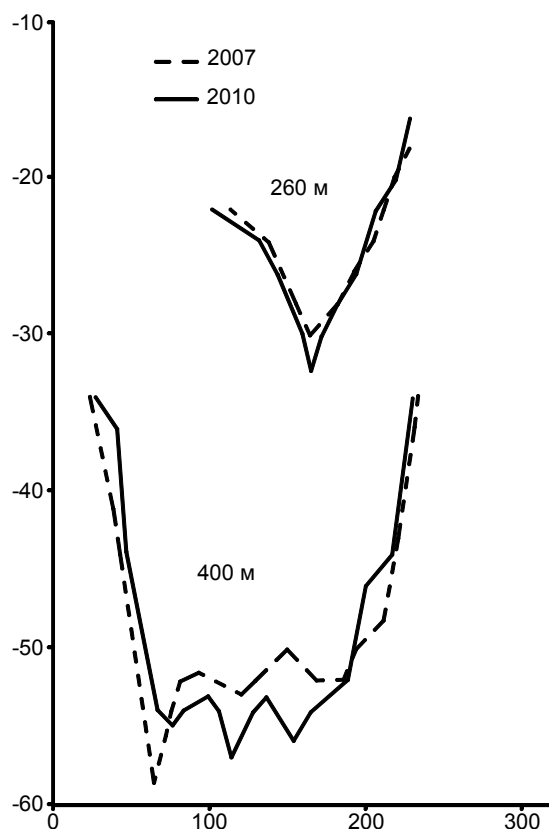
**Рис. 3.** Совмещенные продольные профили центральному руслу каньона Константиновский съемкам 1987 – 2010 гг. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м.

**Таблица 3.** Уклоны дна центрального русла и отвершков каньона Константиновский

Центральное русло			Западный отвершек			Восточный отвершек		
Диапазон глубин, м	Уклон	Наклон, град.	Диапазон глубин, м	Уклон	Наклон, град.	Диапазон глубин, м	Уклон	Наклон, град.
0-10	0,167	9,5	12-14	0,059	3,4	20-35	0,208	11,7
10-40	0,291	16,2	14-30	0,242	13,6	35-40	0,625	32,0
40-50	0,435	23,5	30-40	0,152	8,6	40-50	0,250	14,0
50-60	0,263	14,7	40-50	0,208	11,7	50-70	0,385	21,0
60-100	0,333	18,4	50-100	0,595	30,8	70-80	0,250	14,0
100-110	0,417	22,6	100-130	0,417	22,6	80-100	0,556	29,1
110-120	0,313	17,4	130-140	0,294	16,4	100-110	0,625	32,0
120-140	0,250	14,0	140-150	0,185	10,5	110-120	0,250	14,0
140-160	0,233	13,1	150-170	0,286	16,0	120-130	0,313	17,4
160-170	0,128	7,3				130-140	0,385	21,1
						140-150	0,500	26,6
						150-160	0,263	14,7

В западном отвершке Константиновского каньона, расположенного в 350 м западнее оси центрального русла, свал глубин верховья начинается с 14 м в 185 м от берега. Тальвег верховья отвершка ориентирован под углом 60° к береговой линии. В верхней части до глубины 50 м профиль его поперечного сечения имеет V-образную форму с узким дном и глубоким врезом (рис. 4). В результате выхода в тальвег

микроотвершков на расстоянии 400 м от берега на глубине около 60 м ширина отвершка по дну увеличивается до 120 м и его сечение принимает форму трапеции с плоским дном и крутыми бортами. На дне верховья этого отвершка в диапазоне глубин от 30 до 60 м, как и в центральном русле, имеется три эрозионных ложбины с глубиной вреза от 2 до 4 м (рис. 4). На расстоянии 600 м от берега на глубине в тальвеге около 160 м ширина отвершка по дну уменьшается до 20 м, а высота его бортов в этом месте составляет 60 м. Западный отвершек соединяется с центральным руслом на глубине 420 м, в 2, 2 км от берега [11].



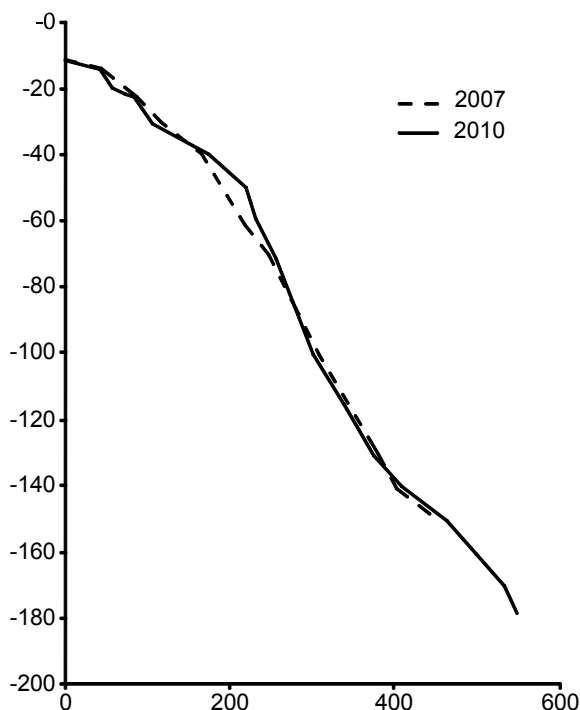
**Рис. 4.** Совмещенные поперечные профили через западный отвершек Константиновского каньона. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м; цифры на рисунке – удаление сечения от берега, м.

Наклон дна тальвега в верхней части отвершка на глубинах от 14 до 30 м составляет  $13,6^\circ$ , уменьшаясь до  $9^\circ$  к глубине 40 м (см. таблицу 3). Далее уклон дна вновь возрастает и на глубине 100 м он составляет  $31^\circ$ , уменьшаясь до  $10^\circ$  к глубине 150 м, а затем снова увеличиваясь. Такие изменения наклонов дна по продольному профилю западного отвершка, по-видимому, свидетельствуют о смещении наносов по его тальвегу.

Сопоставление данных съёмок, выполненных в 2007 и 2010 годах, свидетельствует о том, что в тальвеге западного отвершка до глубины 30 м, как и на галечном пляже, преобладал размыв. За это время отметки дна здесь опустились от 1 до 3 м. В диапазоне глубин от 35 до 80 м на его дне зафиксирована аккумуляция наносов.

Максимальный слой отложений, равный 6 м, наблюдался на глубине 50 м (рис. 5).

Предположительно, это результат отсыпок материала, производимых в 2009-2010 годах в море, для создания пляжа олимпийского комплекса на участке от каньона Новый до восточного фланга Константиновского мыса.

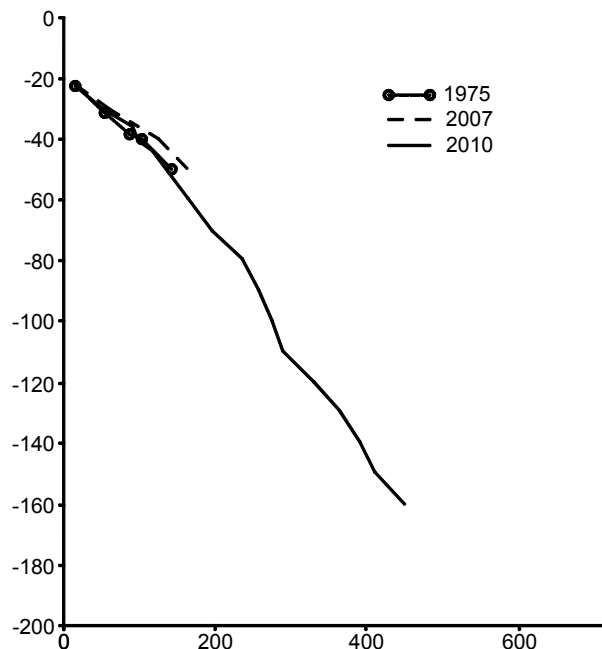


*Рис. 5. Совмещенные продольные профили западного отверстия каньона Константиновский за 1987 и 2010 гг. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м.*

Сведения о восточном отверстии каньона Константиновский несколько ограничены, из-за недостаточного объёма проведённых изысканий. В 1975 и 2007 гг. съёмки отверстия были выполнены до глубины 50 м и освещали подводный рельеф только самой верхней его части. Более достоверные данные по тальвегу восточного отверстия получены по съёмке, выполненной в 2010 г. до глубины 160 м.

Верховье этого отверстия Константиновского каньона от берега и до глубины 300-350 м представлено двумя эрозионными ложбинами, объединяющимися в единый тальveg, который на глубине около 550 м впадает в центральное русло. Первая эрозионная ложбина, вершина которой выходит на глубину 34 м, расположена на расстоянии 430 м от центрального русла каньона, а вторая, наиболее ярко выраженная, выходит на глубину 22 м, в 700 м от него. В дальнейшем анализ рельефа и рассмотрение процессов проводится именно по второй ложбине восточного отверстия. Средний уклон дна прибрежного участка, расположенного между центральным руслом и восточным отверстием, от уреза воды до глубины 22 м составляет 0,052 ( $3^\circ$ ), а средний уклон дна более удалённой от центрального русла второй ложбины восточного отверстия от её верховья до глубины 160 м – 0,327 ( $18,1^\circ$ ).

С глубиной наблюдается многократная смена уклонов дна этой ложбины восточного отвершка Константиновского каньона (см. таблицу 3). Наибольшие уклоны дна здесь наблюдаются в диапазоне глубин от 35 до 40 м и от 80 до 110 м, что, по-видимому, связано с обнажением конгломератов [1, 2].



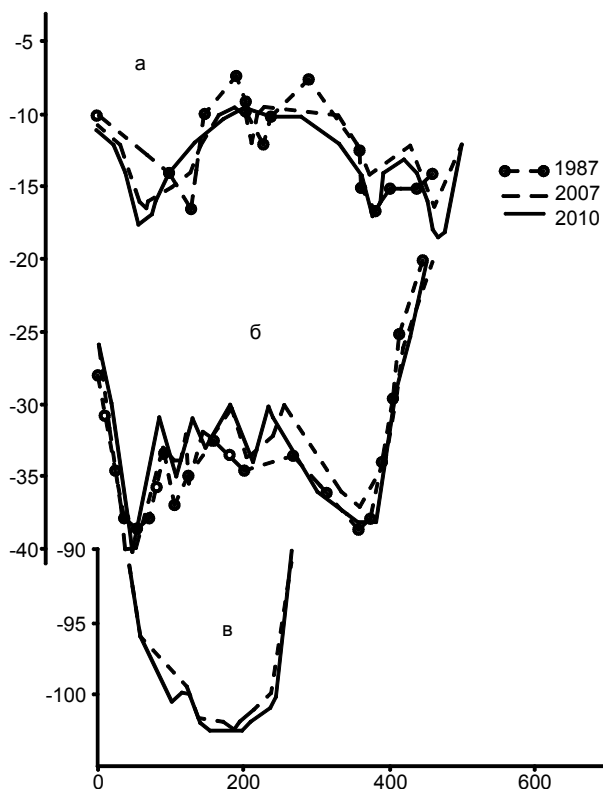
*Рис. 6. Совмещенные продольные профили восточного отвершка каньона Константиновский за 1975 - 2010 гг. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м.*

На расстоянии 800 м от берега на глубине 150 м ширина тальвега восточного отвершка по верху составляет 230 м, а по дну – около 20 м, при этом высота его западного, более крутого борта равна 50 м. Продольный профиль по тальвегу восточного отвершка имеет слегка выпуклую форму (рис. 6). В диапазоне глубин от 22 до 50 м продольные профили за 1975 и 2010 годы практически совпадают, что свидетельствует об относительной стабильности дна за прошедшие 35 лет и слабом проявлении эрозионно-аккумулятивных процессов. Литодинамические процессы, протекающие в верховьях Константиновской системы каньонов, рассмотрены в совокупности с динамикой прилегающего галечного пляжа, поскольку они во многом взаимосвязаны.

Анализ изменения рельефа береговой зоны в пределах верховья центрального русла Константиновского каньона на протяжении 460 м за период с 1975 по 1987 годы свидетельствует в целом о выдвигании пляжа в сторону моря и повышении отметок дна на всём протяжении верховья каньона. Напротив западного фланга центрального русла пляж выдвинулся в море на 13 м, а восточного – на 3 м. Это свидетельствует о том, что пляжеобразующий материал на этот участок берега поступал преимущественно под воздействием штормов западных направлений. Однако, в центральной части линия берега отступила на 5 м. При этом, изобата 10 м сместилась в

море на 20-30 м, а изобата 20 м – на 18-20 м, то есть, на подводном склоне наблюдалась аккумуляция пляжного материала. Основное отложение наносов в центральном русле каньона произошло в диапазоне глубин от 8 до 30 м. Объём аккумуляции наносов за период с 1975 по 1987 годы здесь составил около 138 тыс.м<sup>3</sup>, из которых 21 тыс.м<sup>3</sup> отложились на пляже до глубины 6 м и 117 тыс.м<sup>3</sup> – в верхней части центрального русла каньона. Исходя из этого, среднегодовые потери пляжеобразующего материала в каньон составляли 10,6 тыс.м<sup>3</sup> в год, что хорошо согласуется с данными, приведёнными в работах [6, 7]. По-видимому, эта величина потерь может оказаться несколько большей, из-за возможного ухода наносов на глубины более 30 м. Следует отметить, что отложенный в верхней части центрального русла материал, в основном, представлен галькой. На это указывает большая крутизна дна верхней части русла (см. таблицу 3) и данные обследования каньона, выполненные В.П. Зенковичем [1].

За период с 1987 по 2007 годы положение линии берега в пределах верховья каньона, как и объём пляжа до глубины 6 м, изменились незначительно. На глубинах до 30 м, за рассматриваемый период времени, был отмечен некоторый размыв дна центрального русла, при этом максимальные деформации наблюдались в средней его части (рис. 7). Наносы, перемещаемые с верховья каньона, частично аккумуляровались на глубинах более 30 м. В диапазоне глубин от 6 до 25 м объём размыва оценивается в 13 тыс.м<sup>3</sup>, из которых 10 тыс.м<sup>3</sup> сместились вниз и отложились на глубинах от 30 до 40 м.



*Рис.7. Совмещенные поперечные профили через центральное русло Константиновского каньона. По горизонтали – расстояния от берега, м; по вертикали – глубина моря, м; буквы на рисунке – удаление сечения от берега: а - 60 м; б - 150 м; в - 350 м.*

За три последующих года с 2007 по 2010 гг. на участке берега, расположенном напротив верховья русла каньона, в большей своей части преобладал размыв пляжной полосы. Берег отступил от 6 до 13 м и только напротив западного фланга центрального русла каньона он незначительно выдвинулся. Общий объем размыва пляжа составил около 12 тыс.м<sup>3</sup>. В центральном русле каньона на глубинах от 10 до 100 м, как и на пляже, также преобладал размыв дна, интенсивность которого существенно отличалась по его длине. Положение изобаты 10 м на западном фланге русла, практически, не изменилось, а в центральной и восточной его частях к 2010 г., по сравнению с 2007г., она сместилась к берегу на 5 и 7 метров, соответственно. Изобаты 20 и 30 м отступили на 4-5 м. Объем размыва дна русла в диапазоне глубин 10-40 м оценивается в 27 тыс.м<sup>3</sup>. Частично этот материал задержался на глубинах от 40 до 100 м, но, в целом, на этих глубинах также преобладал размыв дна русла (рис. 7). За период с 1987 по 2010 гг. минимальные деформации дна русла наблюдались в его западной части, а максимальные – в осевой зоне.

Эрозионно-аккумулятивные процессы в центральном русле каньона Константиновский в 2007-2010 гг. протекали в условиях расширения зоны низового размыва, обусловленного возведением оградительных молв порта Сочи-Имеретинский, прервавших вдольбереговой поток наносов, направленный от устья р. Мзымта в юго-восточном направлении. Вместе с тем, можно полагать, что к 2010 г. зона низового размыва ещё не достигла центрального русла каньона и все деформации на галечном пляже и в русле определялись, в основном, волнением и не были связаны с дефицитом пляжеобразующего материала в потоке наносов.

По наличию в Константиновском каньоне западного и восточного отвершков, а также ярко выраженных тальвегов, расположенных вдоль бортов центрального русла, можно предположить, что он имеет двустороннее питание. Представляется, что западный отвершек Константиновского каньона и тальveg, расположенный вдоль западного борта центрального русла, сформировались под эродирующим воздействием наносов, перемещаемых штормами западных направлений. При штормах южного и юго-восточного направлений наносы, в том числе и гравийно-галечный материал, уходят в восточный отвершек и в тальveg, расположенный у восточного борта центрального русла. Когда волны подходят к центральному руслу каньона по нормали возможен сток наносов по ширине всего его верховья.

Перемещаемый по эрозионным ложбинам, расположенным вдоль западного и восточного бортов центрального русла, крупнообломочный и песчаный материал эродируют дно и обуславливают их углубление. Сохранение таких условий в течение длительного времени, привело к переуглублению крайних эрозионных ложбин и формированию двух тальвегов, прижатых к бортам центрального русла, дно в которых ниже, чем в эрозионных ложбинах, расположенных по центру русла.

Как следует из таблицы 1, от бровки свала и до глубины 80 м наблюдается постепенное уменьшение ширины центрального русла. Но как было показано выше, именно в этом диапазоне глубин вдоль бортов русла наблюдаются хорошо развитые эрозионные борозды. Представляется, что совпадение глубин выклинивания тальвегов борозд, расположенных у бортов центрального русла и нижней границы его сужения по дну, обусловлено воздействием перемещаемого крупнообломочного материала,

который при своём движении эродирует не только дно, но и боковые стенки русла. В результате за продолжительный период произошло не только переуглубление крайних эрозионных ложбин и формирование двух тальвегов, но и их удаление от оси русла. Процесс расширения верхней части русла достаточно активен и в настоящее время.

## **ВЫВОДЫ**

Выполненный анализ морфолитодинамических процессов свидетельствует о том, что центральное русло каньона Константиновский и два его отвершка-западный и восточный, включая и более мелкие эрозионные борозды, являются единой автономной системой, отделённой от соседних систем подводными хребтами, функционирование которой обусловлено наличием наносов, перемещаемых вдоль берега под воздействием волн и течений. Каньон Константиновский по литодинамической связи с береговой зоной относится к латеральному типу, получающему наносы при их вдольбереговом перемещении.

Особенностью Константиновской системы каньонов является приуроченность её центрального русла к вершине одноимённого мыса, сложенного легко размываемыми породами, окаймлённого, до возведения порта Сочи-Имеретинский, широким галечным пляжем, знакопеременные колебания ширины которого не превышали 5 м. В то же время, напротив западного отвершка пляж систематически размывался и линия берега отступала, а у восточного амплитуда знакопеременных смещений уреза достигала 35 м.

Верховье центрального русла, выходящее на глубины 10-12 м, прорезано продольными эрозионными бороздами. По центру русла борозды, распространяющиеся в основном до глубины 40 м, врезаются в его дно от 2 до 4 м, а у бортов до 9 м и в рельефе они выражены до 80 м.

До глубины 200 м сечение центрального русла имеет U-образную форму с крутыми бортами и его дно сложено крупнообломочным материалом, в связи с чем, оно имеет крутой уклон. Средний наклон его дна в диапазоне глубин от 10 до 100 м составляет около  $18^{\circ}$ , уменьшаясь до  $14^{\circ}$  на глубинах от 100 до 200 м. На продольных профилях центрального русла наблюдается многократная смена уклонов дна, что может свидетельствовать о смещении наносов на глубину.

Бровка верховья западного отвершка расположена на глубине 14 м и в его верхней части оно имеет V-образное сечение. Наклон дна его тальвега до глубины 40 м составляет около  $14^{\circ}$ .

Бровка верховья восточного отвершка выходит на глубину 22 м. Средний наклон дна его тальвега до глубины 160 м, как и в центральном русле, составляет  $18^{\circ}$ .

Объёмы наносов, уходящие в ложбины и интенсивность проявления в них эрозионно-аккумулятивных процессов, во многом зависят от глубины на бровках верховий и их удалённости от берега. Пляжеобразующий крупнообломочный материал может поступать в эрозионные ложбины только при сильных штормах, повторяемость которых невелика. Кроме того, во время штормов к бровкам свала глубин эрозионных ложбин приближается зона обрушения волн, к которой оттягивается крупный, а значит менее подвижный материал. В основном крупнообломочный материал во время штормов перемещается выше зоны обрушения волн, поэтому объёмы его поступления

в эрозионные ложбины должны быть незначительны. По данным выполненного анализа в наиболее развитое центральное русло Константиновского каньона, ширина верховья которого вдоль берега составляет 450 м, в среднем в год поступает около 10-11 тыс. м<sup>3</sup> гравийно-галечного материала.

По наличию в Константиновском каньоне западного и восточного отвершков, а также присутствию эрозионных ложбин, расположенных вдоль бортов центрального русла, можно предположить, что он имеет двустороннее питание. Западный отвершек Константиновского каньона и эрозионная ложбина, расположенная вдоль западного борта центрального русла, по-видимому, сформировались под эродирующим воздействием наносов, в том числе и гравийно-галечных, перемещаемых штормами западных направлений. При штормах южного и юго-восточного направлений наносы, преимущественно песчаные, уходят в восточный отвершек и эрозионную ложбину, расположенную у восточного борта центрального русла. Когда высокие волны малой режимной обеспеченности подходят к центральному руслу каньона по нормали сток наносов на глубину происходит по всей ширине его верховья.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-0790).

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкович В.П. Подводные каньоны. Серия «Наука о Земле» № 4. – М.: Изд-во «Знание», 1978. – 56 с.
2. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения. Под редакцией И.П.Балабанова. – М.: Недра, 2011. – 281 с.
3. Пешков В.М. Галечные пляжи неприливных морей. Основные проблемы теории и практики. – Краснодар: Эдарт-принт, 2005. – 444 с.
4. Петров В.А., Тлявлин Р.М., Ярославцев Н.А. Формирование контура берега в зоне подводных каньонов // Труды Всероссийской конференции «VI Щукинские чтения» «Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты». – Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, 2010. – С. 335-337.
5. Петров В.А., Тлявлиня Г.В., Ярославцев Н.А. Морфология галечного пляжа в зоне подводных каньонов // Материалы конференции «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности». – СПб: Изд-во РГГМУ, 2011. – С.107-108.
6. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Береговые процессы в зоне подводных каньонов междуречья Мзымта-Псоу // Материалы XXIV Международной береговой конференции. Посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». «Морские берега – эволюция, экология, экономика». – Туапсе, 1-6 октября 2012. – С. 274-277.
7. Петров В.А., Ярославцев Н. А. Оценка потерь галечного материала в подводные каньоны на участке берега междуречья Мзымта-Псоу // Материалы XXIV Международной береговой конференции. Посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». «Морские берега – эволюция, экология, экономика». – Туапсе, 1-6 октября 2012. – С. 278-282.
8. Тлявлин Р.М., Ярославцев Н.А., Тлявлиня Г.В., Петров В.А. Имеретинская низменность. Проблемы берегозащиты // Гидротехника. – 2012. – № 4 (29). – С. 46-49.
9. Сафьянов Г.А., Меншиков В.Л Пешков В.М. Подводные каньоны – их динамика и взаимодействие береговой зоной океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 197 с.

10. Ярославцев Н.А., Петров В.А., Кириленко А.П. Динамика береговой зоны Имеретинской низменности // International journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2011. – № 7(2). – С. 126-131.

11. Ярославцев Н.А., Петров В.А. Морфология каньонов Имеретинской низменности// Материалы Всероссийской конференции «VII Щукинские чтения» «Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике». Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 18-21 мая 2015 г. – М.: МАКС Пресс, 2015. – С. 537-540.

12. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Морфодинамика системы подводных каньонов морского края Имеретинской низменности (Чёрное море) // Сложные системы. – 2016. – № 2 (19). – С. 22-44.

**MORPHODYNAMIC SYSTEM OF KONSTANTINOVSKY SUBMARINE CANYON  
(BLACK SEA)**

**Yaroslavtsev N.A.**<sup>1</sup> (Cand. Sci. (Technical)),

**Safyanov G.A.**<sup>2</sup> (Dr. Sci. (Geography)),

**Petrov V.A.**<sup>3</sup> (Cand. Sci. (Geography))

<sup>1</sup> Joint Stock, Company Research Institute of Transport Construction Research Center "Sea coast", Sochi, Russian Federation; [demmi8@mail.ru](mailto:demmi8@mail.ru);

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Geographical department, Moscow, Russian Federation; [safyanov.gen@yandex.ru](mailto:safyanov.gen@yandex.ru);

<sup>3</sup> Joint Stock, Company Research Institute of Transport Construction Research Center "Sea coast", Sochi, Russian Federation; [demmi8@mail.ru](mailto:demmi8@mail.ru)

**Abstract.** The analysis of morphodynamics of erosion troughs, which form the system of the underwater canyon Konstantinovsky, including a central channel and two lateral openings, is given on the basis of repeated topobathymetric surveys: the western and the eastern. The connections of the processes taking place in the upper reaches of the canyon with the dynamics of the adjacent pebble beaches are established. Within the upper course of the central channel 450 m wide along the coast, reaching a depth of 10-12 m, the sediment runoff to the depth occurs along the longitudinal grooves developed at the bottom of its central part to depths of 40-50 m and along the sides to 80 m. Accumulation sediments in the upper parts of the channel and the openings of the canyon leads to the extension of the dump of the depths in the sea, the increase in the steepness of its sea edge and, when the critical slope is reached, the accumulated material is displaced by waves and gravity down the thalweg. After this, the sedimentation phase begins again in the upper reaches of the erosion troughs. The speed and volume of accumulation of material in the central channel and lateral holes largely depend on the remoteness of their upper reaches from the shore and the intensity of the long-range transport of sediments caused by the stormy activity of the sea.

**Key words:** accumulation, brow stall depths, coastal stream sediments, underwater canyon tributaries, ravine tributary, erosion, sediment load, the thalweg, the mouth of the river.

**REFERENCES**

1. Zenkovich, V. P., Submarine canyons. Series "Earth Science", no. 4. M.: Publishing house "Knowledge", 1978, 56 p.

2. Imereti lowland. Natural and geological conditions, the problems of development. Edited by I. P. Balabanov. M.: Nedra, 2011, 281 p.

3. Peshkov V. M. the Pebble beaches of non-tidal seas. The main problems of theory and practice. Krasnodar: Edart-print. 2005, 444 p.

4. Petrov V. A., Tleulin R. M., Yaroslavtsev N.A. The formation of the contour of the shore in the zone of submarine canyons. Proceedings of the conference "VI Schukinskaya" read

"Geomorphological processes and its applications", Moscow, MSU named after M. V. Lomonosov, 2010, pp. 335-337.

5. Petrov V. A., Tleulina G. V., Yaroslavtsev N.A. The morphology of pebble beach in the area of submarine canyons. Materials of the conference "the doctrine of the sea development: age-old traditions and ideas of our time". SPb: Publishing house RGGMU, 2011, pp. 107-108.

6. Petrov V. A., Yaroslavtsev N.A. Coastal processes in the area of submarine canyons between the rivers Mzymta and Psou. Proceedings of the XXIV International coastal conference. Dedicated to the 60th anniversary of the founding of the Working group "Sea coasts". "Sea coasts – evolution, ecology, economy". Tuapse, 1-6 October 2012, pp. 274-277.

7. Petrov V. A., Yaroslavtsev N. A. Assessment of losses of pebble material in submarine canyons on the stretch of coastline between the rivers Mzymta and Psou. Proceedings of the XXIV International coastal conference. Dedicated to the 60th anniversary of the founding of the Working group "Sea coasts". "Sea coasts – evolution, ecology, economy". Tuapse, 1-6 October 2012, pp. 278-282.

8. Claflin R. M., Yaroslavtsev N. A. Tleulina G. V., Petrov V. A. Imereti lowland. Problems perigosamente. *Gidrotekhnika*, 2012, no. 4 (29), pp. 46-49.

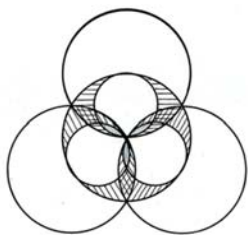
9. Safyanov G. A., Menshikov V. L., Peshkov V. M. Submarine canyons - their dynamics and interaction of the coastal zone of the ocean. M.: Izd vo VNIRO, 2001, 197 p.

10. Yaroslavtsev N. A., Petrov V. A., Kirilenko A. P. The Dynamics of the coastal zone in the Imereti lowland. *International journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2011, no. 7(2), pp. 126-131.

11. Yaroslavtsev N. A., Petrov V. A. The Morphology of the canyons Imereti lowland// Materials of all-Russian conference "VII Schukinskaya" read "Geomorphological geomorphological resources and security: from theory to practice", Moscow, MSU named after M. V. Lomonosov, 18-21 may 2015, Moscow: MAKS Press, 2015, pp. 537-540.

12. Yaroslavtsev N. A. SAF'yanov, G. A., Petrov V. A. river rift morphodynamics of the system of submarine canyons marine edge of the Imereti lowland (Black sea). *Slozhnye sistemy –The Complex systems*, 2016, no. 2 (19), pp. 22-44.

УДК 911.2:551.4:504.06



**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ  
С ОПАСНЫМИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ КАК СЛОЖНЫЕ ГЕОМОРФОСИСТЕМЫ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Кузьмин С.Б.** (д.геогр.н., вед.н.с.)

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, РФ;  
kuzmin@irigs.irk.ru; sbkuzminhome@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье на основе выделенных ранее геоэкологических районов Иркутской области проведена оценка структуры или спектра опасных геоморфологических процессов. Определены взаимосвязи между собственно опасными геоморфологическими процессами в геоэкологических районах, а также их различными типами. Рассмотрено пространственное распределение основных опасных геоморфологических процессов по геоэкологическим районам. Создана синергетическая геоморфосистемная модель развития опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах как сложных диссипативных открытых нелинейных системах.

**Ключевые слова:** геоморфосистемы, опасные геоморфологические процессы, геоэкологическое районирование, Иркутская область.

**ВВЕДЕНИЕ**

Для оценки риска природопользования на региональном уровне требуется выделение соразмерных объектов исследований, т.к. в зависимости от региональных географических условий и видов хозяйственной деятельности воздействие оказывается преимущественно на какие-то отдельные компоненты ландшафта. Анализируя это воздействие для крупных регионов, мы неминуемо затрагиваем проблемы пространственно-временной системной организации ландшафтов. Этот феномен, открытый отечественной школой ландшафтоведения [34], стал основой всех последующих за этим открытием ландшафтных исследований. В основу ландшафтоведения был положен тезис о том, что иерархию ландшафта следует рассматривать как отражение иерархии рельефа Земли, а базой формирования ландшафтного разнообразия является литогенная основа ландшафтов – горные породы и геолого-геоморфологические процессы [9, 21, 29, 35].

Рельеф Земли является не только границей раздела геосфер, он есть и результат их исторического взаимодействия, а через свою морфологию и динамику сам активно воздействует на процессы, происходящие в этих геосферах, приводит к перераспределению энергии, потоков водных, воздушных, минеральных и техногенных масс с их как вредными, так и полезными для человека компонентами. Рельеф и геоморфологические процессы играют ведущую роль в дискретизации, строении и функционировании географических полей, компонентов и комплексов, связывают все общее между веществом, структурой и процессами в ландшафте. Рельеф определяет геофизические, геотехнические и геохимические функции территории, формирует ее топоструктуру, геопространственную систему, пространственно-временную иерархию ландшафта, влияет на особенности регионального природопользования, специфику

хозяйствования, ритмы этногенеза. Прогнозирование геоморфологических процессов способствует формированию более эффективной системы защиты от неблагоприятных воздействий морфогенеза Земли на человека.

Рельеф определяет термодинамические отношения и формирует динамическое равновесие сложной геобиоантропной системы через следующие свои главные функции: 1) модифицирует энергетический баланс территории через сложность, экспозицию и крутизну геоморфологических поверхностей; 2) управляет переносом вещества и энергии, фокусируя и концентрируя их в большой мере, нежели другие природные факторы; 3) является субстратом органической жизни; 4) определяет развитие общества через способы хозяйствования, этническую самобытность, культуру и менталитет социумов; 5) формирует экологические ситуации [36]. Рельеф – это главный плацдарм и ресурс хозяйственной деятельности человека. Одновременно он и главный источник опасности как собственно для человека, так и для хозяйственной инфраструктуры, экономики.

### **ОБЪЕКТЫ И ПРОЦЕДУРА ИССЛЕДОВАНИЙ**

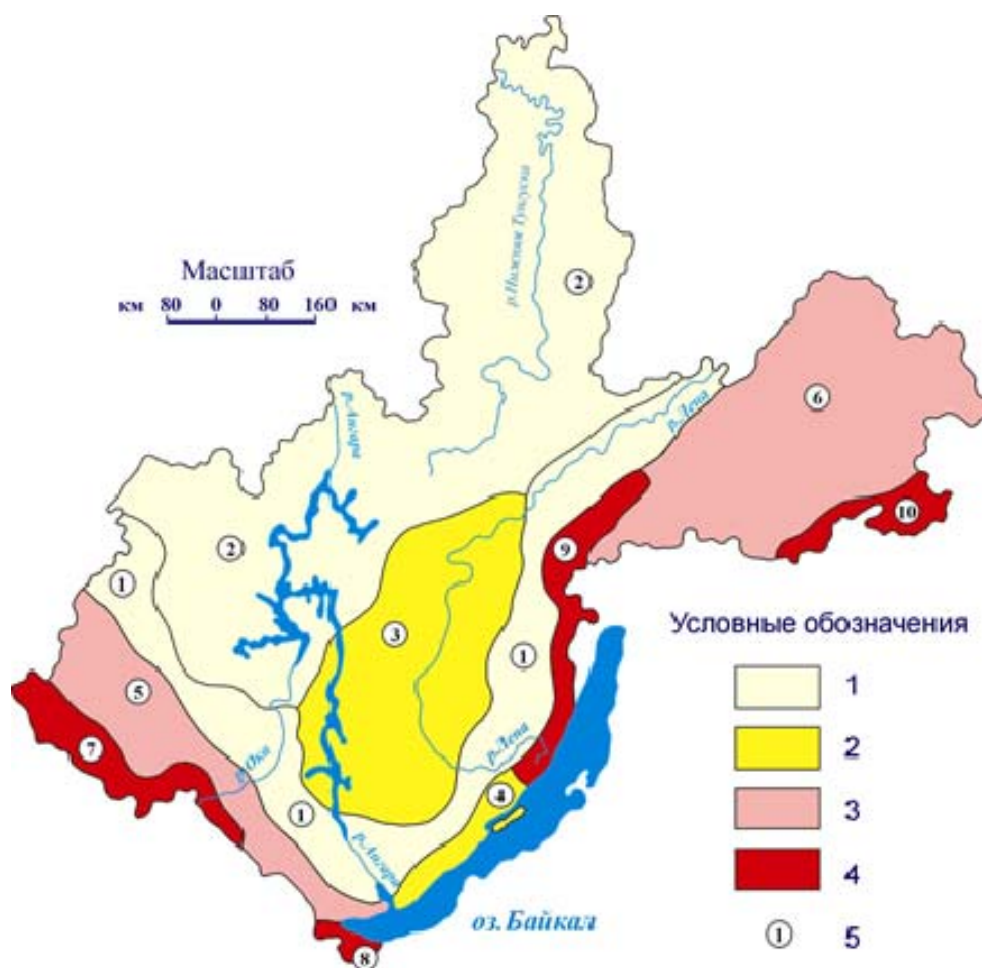
В качестве объекта исследований выбран крупный регион Российской Федерации – Иркутская область. Она имеет площадь 767.8 тыс. км<sup>2</sup> или 4.6 % общероссийской, расположена в центре Азии, на значительном удалении от морских берегов. Крайняя южная точка – 51°08', крайняя северная – 64°15' северной широты.

Основные геоэкологические проблемы Иркутской области связаны: 1) с освоением минерального сырья – Иркутско-Черемховский угольный бассейн, Коршуновский ГОК и железорудное месторождение, Сухоложское и Бодайбинское золоторудные месторождения, Ковыктинское газоконденсатное и Марковское нефтегазовое месторождения и др.; 2) с освоением гидроэнергетических ресурсов – ангарский каскад ГЭС; 3) с защитой от паводков на крупных реках, 4) с загрязнением воздуха и почвенно-растительного покрова от атмосферных эмиссий в крупных промышленных центрах; 5) с эрозией и дефляцией почв на обрабатываемых землях Иркутско-Черемховской равнины; 6) с сильными землетрясениями в районах, прилегающих к Байкальской рифтовой зоне; 7) с загрязнением подземных вод в районах бурения глубоких поисковых и эксплуатационных скважин.

По риску природных и техногенных воздействий Иркутская область попадает в категорию, где высока естественная вероятность развития опасных природных процессов, а уровень экономического и социального развития не позволяет на должном уровне предупреждать и ликвидировать стихийные бедствия, их последствия и другие чрезвычайные ситуации природного характера (суммарный риск на освоенных землях – высокий) [10, 30, 32]. Сложная ситуация в Иркутской области складывается согласно расчетам индивидуального риска смертности населения в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Расчеты за период 1995-2001 г.г. показали, что все субъекты РФ подразделяются на три категории по уровню индивидуального риска: 1) с повышенной опасностью для жизнедеятельности – области высокого риска; 2) с умеренной опасностью для жизнедеятельности – области приемлемого риска; 3) безопасные для жизнедеятельности – области пренебрежимого

риска. Иркутская область входит в категорию высокого риска и среди субъектов РФ занимает 12 место –  $20.1 \times 10^{-6}$  чел./год [31].

Для геоэкологической оценки геоморфологических процессов необходимо выделить классы экологической опасности, что требует создания геолого-геоморфологического каркаса – определение районов с характерными типами опасных геолого-геоморфологических процессов, т.е. геоэкологического районирования. Главным подходом к геоэкологическому районированию выступает классификация опасных геоморфологических процессов. Эти работы были проведены нами ранее [14-16, 19]. Главным их результатом стала карта геоэкологического районирования Иркутской области (рис. 1).



**Рис. 1.** Геоэкологическое районирование Иркутской области. Классы экологической опасности: 1 – I класс (низкая опасность); 2 – II класс (умеренная опасность); 3 – III класс (высокая опасность); 4 – IV класс (очень высокая опасность). 5 – геоэкологические районы по номерам: 1 – Канско-Ленский; 2 – Ангаро-Тунгусский; 3 – Лено-Ангарский; 4 – Приморский; 5 – Предсаянский; 6 – Байкало-Патомский; 7 – Восточно-Саянский; 8 – Хамар-Дабанский; 9 – Северо-Байкальский; 10 – Муйско-Кодарский.

На каждый выделенный геоэкологический район Иркутской области воздействуют зональные (широтное распределение солнечной радиации на земной поверхности) и а зональные (особенности гипсометрического положения,

литологического состава горных пород, движений земной коры, соотношения суши и моря) агенты морфогенеза, т.е. главные факторы, определяющие геоэкологическую обстановку. Одновременно в рельефе действуют процессы интеграции, связующие посредством циркуляции воздушных масс, стока, склонового перемещения твердого материала разнородные участки земной поверхности в сложные территориальные системы – геоморфосистемы [20, 28].

Наиболее тесные и разносторонние связи наблюдаются между смежными участками рельефа (между склонами и подножиями гор, речными долинами и водосборами рек и т.п.). По мере увеличения размеров и сложности элементов районирования (от районов к секторам) «теснота» связей массо-энергопереноса в геоморфосистемах ослабевает и степень пространственной однородности уменьшается. Это вызывает необходимость различать районы разного ранга и пользоваться многоступенчатой системой районирования. При районировании горных территорий (а в Иркутской области они занимают основную часть площади) роль главного критерия играет структура высотной поясности. Различным горным провинциям и районам свойственны специфические ряды (спектры) высотных поясов, зависящие от широтно-зонального и долготного положения того или иного горного поднятия, его абсолютной высоты, ориентировки хребтов и экспозиции склонов.

Проведенные исследования поставили следующие задачи: 1) оценить структуру или спектр опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах Иркутской области; 2) определить взаимосвязи между опасными геоморфологическими процессами в геоэкологических районах; 3) рассмотреть пространственное распределение опасных геоморфологических процессов по геоэкологическим районам; 4) создать синергетическую модель развития опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах как сложных диссипативных открытых нелинейных системах.

Развитие рельефа обусловлено несколькими геоморфологическими процессами, среди которых выделяется ведущий. Он проявляется с неодинаковой интенсивностью, по-разному взаимодействует с другими процессами, образуя систему процессов. Единство геоморфологических процессов находится в пространственном и временном соотношении и взаимодействии. Это позволяет говорить о структуре процессов, т.е. их пространственных и временных соотношениях, порождающих новые процессы, парагенетические связи, направленность и ритмичность развития [7, 8]. Процедура составления карт ведущих геоморфологических процессов использует известный принцип абстрагирования, который реализуется на высоком уровне, позволяющем разобраться в сложной мозаике процессов, выявить главные факторы и тенденции развития рельефа [2].

Анализ структуры процессов проведен в двух направлениях: 1) оценка спектра процессов по геоэкологическим районам; 2) оценка взаимосвязей процессов внутри и между районами. Все геоморфологические процессы разделены на 3 типа: 1) ведущие; 2) сопутствующие; 3) второстепенные. *Ведущий процесс* формирует основные геоморфологические черты района, имеет наибольшую интенсивность и скорость и представляет наибольшую опасность. *Сопутствующий процесс* участвует в формировании основных геоморфологических черт района, имеет значительную

интенсивность и представляет потенциальную опасность. Второстепенным процесс участвует в формировании геоморфологических черт локальных участков в пределах района, на которых он представляет потенциальную опасность. Другие процессы представляют потенциальную опасность на детальных участках, где их интенсивность по сравнению со всем районом не значима.

Для выявления спектров процессов использован экспертно-статистический метод. Его эффективность обоснована в ряде работ [6, 12, 13, 22]. Метод основан на учете весовых коэффициентов, которые определяются методом анализа иерархий [33].

Выявление взаимоотношений между геоэкологическими районами по опасным геоморфологическим процессам и между собственно опасными геоморфологическими процессами внутри районов производилось в несколько этапов: 1) оценка связи геоэкологических районов по спектру опасных геоморфологических процессов; по доле ведущих, сопутствующих и второстепенных процессов; по количеству этих процессов; 2) оценка связи районов по спектру опасных геоморфологических процессов с помощью полиномиальных зависимостей; 3) оценка распределения опасных геоморфологических процессов по геоэкологическим районам с помощью полиномиальных зависимостей; 4) оценка роли процесса как ведущего в структуре процессов; 5) распределение опасных процессов внутри районов для создания модели формирования и типа структуры процессов.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты экспертно-статистического анализа позволили выделить спектры опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах Иркутской области и построить полиномиальные тренды их распределения (рис. 2; таблица 1). Результаты анализа связи геоэкологических районов по спектру опасных геоморфологических процессов отражены в таблице 2. Отмечается четкая зависимость между горными районами с коэффициентом корреляции более 0.9. Достаточно высокие коэффициенты корреляции с горными районами характерны для Байкало-Патомского района – более 0.7. Предсаянский район имеет высокую степень общности со всеми горными районами, а также с Байкало-Патомским районом. Одновременно он определил хоть и низкую ( $R > -0,2$ ), но устойчивую степень разобщенности с равнинными районами. У Приморского района нет статистически достоверной общности с другими районами. Однако по степени разобщенности он имеет устойчивую отрицательную связь с равнинными районами. Лено-Ангарский район имеет среднюю степень общности с горными районами (более 0.5) и высокую – с предгорными и низкогорными районами (более 0.7), что позволяет рассматривать его как район, тяготеющий к горам. Ангаро-Тунгусский район не имеет статистически достоверной общности или разобщенности с другими районами; исключением является его высокая степень разобщенности с Приморским районом. Канско-Ленский район имеет высокую степень разобщенности с горными районами и среднюю степень разобщенности с предгорными и низкогорными районами; одновременно у него имеется хоть и статистически незначимая, но определенная тенденция к общности с Ангаро-Тунгусским геоэкологическим районом.

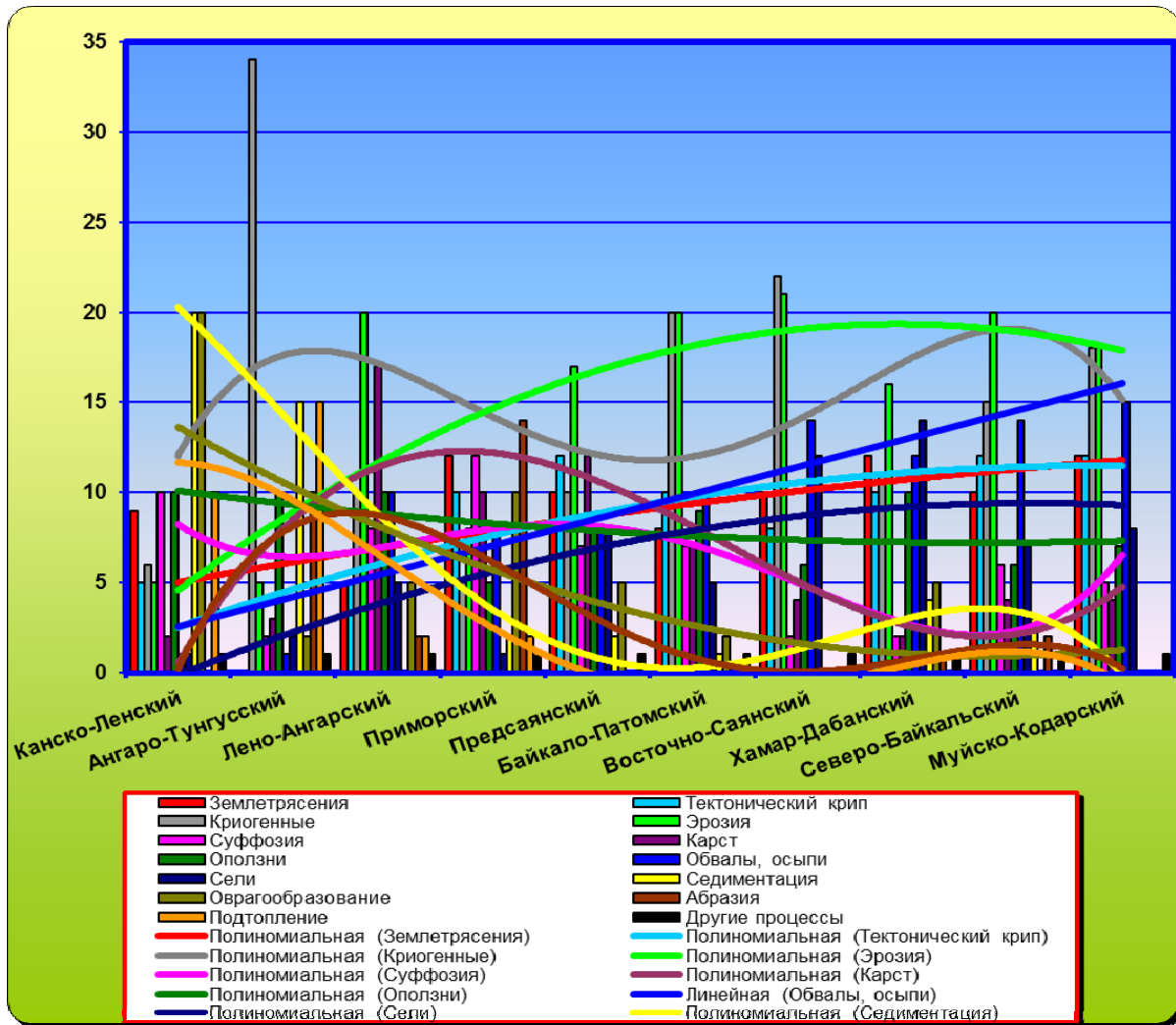


Рис. 2. Спектры опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах Иркутской области и полиномиальные тренды их распределения

Взаимоотношения между ведущими, сопутствующими и второстепенными процессами имеют большое значение при оценке характера их протекания и особенностей воздействия на хозяйственную инфраструктуру. Эти соотношения сведены в таблице 3. Это позволило выявить некоторые логически достоверные зависимости. Два равнинных района Канско-Ленский и Ангаро-Тунгусский показали высокую степень общности друг с другом с коэффициентом корреляции 0,86. Примечательна и статистически высоко значимая ( $R > -0,9$ ) степень разобщенности Предсаянского геоэкологического района с другими средне- и низкогорными геоэкологическими районами – Приморским и Ангаро-Тунгусским. Степень разобщенности Лено-Ангарского и Северобайкальского геоэкологических районов также статистически высоко значима. Хотя эти районы и находятся территориально близко друг от друга, но структура опасных геоморфологических процессов указывает на различие их происхождения. Эти же выводы относятся и к зависимости Приморского и Северобайкальского геоэкологических районов. Не ясны отрицательные зависимости между Восточно-Саянским и Предсаянским геоэкологическими районами.

Структура опасных геоморфологических процессов в горах и на равнинах более упорядочена, чем в предгорьях. Это подтверждают и положительные отношения общности по данным показателям между равнинными и горными геозкологическими районами.

Таблица 1. Спектры (структура) опасных геоморфологических процессов Иркутской области (анализируется по площади развития поражающего фактора, %)

Класс опасности	Геозкол. районы	Ведущие процессы			Сопутствующие процессы			Второстепенные процессы			
		Кол-во	Наименование	Спектр	Кол-во	Наименование	Спектр	Кол-во	Наименование	Спектр	
I	Канско-Ленский	2	Оврагообразование	20	4	Суффозия	10	8	Криогенные	6	
						Тектонический крип	5				
					Оползни	10	Эрозия		5		
					Подтопление	10	Карст		2		
			Седиментация	20	Землетрясения	9	Обвалы, осыпи		1		
							Сели		1		
							Другие процессы		1		
	Ангаро-Тунгусский	1	Криогенные	34	4	Седиментация	15	7	Эрозия	5	
						Подтопление	15		Карст	3	
						Оползни	10		Суффозия	2	
						Абразия	10		Оврагообразование	2	
									Сели	2	
									Обвалы, осыпи	1	
			Другие процессы	1							
II	Лено-Ангарский	2	Эрозия	20	3	Обвалы, осыпи	10	8	Суффозия	8	
						Оползни	10		Оврагообразования	5	
			Карст	17	Криогенные	10	Сели		5		
				Землетрясения		5					
					Тектонический крип	5	Абразия		2		
					Подтопление	2					
	Приморский	3	Абразия	14	3	Тектонический крип	10	8	Обвалы, осыпи	8	
				Землетрясения		12	Карст		10	Эрозия	8
				Суффозия		12	Оврагообразование		10	Оползни	5
						Криогенные	5		Седиментация	2	
									Подтопление	2	
III	Предсаянский	1	Эрозия	17	4	Тектонический крип	12	7	Обвалы, осыпи	8	
						Карст	12		Оползни	8	
						Землетрясения	10		Сели	8	
						Криогенные	10		Суффозия	7	
									Оврагообразование	5	
									Седиментация	2	
									Другие процессы	1	
	Байкало-Патомский	2	Эрозия	20	6	Обвалы, осыпи	10	4	Сели	5	
						Тектонич. крип	10		Оврагообразование	2	
						Оползни	9		Седиментация	1	
			Криогенные	20		Землетрясения	8		Другие процессы	1	
						Суффозия	7				
						Карст	7				

Таблица 1. Окончание.

Класс опасности	Геоэкологические районы	Ведущие процессы			Сопутствующие процессы			Второстепенные процессы		
		Кол-во	Наименование	Спектр	Кол-во	Наименование	Спектр	Кол-во	Наименование	Спектр
IV	Восточно-Саянский	2	Криогенные	22	3	Обвалы, осыпи	14	5	Тектонический крип	8
						Сели	12		Оползни	6
						Эрозия	21		Землетрясения	10
							Суффозия		2	
	Хамар-Дабанский	2	Эрозия	16	5	Землетрясения	12	6	Оврагообразование	5
						Обвалы, осыпи	12		Седиментация	4
						Криогенные	11		Суффозия	2
						Оползни	10		Карст	2
						Крип	10		Абразия	1
	Северо-Байкальский	1	Эрозия	20	4	Криогенные	15	7	Сели	7
						Обвалы, осыпи	14		Суффозия	6
						Тектонический крип	12		Оползни	6
						Землетрясения	10		Карст	4
									Седиментация	3
									Абразия	2
	Муйско-Кодарский	2	Эрозия	18	3	Обвалы, осыпи	15	5	Сели	8
Землетрясения						12	Оползни		7	
Криогенные						18	Суффозия		5	
Тектонический крип						12	Карст		4	
				Другие процессы		1				

Таблица 2. Степень общности/разобщенности геоэкологических районов Иркутской области по спектру опасных геоморфологических процессов

Районы	Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Муйско-Кодарский
Канско-Ленский	1,000									
Ангаро-Тунгусский	0,125	1,000								
Лено-Ангарский	-0,263	-0,048	1,000							
Приморский	-0,200	-0,430	0,075	1,000						
Предсаянский	-0,331	-0,238	0,785	0,167	1,000					
Байкало-Патомский	-0,314	0,252	0,707	0,024	0,828	1,000				
Восточно-Саянский	-0,443	0,238	0,554	-0,145	0,728	0,912	1,000			
Хамар-Дабанский	-0,279	-0,112	0,380	-0,183	0,702	0,706	0,846	1,000		
Северо-Байкальский	-0,419	0,047	0,589	0,051	0,795	0,916	0,923	0,816	1,000	
Муйско-Кодарский	-0,439	0,091	0,529	0,020	0,787	0,923	0,953	0,840	0,971	1,000

Примечание: коэффициент корреляции R – более 0,9/-0,9 – степень общности/разобщенности очень высокая; 0,7-0,9/-0,7-0,9 – высокая; 0,4-0,7/-0,4-0,7 – средняя; 0,2-0,4/-0,2-0,4 – низкая; менее 0,2/-0,2 – отсутствует.

На базе таблицы 3 прослежено соотношение между геоэкологическими районами по вкладу ведущих, сопутствующих и второстепенных опасных процессов (таблица 4).

Таблица 3. Соотношение типов опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах Иркутской области по классам экологической опасности

Опасные геоморфологические процессы		Классы экологической опасности									
		I		II		III		IV			
		Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Муйско-Кодарский
Ведущие	Кол-во	2	1	2	3	1	2	2	2	1	2
	Вклад в спектр, %	40	34	37	38	17	40	43	30	20	36
Сопутствующие	Кол-во	4	4	3	3	4	6	3	5	4	3
	Вклад в спектр, %	39	50	30	30	44	51	36	55	51	39
Второстепенные	Кол-во	8	7	8	8	7	4	5	6	7	5
	Вклад в спектр, %	21	16	33	32	39	9	21	15	29	25
Количество значимых процессов		13	11	12	13	11	11	9	12	11	9

Таблица 4. Степень общности/разобщенности геоэкологических районов Иркутской области по вкладу ведущих, сопутствующих и второстепенных опасных геоморфологических процессов

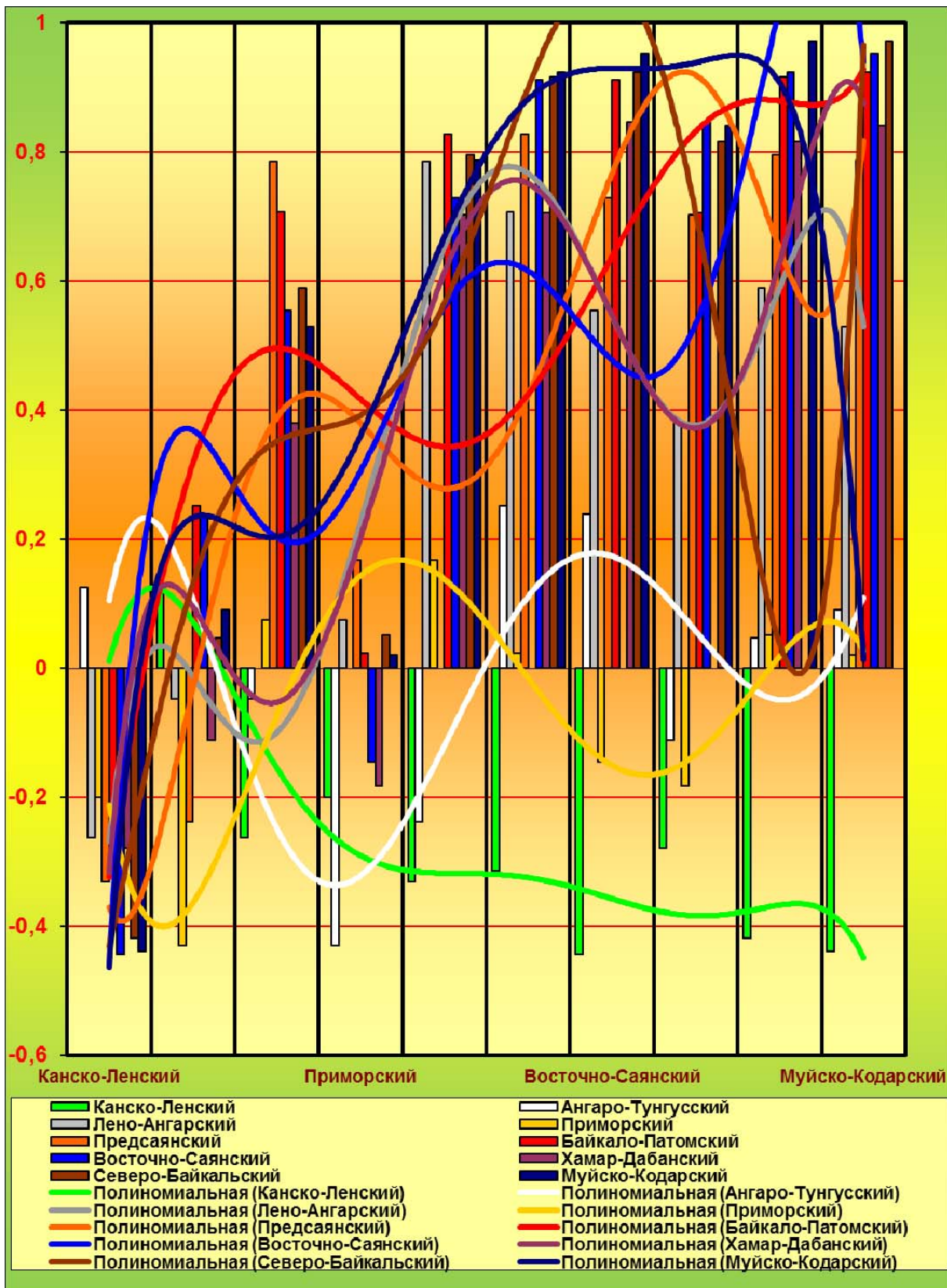
Районы	Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Муйско-Кодарский
Канско-Ленский	1,000									
Ангаро-Тунгусский	0,860	1,000								
Лено-Ангарский	0,129	-0,396	1,000							
Приморский	0,322	-0,207	0,980	1,000						
Предсаянский	-0,375	0,140	-0,964	-0,998	1,000					
Байкало-Патомский	0,955	0,973	-0,172	0,024	-0,093	1,000				
Восточно-Саянский	0,964	0,692	0,388	0,563	-0,617	0,841	1,000			
Хамар-Дабанский	-0,371	0,984	-0,552	-0,376	0,313	0,916	0,554	1,000		
Северо-Байкальский	0,190	0,665	-0,949	-0,869	0,833	0,473	-0,079	0,786	1,000	
Муйско-Кодарский	0,969	0,960	-0,122	0,077	-0,143	0,999	0,867	0,895	0,426	1,000

Примечание: коэффициент корреляции R – более 0,9/-0,9 – общность/разобщенность очень высокая; 0,8-0,9/-0,8-0,9 – высокая; 0,6-0,8/-0,6-0,8 – средняя; 0,4-0,6/-0,4-0,6 – низкая; менее 0,4/-0,4 – отсутствует.

Выявленные выше тенденции проверены с помощью полиномиальных трендов. Были построены диаграммы коэффициента корреляции в уравнениях регрессии между геоэкологическими районами по спектру опасных геоморфологических процессов и полиномиальные тренды распределения этих коэффициентов (рис. 3). Из расчета исключены автокорреляционные коэффициенты для уменьшения уровня статистического «шума».

Показатели достоверности аппроксимации для рассчитанных полиномиальных трендов сведены в таблице 5.

Рассмотрим подробнее рисунок с полиномиальными трендами (рис. 2).



*Рис. 3. Диаграммы распределения коэффициента корреляции в уравнениях регрессии между геоэкологическими районами по спектру опасных геоморфологических процессов и их полиномиальные тренды.*

*Таблица 5. Степень (коэффициенты) достоверности аппроксимации для связей геоэкологических районов между собой по доле (спектру) опасных геоморфологических процессов*

Геоэкологический район Иркутской области	Коэффициент достоверности аппроксимации
Канско-Ленский	0,9839
Ангаро-Тунгусский	0,9847
Лено-Ангарский	0,5238
Приморский	0,8112
Предсаянский	0,7528
Байкало-Патомский	0,8006
Восточно-Саянский	0,8618
Хамар-Дабанский	0,8444
Северо-Байкальский	0,8703
Муйско-Кодарский	0,8909

Полиномиальный тренд для Канско-Ленского геоэкологического района фиксирует только один положительный максимум общности с Ангаро-Тунгусским районом; для других геоэкологических районов отмечается тенденция к разобщенности.

Полиномиальный тренд для Ангаро-Тунгусского района формирует два максимума, из которых только один имеет статистическую достоверность – это положительная связь с Канско-Ленским районом. Второй максимум указывает на тенденцию к связи с некоторыми горными районами (Байкало-Патомским, Восточно-Саянским и Хамар-Дабанским), однако сами коэффициенты корреляции в этом случае статистически слабо различимы.

Полиномиальный тренд для Лено-Ангарского геоэкологического района проявляет только один статистически и логически объяснимый максимум связи с Предсаянским и Байкало-Патомским районами, поскольку все они являются переходными геоморфологическими зонами. Тенденция к положительной связи Лено-Ангарского геоэкологического района с другими горными районами отражает специфику структуры опасных процессов, которая развивается отчасти по сценарию горных районов.

В полиномиальном тренде Приморского района статистически значимыми являются только минимумы: первый отражает отрицательную связь с равнинными районами, второй – разобщенность с высокогорными районами. Приморский район следует отнести скорее к перигорным зонам, что выражается хоть и в статистически мало значимой, но логически хорошо объяснимой положительной связи его с Предсаянским районом.

Полиномиальный тренд Предсаянского района фиксирует его как переходную зону от равнинных районов к горным, на что указывают два максимума.

Полиномиальный тренд Байкало-Патомского геоэкологического района указывает на его тенденцию к общности с Лено-Ангарским районом и всеми высокогорными геоэкологическими районами, что также говорит о нем, как о

некоторой переходной зоне между равнинными и горными территориями, но с большей общностью с горами.

Полиномиальные тренды высокогорных районов практически аналогичны с небольшими вариациями. Для них характерна статистически значимая разобщенность с равнинными районами, средняя степень общности с переходными и высокая между собой (коэффициенты достоверности аппроксимации варьируют от 0,84 до 0,89).

Выделены четыре группы районов: I – с равнинно-холмисто-рядовым рельефом; II – с низко- и среднегорным и плоскогорным рельефом; III – со среднегорным и плоскогорно-нагорным рельефом; IV – с высокогорным рельефом. Выстроив районы в указанном порядке, получаем гипотетический геоморфологический профиль: от равнинных районов – к горным. На профиле отражен спектр опасных геоморфологических процессов всех районов и выявлен характер их полиномиального распределения (таблица 6).

*Таблица 6. Иерархия опасных геоморфологических процессов и коэффициенты достоверности аппроксимации для полиномиального распределения их спектра вдоль гипотетического геоморфологического профиля от равнинных к горным геоэкологическим районам*

Класс процессов	Группа процессов	Процессы	Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2$
Сейсмогенный	Быстрые	Землетрясения	0,37
	Медленные	Тектонический крип	0,63
Криогенный	Мерзлотная	Термокарст, термоэрозия, пучение грунтов, нивация	0,10
Гравитационно-склоновый	Собственно гравитационная	Обвалы, осыпи, лавины	0,82
Склоновый гидрогенного оползания и течения	Блокового сползания	Оползни, осыпи	0,26
Склоновый водно-эрозионный	Линейного размыва	Овражная эрозия	0,69
Озерный	Абразионная	Абразия	0,46
Флювиальный	Эрозии рек и временных водотоков	Глубинная и боковая эрозия	0,62
	Аккумуляции рек и временных водотоков	Сели	0,58
		Пойменная, старичная и дельтовая седиментация	0,98
Подземноводный	Денудации растворимых пород	Карст	0,69
	Денудации нерастворимых пород	Суффозия	0,39
Техногенный	Техномобилизационная	Подтопление	0,79

*Класс процессов: сейсмогенные.* Группа процессов: быстрые. Процесс: землетрясения проявляют тенденцию к возрастанию доли своего участия в спектре опасных геоморфологических процессов по мере продвижения от равнинных к горным районам. Группа процессов: медленные. Процесс: тектонический крип определяет уже зависимость к возрастанию доли своего участия в спектре опасных геоморфологических процессов по мере продвижения от равнинных к горным геоэкологическим районам.

*Класс процессов: криогенные.* Группа процессов: мерзлотные. Процессы: термокарст, пучение грунтов, нивация, термоэрозия. Они определили два максимума: 1) для равнинных районов; 2) для высокогорных районов. В предгорных и низкогорных геоэкологических районах эти процессы менее развиты.

*Класс процессов: гравитационно-склоновые.* Группа процессов: гравитационные. Процессы: обвалы, осыпи, лавины. Полином линейный с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,82$ , отражает увеличение доли этих процессов по направлению от равнин к горам.

*Класс процессов: склоновый гидрогенного оползания и течения.* Группа процессов: блокового сползания. Процессы: оползни, осыпи. Полином не показал достоверной связи или тенденции к ней. Оползни и осыпи в равной степени развиты как на равнинах, так и в горах, с той лишь особенностью, что приурочены к районам широкого распространения осадочных горных пород.

*Класс процессов: склоновый вводно-эрозионный.* Группа процессов: линейного размыва. Процессы: овражная эрозия. Полином показывает устойчивую закономерность к снижению их процентной доли в спектре опасных геоморфологических процессов по направлению от равнинных к горным геоэкологическим районам.

*Класс процессов: озерный.* Группа процессов: абразионные. Процессы: абразия. Полином фиксирует максимумы в районах, тяготеющих к озеру Байкал и ангарскому каскаду водохранилищ, вдоль берегов которых главным образом и развита абразия.

*Класс процессов: флювиальный.* Группа процессов: эрозии рек и временных водотоков. Процессы: глубинная и боковая эрозия. Полином фиксирует тенденцию к нарастанию их доли в спектре опасных геоморфологических процессов по направлению от равнин к горам. Группа процессов: аккумуляции рек и временных водотоков. Процесс: сели. Полиномиальный тренд аналогичный предыдущему, но с меньшим коэффициентом достоверности аппроксимации. Процесс: пойменная, старичная и дельтовая седиментация (аккумуляция). Полиномиальный тренд фиксирует два максимума: больший – для равнинных геоэкологических районов, меньший – для горных. В первом случае седиментация развита в Канско-Ленском районе, во втором – в горных районах, обрамляющих активно прогибающиеся внутригорные котловины Байкальской рифтовой зоны.

*Класс процессов: подземноводный.* Группа процессов: денудации растворимых пород. Процесс: карст. Полиномиальный тренд указывает на устойчивую тенденцию к возрастанию роли карста в предгорных, низко- и среднегорных и снижению в равнинных и высокогорных районах. Группа процессов: денудации нерастворимых пород. Процесс: суффозия. Полиномиальный тренд аналогичен, но коэффициент

достоверности аппроксимации ниже, что говорит о меньшей упорядоченности в распределении процесса.

*Класс процессов: техногенный.* Группа процессов: техномобилизационные. Процесс: подтопление. Полиномиальный тренд определил четкую тенденцию к снижению влияния от равнин к горам. Это связано с тем, что основные техногенные объекты (индустриальные центры, водохранилища, коммуникации и др.) расположены в равнинных районах.

При анализе структуры важна оценка и спектра, и роли опасных геоморфологических процессов в этой структуре, т.е. упорядоченное подразделение процессов по категориям: ведущий, сопутствующий, второстепенный. Для этого построены диаграммы распределения опасных процессов вдоль гипотетического геоморфологического профиля «равнины – горы». Участие процесса оценивалось цифрой: 3 – ведущий, 2 – сопутствующий, 1 – второстепенный (таблица 7).

*Таблица 7. Коэффициенты достоверности аппроксимации для полиномиального распределения роли (значимости) опасных геоморфологических процессов вдоль гипотетического геоморфологического профиля от равнинных к горным геоэкологическим районам*

Класс процессов	Группа процессов	Процессы	Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2$	Степень полинома
Сейсмогенный	Быстрые	Землетрясения	0,7949	5
	Медленные	Тектонический крип	0,4841	3
Криогенный	Мерзлотная	Термокарст, пучение грунтов, нивация, термоэрозия	статистически недостоверен	-
Гравитационно-склоновый	Собственно гравитационная	Обвалы, осыпи, лавины	0,6045	5
Склоновый гидрогенного оползания и течения	Блокового сползания	Оползни, осывы	0,5159	5
Склоновый водно-эрозионный	Линейного размыва	Овражная эрозия	0,7001	3
Озерный	Абразивная	Абразия	логически недостоверен	-
Флювиальный	Эрозии рек и временных водотоков	Глубинная и боковая эрозия	0,8479	3
		Сели	0,5430	4
	Аккумуляции рек и временных водотоков	Пойменная, старичная и дельтовая седиментация	0,8474	4
Подземно-водный	Денудации растворимых пород	Карст	0,7469	3
	Денудации нерастворимых пород	Суффозия	0,4296	4
Техногенный	Техномобилизационная	Подтопление	0,9280	2

*Землетрясения* выступают как ведущий процесс только в одном районе – Приморском. Во всех других геоэкологических районах – это сопутствующий процесс, и полиномиальный тренд указывает на возрастание роли землетрясений по мере продвижения от равнинных к горным геоэкологическим районам (по направлению к сейсмоактивной Байкальской рифтовой зоне и зоне Главного Саянского разлома в Восточном Саяне).

*Тектонический кризис* не является ведущим геоморфологическим процессом ни в одном из геоэкологических районов, но как сопутствующий процесс присутствует во всех горных районах, поэтому его полиномиальный тренд указывает на ту же тенденцию, что и в предыдущем случае, только с меньшим уровнем достоверности аппроксимации.

*Криогенные процессы* не позволяют построить статистически достоверного тренда. Они выступают в роли ведущего процесса в равнинных (Ангаро-Тунгусский), горных (Восточно-Саянский, Муйско-Кодарский) и переходных (Байкало-Патомский) районах. В структуре процессов большую роль играет широтная климатическая зональность, которая обеспечивает ведущую роль криогенеза в северных районах Иркутской области.

*Гравитационно-склоновые опасные процессы* – обвалы, осыпи, лавины – не играют ведущей роли в каком-либо районе, но встречаются как сопутствующий процесс в горных геоэкологических районах, на что указывает их полиномиальный тренд.

*Склоновые гидрогенные опасные геоморфологические процессы* – оползни, осыпи – также не являются ведущими ни в одном из районов. Однако их полиномиальный тренд указывает на тенденцию к уменьшению роли этих процессов по мере продвижения от равнинных районов к горным. Уловить эту тенденцию по спектру опасных процессов нельзя, но по их роли в структуре процессов данная тенденция отмечается четко.

*Оврагообразование* является ведущим процессом в Канско-Ленском геоэкологическом районе, а по мере продвижения к горным районам его влияние ослабевает, что и отражает полиномиальный тренд с высокой степенью достоверности аппроксимации.

*Абразия* не может рассматриваться на геоморфологическом профиле, т.к. зависит от наличия стоячих водных бассейнов как природного, так и антропогенного происхождения.

*Эрозия* является ведущим опасным геоморфологическим процессом во всех горных и большинстве переходных геоэкологических районов, что и отражено в полиномиальном тренде с высокой степенью достоверности аппроксимации.

*Сели* являются ведущим процессом только в одном районе – Хамар-Дабанском. Полиномиальный тренд говорит о возрастании их роли в горных районах по сравнению с равнинными. Увеличение значимости селей в Хамар-Дабанском и Восточно-Саянском районах и снижение значимости в Северо-Байкальском и Муйско-Кодарском связано с тем, что хозяйственная освоенность двух первых на порядок выше.

*Седиментация* играет роль ведущего процесса в Канско-Ленском геоэкологическом районе и по мере продвижения к горным и высокогорным районам

ее значение падает. Максимум процесса в Северо-Байкальском и Хамар-Дабанском районах связан с активными седиментационными процессами на побережье оз. Байкал.

*Карст* не является ведущим опасным процессом в каком-либо районе, но как сопутствующий геоморфологический процесс отмечается во всех переходных геоэкологических районах, что и определило характер его полиномиального распределения.

*Суффозия* – ведущим опасный процесс в 2 районах – Лено-Ангарском и Приморском, ее полиномиальный тренд аналогичен, но с меньшей достоверностью аппроксимации.

Построены пространственные схемы для отдельных опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах (рис. 6).

*Землетрясения.* Сейсмоопасны Восточно-Саянский, Северо-Байкальский, Хамар-Дабанский, Муйско-Кодарский районы. В Байкало-Патомском районе количество землетрясений невелико, но он испытывает сейсмопотрясения от дальних очагов. Они оказывают влияние и на Приморский, Предсаянский и Лено-Ангарский районы. Слабое влияние испытывает Канско-Ленский район и только в южной части с высокой освоенностью. В зоне свободной от сейсмоздействия располагается Ангаро-Тунгусский район.

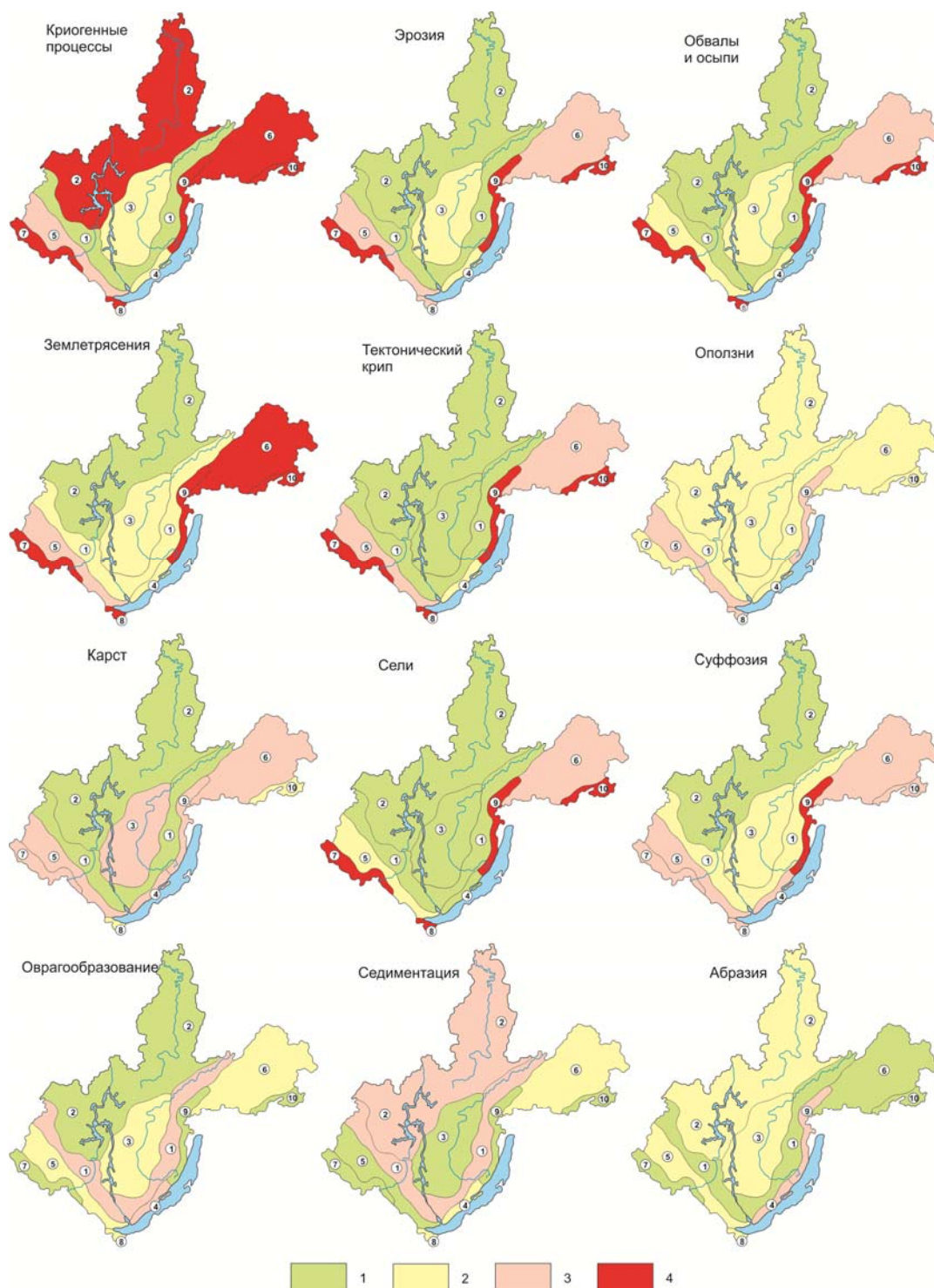
*Тектонический крип* вызывается слабыми подвижками в зонах разломов и повышенной трещиноватостью в тектонических блоках. Все сейсмоопасные районы испытывают негативное влияние с его стороны. По мере продвижения вглубь Сибирской платформы интенсивность крипа падает в связи с тем, что здесь отсутствуют активные разломы, а тектонические блоки являются геодинамически относительно стабильными.

*Обвалы и осыпи* – развиваются на крутых горных склонах, сложенных кристаллическими трещиноватыми или плотными породами. Их формированию способствуют и тектонические процессы. Обвалы и осыпи представляют опасность в Приморском и Лено-Ангарском геоэкологических районах, особенно вдоль крутых придолинных склонов. Другие районы практически не подвержены данному виду опасности; их появление может быть спровоцировано непродуманной хозяйственной деятельностью.

*Эрозия* представляет опасность в горных районах: Восточно-Саянском, Северо-Байкальском, Муйско-Кодарском. По мере продвижения к равнинам ее активность снижается, а в Канско-Ленском и Ангаро-Тунгусском районах не играет значительной роли.

*Седиментация* развита в Канско-Ленском и Ангаро-Тунгусском районах, где в совокупности с другими агентами морфогенеза может представлять опасность. Очаги седиментации встречаются в Приморском и Байкало-Патомском районах.

*Суффозия* распространена равномерно и представляет угрозы за исключением Ангаро-Тунгусского геоэкологического района, где она сдерживается вечной и сезонной мерзлотой. Развита суффозия и у подножий горных хребтов, а также провоцируется человеком в местах подземных коммуникаций. Для городов суффозия представляет настоящее бедствие, постоянно нанося большой материальный ущерб.



**Рис. 6.** Распределение опасных геоморфологических процессов по геоэкологическим районам Иркутской области. Классы экологической опасности: 1 – низкая (I класс); 2 – средняя (II класс); 3 – высокая (III класс); 4 – наиболее высокая (IV класс).

Карст развит в Лено-Ангарском и Байкало-Патомском геоэкологических районах. В других горных геоэкологических районах, где карст связан с горными породами протерозоя, опасность меньше. Практически отсутствует карст в Канско-Ленском геоэкологическом районе и связан с мелкими островами развития

карбонатных пород. Ангаро-Тунгусский геоэкологический район не подвержен карстовой опасности из-за отсутствия карстующихся горных пород (лишь небольшие ареалы на Ангарском кряже).

*Оползни* приурочены к обводненным рыхлым отложениям, размываемым террасам, участкам подтопления и солифлюкции. Распространены они относительно равномерно, но не представляют серьезной опасности, за исключением мест, где провоцируются хозяйственной деятельностью человека (например, по берегам водохранилищ).

*Оврагообразование* представляет опасность в Канско-Ленском и Приморском районах, в степных и лесостепных местностях, на полого-холмистой Иркутско-Черемховской равнине, где развиты податливые к эрозии песчаники. Незначительное развитие отмечается в Предсаянском прогибе и на плоских водоразделах Канско-Рыбинской равнины.

*Сели* представляют угрозу в средне- и высокогорных районах: Восточно-Саянском, Хамар-Дабанском, Северо-Байкальском, Муйско-Кодарском. Особенно опасны на северном склоне Хамар-Дабана, чему способствует большое количество атмосферных осадков. На низкогорьях и нагорьях сели развиты слабо, для равнин и плато не характерны.

*Криогенные процессы* развиты повсеместно в горных и северных районах. Снижается криогенная опасность в областях сезонно-мерзлых пород на плато, предгорьях и низкогорьях, покрытых темнохвойной тайгой (Предсаянский, Приморский, Лено-Ангарский районы). Криогенез не оказывает опасного воздействия на равнинах, покрытых светлохвойными лесами, в лесостепи и степи (Канско-Ленский район). Здесь он может быть спровоцирован непродуманной хозяйственной деятельностью.

*Абразия* развивается вдоль побережья оз. Байкал в Северо-Байкальском и Приморском геоэкологических районах. Ее опасность возрастает совместным действием тектонических и гравитационных процессов. В Предсаянском районе она ниже, и лишь на склонах Олхинского плоскогорья может повлиять на хозяйственную инфраструктуру.

Установленные закономерности позволяют перейти к анализу структуры опасных геоморфологических процессов внутри геоэкологических районов как сложных диссипативных открытых нелинейных систем. На основе иерархического соотношения процессов по источникам поступления энергии необходимо выявить характер распределения опасных геоморфологических процессов для оценки типов их структур, создать геоморфосистемную модель структур и синергетического баланса внутри этой модели.

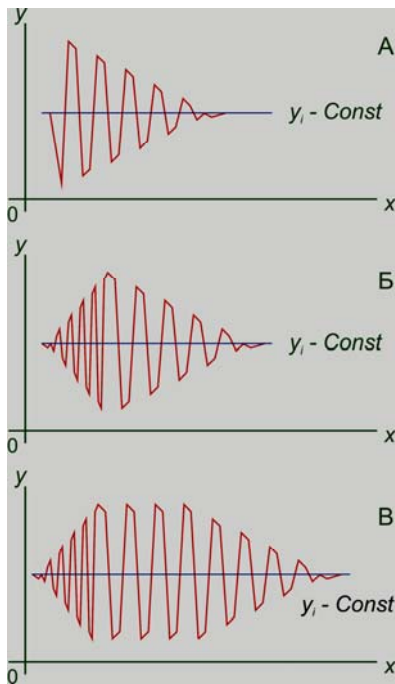
Для этого используем теорию синергетики [5, 24, 26, 27, 38]. Механизмом связи подсистем в систему является поле или пространственно-временная неравномерность распределения фактора, приведшего к формированию новой структуры – импульс самоорганизации. Механизмом взаимодействия системы со средой является вспышка энергии, приток отрицательной энтропии и последующая ее растрата – диссипация. Геоморфологические системы обладают всеми основными признаками диссипативных структур [1, 3, 11, 23, 25]. Равновесным состоянием

геоморфосистемы является гомеостаз – высокая энтропия. Поток энергии, снижающим энтропию (неравновесным фактором-полем), являются эндогенные и экзогенные факторы или процессы рельефообразования. Они формируют новые связи подсистем, новую структуру. Поэтому основу самоорганизации в геоморфологических системах составляет согласованное и упорядоченное действие факторов (агентов) рельефообразования, которое и выражается через формирования особых типов структур геоморфологических процессов. Диссипативные структуры в геоморфосистемах порождаются однонаправленными необратимыми процессами (потоками энергии).

Универсальность диссипативных механизмов в природных системах заключается в том, что потоки энергии и энтропии в них реализуются в виде дискретных переходов от неравновесного состояния (в нашем случае – геоморфосистемы) к равновесному и обратно. Так, приток энергии к геоморфологической системе (оростаз – оростатическое начальное состояние системы) уже несет в себе некоторую определенную упорядоченность (структуру), которая зависит от количества источников и объема поступающей энергии. Принятие геоморфологической системой энергии и ее трансформация (метастаз – метастатическое переходное состояние геоморфосистемы) всегда осуществляется по наибольшему числу каналов связи между источником и приемником энергии. Это формирует новую синергетическую структуру геоморфосистемы, которая ведет себя всегда иначе, чем изначальная структура, что выражается в усилении неравновесности самой системы. Далее происходит диссипация трансформированной энергии и вновь формируется определенная структура системы, которая по законам синергетики стремится к формированию наименьшего числа каналов диссипации энергии, что упорядочивает ее и в целом повышает энтропию системы (гомеостаз – гомеостатическое финальное состояние) [17].

Приток, трансформация и диссипация энергии в геоморфосистемах носят не поступательный, а колебательный характер. На графиках эти функции не представляют собой скачок значений с дальнейшим постепенным затуханием амплитуды колебаний (аналогичных автомодельных состояний) после сообщения геоморфосистеме энергетического импульса (рис. 7). Наоборот, первоначальный импульс приводит к поступательному нарастанию амплитуды колебаний и увеличению неравновесности системы. Если синергетический фактор-поле стабильный и долгоживущий, то после нарастания амплитуды наступает период автомодельных гомологичных состояний системы. А как только фактор-поле прекращает сообщать системе энергетические импульсы, то после некоторого критического состояния происходит затухание амплитуды колебаний (аналогичных автомодельных состояний), которое повышает энтропию и приводит систему к гомеостазу.

Принципиальные теоретические положения и граничные условия создания модели формирования типов структур и синергетического баланса опасных геоморфологических процессов на территории Иркутской области (рис. 8) заключаются в следующем [18].



**Рис. 7.** Элементарные модели синергетического баланса в геоморфосистемах. А – с первоначальным скачком энергии и последующей ее диссипации через автомодельные аналогичные состояния системы, Б – с нарастанием притока энергии и последующей ее диссипации через автомодельные аналогичные состояния, В – с нарастанием энергии и последующим ее притоком и сохранением автомодельных гомологичных состояний и дальнейшей диссипацией через автомодельные аналогичные состояния.



**Рис. 8.** Синергетическая модель формирования типов структур опасных геоморфологических процессов Иркутской области.

1) Приток энергии к геоморфосистемам осуществляется из двух главных источников: а) эндогенный – горообразовательный процесс или восходящий литодинамический поток – энергия недр Земли; б) экзогенный – гороразрушительный процесс или нисходящий литодинамический поток – энергия Солнца, по терминологии Н.А. Флоренсова [37]. Эти потоки энергии несут с собой изначальную структуру, которая для сохранения синергетического баланса в геоморфологической системе должна описываться бимодальным распределением функции кривой

геоморфологических процессов. В результате притока энергии формируются оростатические геоморфологические системы с инициальной структурой геоморфологических процессов и аккумуляцией поступающей энергии.

2) Далее нарастает амплитуда автомодельных колебаний графика функции геоморфосистемы, энергия распределяется по наибольшему из возможного числа каналов связи, происходит ее преобразование или трансформация. Такие потоки энергии в неравновесной области описываются полимодальным распределением графика кривой геоморфологических процессов. В результате формируются метастатические геоморфосистемы с транзакционной структурой геоморфологических процессов и трансформацией энергии.

3) Далее нарастает энтропия геоморфосистемы, происходит максимально возможное упорядочивание потока энергии (минимизация числа каналов связи геоморфосистемы с внешней средой) и последующая ее диссипация. Потоки энергии такого рода описываются уномодальным (или близким к нему) распределением графика кривой функции геоморфологических процессов. В результате формируются гомеостатические геоморфосистемы с новой финальной структурой геоморфологических процессов и диссипацией энергии.

4) В конечном итоге формируются три синергетические зоны: а) притока энергии – оростатическое состояние геоморфосистем; б) трансформации энергии – метастатическое состояние геоморфосистем; в) диссипации энергии – гомеостатическое состояние геоморфосистем. Этот процесс приводит к формированию трех типов структур геоморфологических процессов: инициальной, транзакционной и финальной.

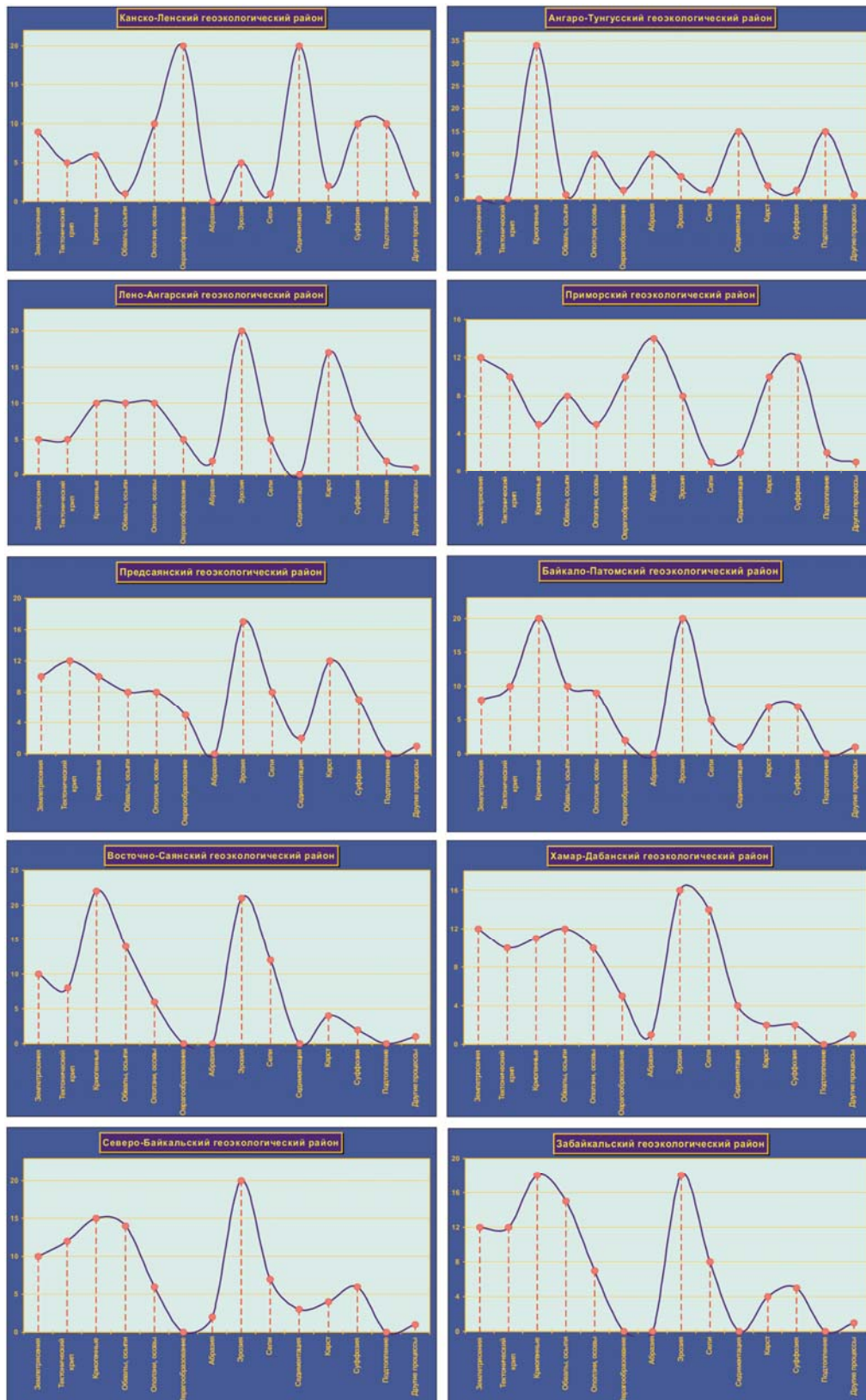
Рассмотрим, насколько предложенная синергетическая модель подтверждается реальными данными по структуре опасных геоморфологических процессов.

Для этого построим графики модального распределения кривой спектра опасных процессов для каждого геоэкологического района, расположив их последовательно по источникам поступления энергии к геоморфосистемам в построенной выше синергетической модели (рис. 9). В результате получаем следующую картину деления или типизации геоэкологических районов по характеру модального распределения кривой функции опасных геоморфологических процессов в синергетической модели (таблица 8).

Геоэкологические районы классифицированы по типу структур процессов, синергетическому балансу и морфогенетической позиции геоморфосистем (таблица 9).

Геоэкологические следствия и данные по синергетической структуре опасных геоморфологических процессов позволяют в некоторой степени прогнозировать сценарий их развития как на краткосрочную, так и на долгосрочную перспективу (таблица 10).

В аспекте прогноза развития опасных геоморфологических процессов Иркутской области отметим, что их динамики со свойственными им источниками поступления энергии, особенно эндогенными, не изменится, по крайней мере, в ближайшие 500-1000 лет (эволюция процессов). Однако влияние изменений глобального и регионального климата, которые активно протекают в последние 50-60



*Рис. 9. Модальное распределение опасных геоморфологических процессов Иркутской области вдоль геоморфологического профиля от горных к равнинным районам (по вертикальной шкале отложены процентные значения в спектре опасных геоморфологических процессов по геоэкологическому району).*

*Таблица 8. Характер модального распределения спектра опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах*

Бимодальное	Переходное от бимодального к полимодальному	Полимодальное	Уномодальное
Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский, Муйско-Кодарский	Лено-Ангарский, Байкало-Патомский	Канско-Ленский, Приморский, Предсаянский	Ангаро-Тунгусский

*Таблица 9. Синергетическая классификация геоэкологических районов*

Геоэкологические районы	Распределение процессов	Синергетический баланс	Структурно-генетическая позиция	Тип структуры процессов
Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский, Муйско-Кодарский	Бимодальное	Приток энергии	Оростатическая	Инициальный
Лено-Ангарский, Байкало-Патомский	Переходное от бимодального к полимодальному	Переход от притока к трансформации энергии	Переход от оростатической к метастатической	Переходный от инициального к транзакционному
Канско-Ленский, Приморский, Предсаянский	Полимодальное	Трансформация энергии	Метастатическая	Транзакционный
Ангаро-Тунгусский	Уномодальное	Диссипация энергии	Гомеостатическая	Финальный

*Табл. 10. Прогноз развития опасных геоморфологических процессов в геоэкологических районах*

Геоэкологические районы	Краткосрочная перспектива (2-5 лет)	Долгосрочная перспектива (10-30 лет)
Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский, Муйско-Кодарский	Тенденции в развитии процессов сохраняются	Слегка усилится влияние ведущих и несколько ослабнет сопутствующих и второстепенных процессов
Лено-Ангарский, Байкало-Патомский	Слегка ослабнет влияние ведущих и несколько усилится сопутствующих и второстепенных процессов	Существенно ослабнет влияние ведущих и усилится сопутствующих и второстепенных процессов
Канско-Ленский, Приморский, Предсаянский	Тенденции в развитии процессов сохраняются	Тенденции в развитии процессов сохраняются
Ангаро-Тунгусский	Слегка ослабнет влияние ведущих и сопутствующих и несколько усилится второстепенных процессов	Существенно ослабнет влияние ведущих и сопутствующих и усилится второстепенных процессов

лет по все более нарастающей траектории в геометрической прогрессии [4], несомненно, повлечет за собой преобразования в характере протекания геоморфологических процессов уже в ближайшие годы и десятилетия (динамика процессов). И этот фактор необходимо будет учитывать в ближайшем будущем при оценке развития природно-ресурсного потенциала Иркутской области.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложен новый метод оценки опасных геоморфологических процессов и риска природопользования на региональном уровне на примере Иркутской области. Проведено ее геоэкологическое районирование, классификация и картографирование опасных геоморфологических процессов, выявлены их спектры и структура, осуществлено синергетическое моделирование структуры процессов. На территории Иркутской области выделяется 10 геоэкологических районов. Предложенная классификация позволила выделить ведущие, сопутствующие и второстепенные опасные геоморфологические процессы для всех геоэкологических районов и Иркутской области в целом. Спектры и структура процессов обеспечили возможность их применения для оценки риска природопользования в отдельных районах Иркутской области, а синергетическое моделирование опасных геоморфологических процессов заложило основу для их структурно-генетического анализа. Все опасные геоморфологические процессы во всех геоэкологических районах подробно охарактеризованы, рассмотрена их региональная специфика.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. – М.: Наука, 1988. – 264 с.
2. Выркин В.Б. Современное экзогенное рельефообразование котловин байкальского типа. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1998. – 175 с.
3. Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность / Под ред. Э.А. Лихачевой. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. – 288 с.
4. Глобальные и региональные изменения климата и природной среды Позднего кайнозоя в Сибири. / Под ред. А.П. Деревянко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 511 с.
5. Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений. Методы, инструментарий, результаты. – М.: Красанд, 2013. – 400 с.
6. Елохин А.Н., Заикин И.А., Федькушов И.Ю. и др. Применение методов экспертных оценок для расчета риска // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Под ред. Н.И. Архипова и В.В. Кульбы. – Т.1. – М.: Изд-во ИРИС, 2002. – С. 128-136.
7. Ивановский Л.Н. Вопросы развития ведущих экзогенных процессов рельефообразования // География и природные ресурсы. – 1988. – № 1. – С. 23-30.
8. Ивановский Л.Н. Структура ведущих экзогенных процессов на региональном уровне // География и природные ресурсы. – 1989. – № 4. – С. 14-22.
9. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М: Высшая школа, 1991. – 366 с.
10. Карта районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций // Авторы: Козлова А.Е., Локшин Г.П., Чеснокова И.В. Под ред. Лихачевой Э.А., Тимофеева Д.А., Кошкарёва А.В. Масштаб 1:9 000 000.

Роскартография, Институт географии РАН. – М.: ДИ ЭМ БИ, 2006. 1 цв. карта, текст, таблицы, 2 дополнительные карты-врезки.

11. Кашменская О.В. Теория систем и геоморфология. – Новосибирск: Наука, 1980. – 119 с.
12. Коробов В.Б. О методологии построения шкал для классификации природных объектов на основе балльных оценок // Проблемы региональной экологии. – 2002. – № 4. – С. 99-108.
13. Коробов В.Б., Кочуров Б.И. Балльные классификации в геоэкологии: преимущества и недостатки // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 1. – С. 66-70.
14. Кузьмин С.Б. Геолого-геоморфологический каркас для выделения классов экологической опасности территории (на примере Иркутской области) // Геоморфология. – 2002. – № 1. – С. 33-43.
15. Кузьмин С.Б. Структура опасных морфогенетических процессов территории Иркутской области // Геоморфология. – 2004. – № 4. – С. 32-47.
16. Кузьмин С.Б. Классификация опасных морфогенетических процессов Иркутской области // Известия РГО. – 2006. – Т. 138, Вып. 3. – С. 64-70.
17. Кузьмин С.Б. Моделирование типов структур опасных морфогенетических процессов // ДАН. – 2007. – Т. 417, № 5. – С. 689-692.
18. Кузьмин С.Б., Шаманова С.И. Районирование Иркутской области по опасным геоморфологическим процессам и их синергетическое моделирование // Известия РГО. – 2014. – Т. 146, № 2. – С. 9-21.
19. Кузьмин С.Б. Опасные природные процессы Иркутской области // Геориск. – 2016. – № 4. – С. 50-64.
20. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое исследование наук о Земле. – Санкт-Петербург.: Изд-во СПбГУ, 2002. – 762 с.
21. Ласточкин А.Н. Общая теория геосистем. – СПб.: Лема, 2011. – 980 с.
22. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
23. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Геоморфологические системы и их организованность // Геоморфология. – 2007. – № 1. – С. 3-9.
24. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
25. Петров О.В. Диссипативные структуры Земли. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. – 304 с.
26. Пелюхова Е. Б., Фрадкин Э. Е. Синергетика в физических процессах. Самоорганизация физических систем. – М.: Лань, 2011. – 320 с.
27. Подлазов А.В. Самоорганизованная критичность и анализ риска // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2001. – № 1. – С. 49-88.
28. Поздняков А.В., Черванев И.Г. Самоорганизация в развитии форм рельефа. – М.: Наука, 1990. – 202 с.
29. Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Основы ландшафтного анализа. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
30. Природно-антропогенные процессы и экологический риск / Под ред. С.М. Малхазовой и Р.С. Чалова. – М.: Городец, 2004. – 616 с.
31. Радаев Н.Н. Обоснование уровней рисков в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера // Известия РАН. Серия географическая. – 2003. – № 5. – С. 74-86.
32. Рельеф среды жизни человека / Под ред. Э.А. Лихачевой и Д.А. Тимофеева. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. – 640 с.

33. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
34. Солнцев Н.А. О морфологии природного географического ландшафта // Вопросы географии. Под ред. Н.Н. Баранского. – М.: Географгиз, 1949. – Сб. 16. – С. 16-86.
35. Солнцев В.Н. Системная организация ландшафтов. – М.: Мысль, 1981. – 239 с.
36. Черванев И.Г., Боков В.А. Развитие представлений о саморегулировании и самоорганизации рельефа // Самоорганизация и динамика геоморфосистем. Под ред. А.В. Позднякова. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – С. 14-19.
37. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. – М.: Наука, 1978. – 238 с.
38. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

**GEOECOLOGICAL AREAS OF THE IRKUTSK REGION WITH THE  
HAZARDOUS GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES AS COMPLEX  
GEOMORPHOSYSTEMS FOR NATURE USE RISK ASSESSMENT**

**Kuzmin S.B.** (Dr. Sci. (Geography)), Senior Researcher)

*Institute of Geography. V.B. Sochava, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia; kuzmin@irigs.irk.ru; sbkuzminhome@yandex.ru*

**Abstract.** In the article, an assessment of the structure or spectrum of dangerous geomorphological processes has been carried out on the basis of previously allocated geoeological areas of the Irkutsk region. The relationships between the dangerous geomorphological processes in the geoeological areas, as well as their various types, are determined. The spatial distribution of the main hazardous geomorphological processes in geoeological areas is considered. A synergetic geomorphic system of the development of dangerous geomorphological processes in geoeological areas as complex dissipative open nonlinear systems is created.

**Keywords:** geomorphic systems, dangerous geomorphological processes, geoeological zoning, Irkutsk region.

**REFERENCES**

1. Armand A.D. Samoorganizaciya i samoregulirovanie geograficheskikh system [Self-organization and self-regulation of geographical systems]. M.: Nauka, 1988, 264 p.
2. Vyrkin V.B. Sovremennoe ehkzogennoe rel'efoobrazovanie kotlovin bajkal'skogo tipa [Recent exogenic relief formation of Baikal type depression] Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN, 1998, 175 p.
3. Geomorfologicheskie sistemy: svoystva, ierarhiya, organizovannost' [Geomorphological systems: conditions, hierarchy, organization] Pod red. E.H.A. Lihachevoj. M.: Media-PRESS, 2010, 288 p.
4. Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata i prirodnoj sredy Pozdnego kajnozoya v Sibiri [Global and regional changes of climate and environment of Late Cenozoic in Siberia] Pod red. A.P. Derevyanko. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008, 511 p.
5. Golicyn G.S. Statistika i dinamika prirodnyh processov i yavlenij. Metody, instrumentarij, rezul'taty [Statics and dynamics of nature processes and phenomenon. Methods, techniques, results] M.: Krasand, 2013, 400 p.
6. Elohin A.N., Zaikin I.A., Fed'kushov I.YU. i dr. Primenenie metodov ehkspertnyh ocenok dlya rascheta riska [Using of expert assessment technique to risk calculation] Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnyh sistem. Pod red. N.I. Arhipova i V.V. Kul'by. T.1. M.: Izd-vo IRIS, 2002, pp. 128-136.
7. Ivanovskij L.N. Voprosy razvitiya vedushchih ehkzogennyh processov rel'efoob-

razovaniya [Questions of development of lead exogenic processes of relief formation] *Geografiya i prirodnye resursy*, 1988, no. 1, pp. 23-30.

8. Ivanovskij L.N. Struktura vedushchih ehkzogennyh processov na regional'nom urovne [Structure of lead exogenic processes on regional level] *Geografiya i prirodnye resursy*, 1989, no. 4, pp. 14-22.

9. Isachenko A.G. Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie [Landscape science and physical-geographical regionalization] M: Vysshaya shkola, 1991, 366 p.

10. Karta rajonirovaniya territorii Rossii po stepeni ehkstremal'nosti razvitiya ehkologo-geomorfologicheskikh situacij [Map of the regionalization of the territory of Russia in terms of the degree of extreme development of ecological and geomorphological situations] Authors: Kozlova A.E., Lokshin G.P., Chesnokova I.V. Eds.: Likhacheva E.A., Timofeev D.A., Koshkarev A.V. Scale 1: 9 000 000. Roscartography, Institute of Geography RAS. M.: DI EM BI Press, 2006. 1 color. map, text, tables, 2 additional cards-frames.

11. Kashmenskaya O.V. Teoriya sistem i geomorfologiya [System's theory in geomorphology] Novosibirsk: Nauka, 1980, 119 p.

12. Korobov V.B. O metodologii postroeniya shkal dlya klassifikacii prirodnyh ob"ektov na osnove ball'nyh ocenok [About methodology scales calculation for classification of nature objects on the base of score assessments] *Problemy regional'noj ehkologii*, 2002, no. 4, pp. 99-108.

13. Korobov V.B., Kochurov B.I. Ball'nye klassifikacii v geoehkologii: preimushchestva i nedostatki [Score classifications in geoeology: advantages and limitations] *Problemy regional'noj ehkologii*, 2007, no. 1, pp. 66-70.

14. Kuzmin S.B. Geologo-geomorfologicheskij karkas dlya vydeleniya klassov ehkologicheskoy opasnosti territorii (na primere Irkutskoj oblasti) [Geological-geomorphological carcass for determination of classes of ecological danger of territory (as exemplified from Irkutsk Oblast)] *Geomorfologiya*, 2002. № 1. S. 33-43.

15. Kuzmin S.B. Struktura opasnyh morfogeneticheskikh processov territorii Irkutskoj oblasti [Structure of dangerous morphogenetic processes in Irkutsk Oblast] *Geomorfologiya*, 2004, no. 4, pp. 32-47.

16. Kuzmin S.B. Klassifikaciya opasnyh morfogeneticheskikh processov Irkutskoj oblasti [Classification of dangerous morphogenetic processes in Irkutsk Oblast] *Izvestiya RGO*, 2006, vol. 138, no. 3, pp. 64-70.

17. Kuzmin S.B. Modelirovanie tipov struktur opasnyh morfogeneticheskikh processov [Modelling of structure types of dangerous morphogenetic processes] *DAN*, 2007, vol. 417, no. 5, pp. 689-692.

18. Kuzmin S.B., Shamanova S.I. Rajonirovanie Irkutskoj oblasti po opasnym geomorfologicheskim processam i ih sinergeticheskoe modelirovanie [Regionalization of Irkutsk Oblast along the dangerous geomorphological processes and their synergetic modelling] *Izvestiya RGO*, 2014, vol. 146, no. 2, pp. 9-21.

19. Kuzmin S.B. Opasnye prirodnye processy Irkutskoj oblasti [Dangerous geomorphological processes of Irkutsk Oblast] *Georisk*, 2016, no. 4, pp. 50-64.

20. Lastochkin A.N. Sistemno-morfologicheskoe issledovanie nauk o Zemle [System-morphological investigation of the Earth's sciences] Sankt-Peterburg.: Izd-vo SPbGU, 2002, 762 p.

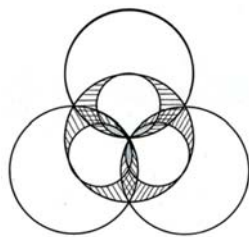
21. Lastochkin A.N. Obshchaya teoriya geosystem [General geosystem's theory] SPb.: Lema, 2011, 980 p.

22. Litvak B.G. Ekspertnye ocenki i prinyatie reshenij [Expert assessments in making decisions] M.: Patent, 1996, 271 p.

23. Likhacheva E.H.A., Timofeev D. A. Geomorfologicheskie sistemy i ih organizovan-nost' [Geomorphological systems and their self-organization] *Geomorfologiya*, 2007, no. 1, pp. 3-9.

24. Loskutov A.YU., Mihajlov A.S. Vvedenie v sinergetiku [Introduction to synergetics] M.: Nauka, 1990, 272 p.
25. Petrov O.V. Dissipativnye struktury Zemli [The Earth's dissipative structures] SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2007, 304 p.
26. Pelyuhova E. B., Fradkin E.H. E. Sinergetika v fizicheskikh processah. Samoorganizaciya fizicheskikh system [Synergetics in physical processes. Self-organization of physical systems] M.: Lan', 2011, 320 p.
27. Podlazov A.V. Samoorganizovannaya kritichnost' i analiz riska [Self-organized criticality] *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelinejnaya dinamika*, 2001, no. 1, pp. 49-88.
28. Pozdnyakov A.V., Chervanov I.G. Samoorganizaciya v razvitii form rel'efa [Self-organization in relief development] M.: Nauka, 1990, 202 p.
29. Preobrazhenskij V.S., Aleksandrova T.D., Kupriyanova T.P. Osnovy landshaftnogo analiza [Bases of landscape analysis] M.: Nauka, 1988, 192 p.
30. Prirodno-antropogennyye processy i ehkologicheskij risk [Nature-anthropogenic processes and ecological risk] Pod red. S.M. Mal-hazovoj i P.C. CHalova. M.: Gorodec, 2004, 616 p.
31. Radaev N.N. Obosnovanie urovnej riskov v chrezvychajnyh situacijah prirodno i tekhnogennogo haraktera [Justification of risk levels in emergency situations of natural and man-made nature] *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2003, no. 5, pp. 74-86.
32. Rel'ef sredej zhizni cheloveka [Relief of human being environment] Pod red. E.H.A. Lihachevoj i D.A. Timofeeva. M.: Media-PRESS, 2002, 640 p.
33. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie [Analytical planning] M.: Radio i svyaz', 1991, 224 p.
34. Solncev N.A. O morfologii prirodno geograficheskogo landshafta [About morphology of nature geographical landscape] *Voprosy geografii*. Pod red. N.N. Baranskogo. M.: Geografiz, 1949, Sb. 16, pp. 16-86.
35. Solncev V.N. Sistemnaya organizaciya landshaftov [System organization of landscapes] M.: Mysl', 1981, 239 p.
36. Chervanov I.G., Bokov V.A. Razvitie predstavlenij o samoregulirovanii i samoorganizacii rel'efa [Development of ideas about self-organization and self-regulation of the relief] Samoorganizaciya i dinamika geomorfosistem. Pod red. A.V. Pozdnyakova. Tomsk: Izd-vo Instituta optiki atmosfery SO RAN, 2003, pp. 14-19.
37. Florensov N.A. Ocherki strukturnoj geomorfologii [Essays on structural geomorphology] M.: Nauka, 1978, 238 p.
38. Haken G. Sinergetika [Synergetics] M.: Mir, 1980, 404 p.

УДК 167.0 523.2



## МАСШТАБНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ОПИСАНИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

Смирнов В. Л. (к. ф.-м. н.)

Санкт-Петербург, РФ

VladimirL.Smirnov@yandex.ru

**Аннотация.** Предпринимается попытка конкретизировать содержание уровня принципов симметрии, который был введён в рассмотрение Ю. Вигнером. Предлагаются аналитические выражения, объединяющие три уровня иерархии: *система – подсистема – предельный случай*, что позволяет рассматривать разнородные системы отношений различного масштаба как конструкцию, наделённую общими связями. Основой моделирования является предложенная ранее протоструктура, которая представляется на числовой оси и понимается как инструмент анализа процессов самоорганизации (перехода от одного вида порядка к другому). В *системе* разрешенные состояния формируются с помощью протоструктуры и образуют отдельные уровни. Наиболее значимым среди них является уровень параметра порядка. Выявленные для *системы* связи между позициями параметра порядка и подчинёнными ему характеристиками распространяются на *подсистему* и *предельный случай* с помощью масштабных коэффициентов, которые конструируются на основе структурных соображений.

Установленные связи проверяются на примере Солнечной системы в плоскости эклиптики. В качестве параметра порядка выступает относительный момент количества движения. Применимость выявленных связей для планетной *системы* и спутниковых *подсистем* демонстрируется при обращении к известным относительным характеристикам планет и Солнца. При этом отношения масс планет и Солнца рассматриваются как масштабные коэффициенты. Атом водорода трактуется как *предельный случай* при использовании дополнительного масштабного коэффициента, в роли которого выступает отношение сил в атоме водорода. Согласие модельных и наблюдательных данных имеет место в пределах долей процента.

**Ключевые слова:** самоорганизация, параметр порядка, скейлинг, Солнечная система, атом водорода.

### 1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

*Характеристика ситуации.* В настоящее время [13] не удаётся представить тяготение и электричество как два разных проявления одной и той же сущности. Ниже излагается возможный, с нашей точки зрения, структурный вариант подхода к указанной проблеме. Если обратиться к конкретным природным объектам и выделить своего рода оппозицию, то удобно говорить, прежде всего, о Солнечной системе и атоме водорода.

Модель атома Н. Бора основана на идее качественного подобия структур указанных систем, она содержит набор орбит, формируемых при участии параметра  $n$  – главного квантового числа. Он [13] может быть охарактеризован как относительный момент количества движения – характеристика, задающая площадь, описываемую в единицу времени движущимся телом при нормировке на первую орбиту. При моделировании Солнечной системы аналогичный  $n$  параметр, объединяющий элементы

пары *пространство – время*, как правило, не применяется. Можно утверждать, что, сейчас единая нормировка для совместного количественного описания названных выше систем отсутствует.

*Предлагаемый способ анализа* является структурным, т.е. по сути – междисциплинарным. Он близок к синергетике с её представлениями о паре *порядок – беспорядок* [4], параметре порядка [14] и спектре разрешенных состояний для систем различной природы [15]. Структура понимается как система отношений и представляется [5] в виде *сети*, состоящей из *узлов* – разрешенных на числовой оси состояний и *связей* между ними. В качестве основы анализа рассматривается [6] протоструктура - система отношений, которая, предположительно, является первичной для разных объектов природы и пригодна для исследования эволюции – поэтапного её развёртывания вдоль разных ветвей. Протоструктура представляет собой двухкомпонентную и циклически организованную форму, которая построена при ориентации на своеобразное равновесие разнородных структурных тенденций и возможностей выбора; например, правое и левое направления понимаются как одинаково существенные, монотонность столь же важна, как и разнообразие, изменчивость и устойчивость рассматриваются совместно. С помощью протоструктуры [7] формируется параметр порядка  $n_k$ , который подчиняет две первичные системы отношений; здесь  $k$  – порядковый номер элемента. Названный параметр [4] является основной переменной для описания перехода *порядок – беспорядок*.

*Ключевая идея работы* поясняется на рис. 1а, где слева представлены три уровня иерархии I-II-III, которые нами рассматриваются как последовательность *система – подсистема – предельный случай*. Под системой понимается структура, имеющая границы. Согласно рис. 1б на уровне I в абстрактной системе отношений формируется спектр разрешенных позиций для параметра порядка  $n_k$ , который [4, 7] объединяет две первичные относительные характеристики.



**Рис. 1.** Объект исследования и инструмент анализа: а) используемые структурные уровни и их заполнение; б) параметр порядка  $n_k$  и масштабные коэффициенты  $M_0/m_k$  и  $K$ ; здесь  $k$  - порядковый номер элемента, для наибольшего из элементов  $k=0$ ; в) стратегическая задача - выход на [2] уровень принципов симметрии.

Каждый элемент с индексом  $k$  может рассматриваться как имеющий подсистему. При этом ему ставится в соответствие масштабный коэффициент вида  $m_k/m_3$ , что позволяет с помощью подобных соотношений анализировать спектры уровней I и II. Здесь и далее выбираются обозначения и способы нормировки, удобные для приложения, о чём будет сказано ниже. В частности, нормировка может производиться как на первый элемент ( $k=1$ ), так и на любой другой (здесь - на  $k=3$ ). Максимальный масштабный коэффициент выделяется и обозначается как  $M_0/m_3$ .

Названные коэффициенты делятся на два класса. Для отношений первого класса характерна *изменчивость*, они разные, но в то же время ориентированы на *сходство* системы и подсистемы. Здесь при объединении позиций  $m_k/m_3$  и  $M_0/m_3$  мы имеем дело с набором отношений вида  $M_0/m_k$ . Для отношений второго класса типична *устойчивость*. В этом случае важен коэффициент  $K$ , который фиксирует *различие* систем и является константой.

Предлагаемая идея сводится к следующим утверждениям. Уже выявленные соотношения между параметром порядка  $n_k$  и подчинёнными ему характеристиками являются частным случаем. В них можно добавить масштабные коэффициенты и тем самым выявить общий случай. Уровни I, II и III объединяются одной схемой и представляются как единая сеть, если принять во внимание наличие масштабных коэффициентов.

*Исходные позиции* настоящей работы таковы. Предложены [7] аналитические выражения, связывающие параметр порядка  $n_k$  и подчинённые ему характеристики; основой указанных выражений является геометрическая схема. Исследованы [7-11] несколько ветвей эволюции протоструктуры, при этом [10, 11] предприняты отдельные попытки использования масштабных коэффициентов для формирования обобщённого модельного представления. Большая часть материалов относится к уровню I, уровень II затронут [11] лишь частично. В приложении параметр  $n_k$  интерпретирован [7, 9, 11] как относительный момент количества движения в плоскости эклиптики Солнечной системы, т.е. как аналог главного квантового числа в волновой механике. Уже полученные модельные результаты, как правило, согласуются с наблюдательными данными в пределах  $\sim 1\%$ .

*Задача работы* заключается в том, чтобы для уровней I-II-III: а) представить в аналитическом виде связи между позициями параметра порядка, подчинёнными ему характеристиками и масштабными коэффициентами; б) в приложении продемонстрировать тот факт, что пространственно-временная структура Солнечной системы в плоскости эклиптики, а также структура атома водорода подчиняются общим структурным закономерностям. Поставленная задача вслед за [6] понимается как попытка выхода на уровень [2] принципов симметрии, представленный на рис. 1с.

*Предлагаемое решение.* Система уровней I-II-III с рис. 1а рассматривается как конструкция, которая не наделена какой-либо спецификой конкретных объектов природы. Известная для уровня I схема связей параметра порядка  $n_k$  и подчинённых ему характеристик дополняется уровнями для размещения масштабных коэффициентов. Связи этих новых уровней с теми уровнями, что уже имеются в системе, определяются на основе общих структурных соображений. Тем самым осуществляется переход к уровням II и III.

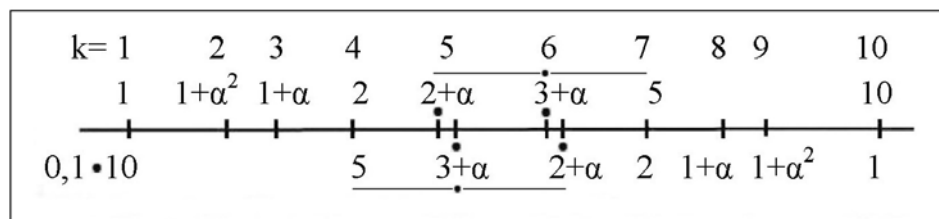
При анализе приложения, как это следует из рис.1а справа, на уровне I располагается планетная система Солнца, промежуточный уровень II отводится спутникам планет, а на уровне III размещается атом водорода. Роль масштабных коэффициентов  $m_k/m_3$  и  $M_0/m_3$  играют массы планет и Солнца соответственно при традиционной нормировке на массу Земли, которой соответствует  $k=3$ . При переходе к предельному случаю в схему связей добавляется отношение  $K$ , характерное для атома водорода, а также используются известные его характеристики.

Следует подчеркнуть, что формирование масштабных коэффициентов вида  $m_k/m_3$  является специальной задачей и здесь не рассматривается. Это значит, что проверка предлагаемых связей осуществляется при использовании известных данных для Солнца, планет и спутниковых тел.

## 2. МЕТОДИКА И ПРОТОСТРУКТУРА.

*Тринитарность.* Уровни, выделяемые при анализе, именуется [13] уровнями иерархии. Основой подхода является [6] триада *A-B-C*, в элементы которой может быть вложено любое содержание; они выделяются в тексте курсивом. Элементы *A* и *C* понимаются как дополнительные, они составляют оппозицию и связаны посредством *B*. Элемент *B* именуется базой и обозначается точкой, *A* и *C* называются крыльями группы и обозначаются концами линий, исходящих от базы (—•—). Ситуация, когда элементы указанной триады ставятся в равные условия, понимается как симметричный план. Наличие связей между элементами в указанной триаде трактуется как их взаимодействие. Связи являются предметом специального анализа и в каждом случае оговариваются. Например, каждая точка числовой оси понимается как число  $a$  над осью и в то же время как число  $1/a$  под осью.

*Протоструктура* [6] состоит из двух оппозиционных компонент – *жесткой (ЖК)* и *мягкой (МК)*, которые в свою очередь составлены из циклов. Первая из компонент представлена на рис.2 одним циклом с диапазоном  $\Delta=10$ , а вторая не приводится, поскольку в проводимом анализе не участвует. Здесь  $\alpha^{-1} \equiv (1+\alpha) \equiv (\sqrt{5}+1)/2 = 1,618033\dots$  - золотое сечение; узлам присвоены индексы  $k=1, 2, 3\dots 10$ , некоторые из них обозначены только с одной стороны оси. Диапазоном называется отношение *max* позиции к *min* в пределах анализируемого узла. В указанном и других циклах отношения читаются одинаковым образом как слева направо (над осью), так и справа налево (под осью). Циклы повторяются слева и справа от представленного; конец одного цикла есть начало другого.



**Рис. 2.** Цикл жесткой компоненты (ЖК) протоструктуры. Здесь  $k$  - порядковый номер узла в цикле, узлы  $k=5$  и  $6$  расщеплены,  $\alpha^{-1} \equiv 1+\alpha = 1,618\dots$  - золотое сечение. Масштаб логарифмический.

Протоструктура представляет собой вполне определённый вариант порядка в понимании [4]. Однако она способна эволюционировать, т.е. на её основе варианты порядка могут сменять друг друга. Всегда новый порядок формируется как своего рода *продукт*, источником которого является *сырьё* – прежний вариант порядка. Относительная устойчивость протоструктуры и результатов её эволюции трактуется как следствие совместимости – принадлежности отдельных её позиций к разным группам узлов.

*Исследование эволюции* носит поисковый характер. Это значит, что мы, учитывая предыдущий опыт, выдвигаем предположения, обосновываем их на основе методики и далее проверяем на практике. *Выбор* трактуется как *отбор*, ведущий к выживанию узловых конфигураций. Предлагаемые соображения не рассматриваются как доказательство, это скорее попытка интуитивного усмотрения связей в сложной системе. Следует понимать, что модель только строится, и многое [13] зависит от догадки. Исследуя структуру, мы говорим об узлах и связях, а при обсуждении результатов приложения модели предпочитаем [15] использовать термин “спектр разрешенных состояний”.

Основное отличие от синергетики может быть кратко охарактеризовано [7, 8] следующим образом: а) акцент переносится на проблемы логики; б) последовательно применяется тринитарная методика и с) разрешенные состояния, так или иначе, задаются протоструктурой.

### **3. ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА.**

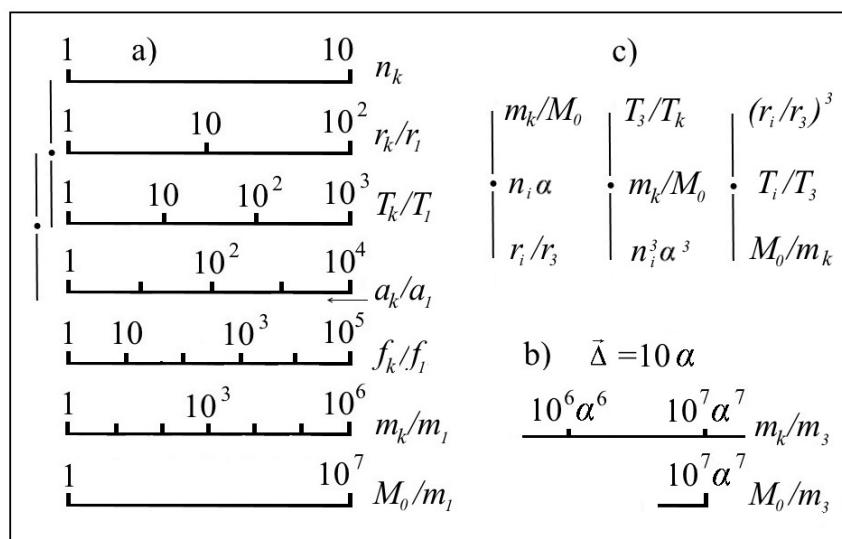
*Уровень n.* При рассмотрении уровня I, представленного слева на рис.1а, допускается [7], что две задаваемые ЖК произвольные относительные характеристики  $r_k/r_1$  и  $T_k/T_1$  объединяются с образованием параметра порядка  $n_k$ , который задаётся аналогичным образом. При этом границы трёх циклов  $T_k/T_1$  и двух циклов  $r_k/r_1$  совмещаются и совпадают с границами одного цикла  $n_k$ . Ситуация иллюстрируется сверху на рис.3а, из которого видно, что  $r_k/r_1$  является базой, а  $T_k/T_1$  и  $n_k$  крыльями конфигурации. На границах циклов имеет место связь  $B^2=AC$ , которая распространяется на все k-узлы:

$$r_k = n_k^2 r_1 = n_k^2 \alpha^2 r_3; \quad n_k = \left( \frac{r_k}{r_1} \right)^2 \frac{T_1}{T_k} = \left( \frac{r_k}{r_3} \right)^2 \frac{T_3}{T_k} (1 + \alpha); \quad v_k = \frac{r_k}{T_k} = \frac{1}{n_k} \frac{r_1}{T_1} = \frac{1}{n_k \alpha} \frac{r_3}{T_3}$$

$$T_k = n_k^3 T_1 = n_k^3 \alpha^3 T_3; \quad \frac{r_3}{r_1} = \left( \frac{n_3}{n_1} \right)^2 = (1 + \alpha)^2 = \alpha^{-2}; \quad \frac{T_3}{T_1} = \alpha^{-3} \quad (1)$$

Здесь нормировка  $r_k$  и  $T_k$  представлена в двух вариантах; далее преимущественно используется вариант, ориентированный на  $k=3$ , поскольку это удобно для приложения. Для детализации введена дополнительная характеристика  $v_k$ . Схема отличается наглядностью, она позволяет рассматривать все анализируемые уровни как взаимосвязанные и допускает переход к иным уровням иерархии, поскольку основана на цикличности. При формировании  $n_k$  протоструктура деформируется на нижних уровнях иерархии, но при этом воссоздаётся на верхнем при ином содержании. Под деформацией здесь понимается ликвидация большей части позиций и сдвиг

остальных. Далее оси, на которых расположены позиции  $n_k$ ,  $r_k/r_3$ ,  $T_k/T_3$ , именуется соответственно n-, r- и T-уровнями; названия других уровней выбираются аналогичным образом.



**Рис. 3.** Структурные уровни - числовые оси: а) заполнение уровней циклами;  $n_k$  – параметр порядка;  $r_k/r_1$  и  $T_k/T_1$  – исходные дополнительные характеристики;  $m_k/m_3$  – масштабные коэффициенты; б) детализация  $m$ -уровня у правой границы; в) связи элементов разных уровней, соответствующие (6). Циклы представлены только границами.

Уровни  $a$ - и  $f$ - [7]. При последующем развёртывании схемы в нижней части рис.3а формируются ещё два уровня, именуемые  $a$ - и  $f$ - уровнями. Они, как и ранее, заполняются циклами ЖК при условии совместимости границ, т.е. 1 цикл  $n_k$  включает 4 цикла характеристики  $a$ , и 5 циклов -  $f$ . В основе такого допущения лежит исходное представление о монотонности нарастания количества циклов в пределах следующих друг за другом уровней; оно понимается как наиболее простое. При образовании  $a$ -уровня позиции T-уровня рассматриваются как базовые, а позиции r-уровня – как крылья (см. —•—); при этом позиции  $a$ -уровня читаются под осью.

Сразу оговоримся, что цикличность позиций на  $f$ - и  $m$ - уровнях является упрощающим допущением. В действительности происходит значительная деформация практически всех названных позиций вследствие того, что  $a$ -узлы читаются под осью. Геометрическая наглядность для позиций на уровнях  $f$ - и  $m$ - при этом утрачивается.

Уровень  $m$ - предназначен для представления масштабных коэффициентов. Выявление позиций  $f_k/f_3$  и  $m_k/m_3$  в пределах цикла  $n_k$  является специальной задачей, которая в своё время будет рассмотрена. В настоящей работе мы стремимся представить некоторый общий сценарий без ряда деталей.

#### 4. УРОВНИ ДЛЯ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ.

Уровень  $m$ -. Для размещения позиций  $m_k/m_1$  снизу на рис.3а формируется  $m$ -уровень. Он, как и ранее, заполняется циклами ЖК при условии совместимости границ, т.е. 1 цикл  $n_k$  включает 6 циклов  $m_k/m_1$ . Напомним, что задача выявления конкретных

позиций данного уровня здесь не решается. Допускается, что исходно на  $m$ -уровне выполняются аналогичные (1) соотношения, но только для узлов  $k=1$  и  $3$ :

$$m_k = n_k^6 m_1 = n_k^6 \alpha^6 m_3; \quad \alpha^6 = 0,055728 \quad (2)$$

Названные узлы выбраны как соответствующие используемым нормировкам, а также симметричному плану: при нормировке на  $m_1$  реализуются узлы  $1$  и  $\alpha^6$ , а при нормировке на  $m_3$  -  $\alpha^6$  и  $1$ . Остальные  $m$ -позиции значительно деформируются. Далее используется нормировка на  $m_3$ .

*Позиция  $M_0/m_3$ .* Согласно нижней части рис.3а и рис.3б для представления узла  $M_0/m_3$  вводится как продолжение рис.3а уровень  $M_0$ - с единственной позицией  $M_0^{\max}/m_1$  или иначе  $M_0^{\max}/m_3 = 10^7 \alpha^7 = 344418,58$ , которая соответствует правой границе диапазона  $10^7:1$ . Тем самым здесь реализуется своего рода предел используемой геометрической конструкции. Выявленная позиция  $10^7 \alpha^7$  может быть формально помещена на  $m$ -уровень, граница которого  $10^6 \alpha^6$  сдвигается при этом на величину  $10\alpha$ . Выше позиция  $M_0$  помечена знаком *max*, поскольку допускается, что она может изменяться в некоторых пределах *max – min*. При этом предполагается, что

$$\frac{M_o^{\max}}{M_o} = \vec{\Delta}_M = \Delta_3^2 \quad (3)$$

Здесь  $M_0^{\max}/m_3$  – исходное (*max*) значение узла, а  $M_0/m_3$  – его текущее значение,  $\vec{\Delta}_M$  - сдвиг текущего значения относительно исходного, а  $\Delta_3$  – расщепление позиции  $n_3$  в ходе эволюции при указанном сдвиге.

Выбор  $\Delta_3$  ориентирован на единство нормировки и представляется наиболее простым. Поясним сказанное. Поскольку позиция  $M_0/m_3$  нормирована на  $k=3$ , допускается, что и сдвиг  $\vec{\Delta}_M$  определяется деформацией позиции  $k=3$ . Расщепление  $\Delta_3$  для этапа, близкого к эволюционной зрелости, [11] определено; мы здесь предлагаем использовать простое правило: сдвиг  $\vec{\Delta}_M$  задаёт квадрат расщепления  $\Delta_3$  для  $n_3$ . Из (3) следует, что при  $\vec{\Delta}_M = 1$  расщепление  $\Delta_3 = 1$ ; этот вариант, по нашему мнению, связан с начальным этапом эволюции системы. При известном [11] модельном значении  $\Delta_3$  для такого этапа эволюции получаем:

$$\vec{\Delta}_M = \Delta_3^2 = (1,016865)^2 = 1,034014 ; \quad M_o = \frac{10^7 \alpha^7}{\Delta_3^2} = 333088,52 m_3 \quad (4)$$

Отметим, что коэффициент  $M_0/m_3$ , полученный [12] из иных соображений, имеет величину  $332314$ , т.е. соответствует (4) в пределах  $0,2\%$ . Нетрудно убедиться также в том, что  $(M_0^{\max} - M_0)/m_3 = 11330/m_3$ .

*Набор позиций  $M_0/m_k$ .* В результате мы имеем возможность рассматривать своего рода оппозицию: набор узлов  $m_k/m_3$  (он пока не установлен) против отдельной позиции  $M_0/m_3$ . Компромисс между элементами оппозиции достигается, если вводятся отношения вида  $M_0/m_k$ . При этом позиции  $M_0$  и  $m_k$  ставятся в равные условия, т.е.

используется симметричный план; нормировка на  $k=3$  здесь отсутствует. При введении  $M_0/m_k$  геометрическая наглядность представления связей также утрачивается.

### 5. УРОВНИ II и III: УЧЁТ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ.

*Переход I→II.* При указанном переходе мы стремимся сохранить форму связей (1), но при этом ищем дополнение, ориентируясь на  $M_0/m_k$ . Приведём сначала результат, а затем поясним процедуру выбора связей. При наличии отношений вида  $M_0/m_k$  для подсистемы узла  $k$  выполняются соотношения:

$$r_i = n_i^2 \frac{M_o}{m_k} \alpha^2 r_3 ; \quad T_i = n_i^3 \left( \frac{M_o}{m_k} \right)^2 \alpha^3 T_3 ; \quad \left( \frac{r_i}{r_3} \right)^3 \frac{M_o}{m_k} = \left( \frac{T_i}{T_3} \right)^2, \quad (5)$$

где  $n_i$ ,  $r_i/r_3$  и  $T_i/T_3$  - аналоги  $n_k$ ,  $r_k/r_3$  и  $T_k/T_3$  в (1); индексом  $i$  обозначены отдельные узлы в подсистеме  $k$ . Теперь ответим на вопрос: почему связи именно таковы, в чём особенности и преимущества сделанного выбора?

Прежде всего, учитывается предыстория: на уровне I согласно рис.3а уровень  $r$  – база, а  $n$  и  $T$  – крылья. По этой причине на уровне II выбор осуществляется дополнительным образом:  $r$  – крыло,  $n$  – база,  $T$  – база. Новые роли можно видеть в (5) слева и справа; тем самым элементы триад ставятся в равные условия. Дополнительно ситуация поясняется с помощью рис.3с. Здесь в левой части видно, что узлы  $n_i$  рассматриваются как базы при крыльях  $m_k/M_0$  и  $r_i/r_3$ . В центре названные крылья  $m_k/M_0$  выступают в качестве баз, а справа вновь оказываются крыльями в иной конфигурации.

Кроме того, на уровне II стремимся сделать так, чтобы новая позиция  $M_0/m_k$  играла разные роли, а именно *крыло - база - крыло*. Выполнение этого условия можно видеть в (5) при рассмотрении слева направо. При  $m_k=M_0$  (5) трансформируются в (1), т.е. *система* становится частным случаем *подсистемы*.

*Переход II→ III.* При указанном переходе предполагается, что связи (5) сохраняются, однако производится замена  $m_k \rightarrow m_n$ ,  $r_i \rightarrow a_0$  и  $T_i \rightarrow \tau_0^*$  (при  $n$  индекс опускается). Кроме того, в соотношения (5) вводится коэффициент  $K$ , фиксирующий различие уровней I-II с одной стороны и III - с другой:

$$a_0 = n^2 \frac{M_o}{m_n K} \alpha^2 r_3 ; \quad \tau_0^* = n^3 \left( \frac{M_o}{m_n K} \right)^2 \alpha^3 T_3 ; \quad \left( \frac{a_0}{r_3} \right)^3 \frac{M_o}{m_n K} = \left( \frac{\tau_0^*}{T_3} \right)^2 \quad (6)$$

Названный коэффициент  $K$  может иметь вид сложного отношения, его размещение в знаменателе носит условный характер и связано с приложением. Нетрудно видеть, что в (6) ролевые функции позиций  $M_0/m_k$  и  $1/K$  совпадают при рассмотрении слева направо (*крыло - база - крыло*).

### 6. ПРИЛОЖЕНИЕ.

*Интерпретация позиций.* Объектом применения модели является [7, 9, 11] структура Солнечной системы и этапы её эволюции в плоскости эклиптики. Допускается, что  $r_k/r_3$  – расстояния,  $T_k/T_3$  – периоды обращения планет,  $r_3$  равно

астрономической единице ( $1,49598 \cdot 10^8$  км.), а  $T_3$  – году ( $365,252$  сут.  $= 3,1536 \cdot 10^7$  с). При этом  $k=1$  соответствует орбите Меркурия,  $k=10$  – Плутона, а  $k=3$  – Земли. Нормировка на  $k=3$  является традиционной с физических позиций. Параметр порядка  $n_k$  трактуется в простейшем случае кругового движения как относительный момент количества движения.

Указанная возможность не является единственной, поскольку [9, 11] некоторые позиции  $n_k$  расщепляются на ряд компонент, каждая из которых несёт отдельную структурную нагрузку. В настоящей работе, однако, предполагается круговой характер движения. Напомним, что параметр  $n_k$  понимается как аналог главного квантового числа в волновой механике. Применимость соотношений (1) проверена [7, 9, 11], в частности, они не противоречат третьему закону Кеплера.

*Масса Солнца.* Масштабные коэффициенты вида  $m_k/m_3$  и  $M_0/m_3$  интерпретируются как массы планет и Солнца. Сейчас неизвестно, каким образом для планет возникают отношения  $m_k/m_3$ . Указанная в (2) исходная модельная позиция  $m_1/m_3 = \alpha^6 = 0,055728$  соответствует известному [16] значению для Меркурия 0,055 в пределах 1,3%. Мы считаем, что в (3) отношение  $M_0^{\max}/m_3 = 10^7 \alpha^7 = 344418,58$  представляет начальную массу Солнца, когда орбиты  $k=1-4$  и  $7-10$  были круговыми.

Соответствующее (4) текущее значение  $M_0/m_3 = 333088,52$  не отличается от известной [3] массы центрального тела  $M_0/m_3 = (1,99/5,98) \cdot 10^6 = 332776$  в пределах 0,09%. Согласно (4) расщепление  $\Delta_3$  прямо связано с изменением массы Солнца, которое с момента образования потеряло массу  $11330m_3$ .

*Спутниковые системы.* Сейчас нет ясного понимания того, как именно в спутниковых системах формируются дискретные позиции  $n_i$ ,  $r_i/r_3$  и  $T_i/T_3$ . К исключениям можно [11] отнести Луну. Соотношения (5) характеризуют спутниковую систему планеты  $k$ . Процедура их проверки, проводимая, напомним, в приближении кругового характера движения, представлена в таблице на примере шести позиций 1-6, которые выбраны произвольно из набора спутниковых орбит. Здесь слева в каждой из ячеек указана планета, её символ  $k$  и масса [16], правее назван выбранный спутник, а по центру размещены [16, 17] известные значения  $M_0/m_k$ ,  $r/r_3$  и  $T/T_3$ ; индекс  $i$  опущен. Во всех случаях здесь и далее использована [3] масса  $M_0 = 332776m_3$ . Справа представлены три варианта вычисления параметра  $n$  для данного спутника.

Верхний вариант соответствует (1); он получен на основе известных позиций  $r/r_3$  и  $T/T_3$  при нормировке на модельную позицию Меркурия. Это значит, что  $r/r_3$  возводится в квадрат, после чего результат делится на  $T/T_3$  и потом на  $\alpha$  (или умножается на  $1+\alpha$ ).

Средний и нижний варианты определены согласно (5) при использовании  $r_i/r_3$  и  $T_i/T_3$  соответственно. Максимальное различие  $\delta$  между перечисленными вариантами  $n$  указано в ячейках слева внизу; в среднем по шести позициям оно равно 0,13%.

*Поверхность Солнца.* Соотношения (5) могут быть распространены на 27-дневный цикл солнечной активности [9], представленный в ячейке 7. Здесь так же, как в ячейках 1-6, по центру размещены наблюдаемые пространственно-временные характеристики  $r_0 = 695700$  км, т.е.  $r_0/r_3 = 4,64913 \cdot 10^{-3}$  и  $T_{27d} = 27,275$  сут., т.е.  $T_{27d}/T_3 = 7,467 \cdot 10^{-2}$ ; для поверхности принято  $k=0$ . Позиция  $n$  отвечает (1), она, как и выше, получена на основе приведённых наблюдаемых значений  $r/r_3$  и  $T/T_3$  при

нормировке на Меркурий. Масса  $M_0/m_{27d} = 0,555 \cdot 10^5$  посчитана по (5) согласно  $r_0/r_3$  и согласно  $T_{27d}/T_3$ . Масса  $m_{27d}/m_3 = 5,996$  определена из (5), она может быть интерпретирована как перемещающаяся вдоль поверхности часть Солнца, аналогичная массе планеты. Возможно, вокруг неё движутся в циклическом режиме своего рода спутники – пятна, по которым и фиксируется цикл. Согласно модели [9] исходная позиция  $m_{27d}/m_3 = 10\alpha = 6,180$ . Уместно указать на сходство применённого подхода и точки зрения [1], где характеристика  $T/T_3$  связывалась с так называемой синхронной планетой, а характеристика  $r/r_3$  – с касающейся планетой.

**Таблица 1.** Вычисленные позиции  $n$  для спутников планет (ячейки 1-6), 27-дневного цикла солнечной активности (ячейка 7), поверхности Земли (ячейка 8) и атома водорода (ячейка 9) при использовании констант (ячейка 10). В ячейку 10 дополнительно внесена для сравнения масса Солнца. Пояснения – в тексте.

1	<table border="1"> <tr><td>Земля</td><td>Луна</td><td></td><td><math>n \cdot 10^4</math></td></tr> <tr><td><math>k=3</math></td><td><math>M_0/m_3</math></td><td><math>3,328 \cdot 10^5</math></td><td>1,428</td></tr> <tr><td><math>m_3=1</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>2,569 \cdot 10^{-3}</math></td><td>1,422</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,2\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td><math>7,480 \cdot 10^{-2}</math></td><td>1,420</td></tr> </table>	Земля	Луна		$n \cdot 10^4$	$k=3$	$M_0/m_3$	$3,328 \cdot 10^5$	1,428	$m_3=1$	$r/r_3$	$2,569 \cdot 10^{-3}$	1,422	$\delta=0,2\%$	$T/T_3$	$7,480 \cdot 10^{-2}$	1,420	2	<table border="1"> <tr><td>Марс</td><td>Деймос</td><td></td><td><math>n \cdot 10^5</math></td></tr> <tr><td><math>k=4</math></td><td><math>M_0/m_4</math></td><td><math>3,110 \cdot 10^6</math></td><td>1,151</td></tr> <tr><td><math>0,107m_3</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>1,568 \cdot 10^{-4}</math></td><td>1,149</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,1\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td><math>3,456 \cdot 10^{-3}</math></td><td>1,148</td></tr> </table>	Марс	Деймос		$n \cdot 10^5$	$k=4$	$M_0/m_4$	$3,110 \cdot 10^6$	1,151	$0,107m_3$	$r/r_3$	$1,568 \cdot 10^{-4}$	1,149	$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$3,456 \cdot 10^{-3}$	1,148
Земля	Луна		$n \cdot 10^4$																																
$k=3$	$M_0/m_3$	$3,328 \cdot 10^5$	1,428																																
$m_3=1$	$r/r_3$	$2,569 \cdot 10^{-3}$	1,422																																
$\delta=0,2\%$	$T/T_3$	$7,480 \cdot 10^{-2}$	1,420																																
Марс	Деймос		$n \cdot 10^5$																																
$k=4$	$M_0/m_4$	$3,110 \cdot 10^6$	1,151																																
$0,107m_3$	$r/r_3$	$1,568 \cdot 10^{-4}$	1,149																																
$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$3,456 \cdot 10^{-3}$	1,148																																
3	<table border="1"> <tr><td>Юпитер</td><td>Ио</td><td></td><td><math>n \cdot 10^3</math></td></tr> <tr><td><math>k=6</math></td><td><math>M_0/m_6</math></td><td><math>1,047 \cdot 10^3</math></td><td>2,651</td></tr> <tr><td><math>317,8m_3</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>2,818 \cdot 10^{-3}</math></td><td>2,654</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,1\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td><math>4,846 \cdot 10^{-3}</math></td><td>2,655</td></tr> </table>	Юпитер	Ио		$n \cdot 10^3$	$k=6$	$M_0/m_6$	$1,047 \cdot 10^3$	2,651	$317,8m_3$	$r/r_3$	$2,818 \cdot 10^{-3}$	2,654	$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$4,846 \cdot 10^{-3}$	2,655	4	<table border="1"> <tr><td>Сатурн</td><td>Феба</td><td></td><td><math>n \cdot 10^3</math></td></tr> <tr><td><math>k=7</math></td><td><math>M_0/m_7</math></td><td><math>3,495 \cdot 10^3</math></td><td>8,026</td></tr> <tr><td><math>95,2m_3</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>8,643 \cdot 10^{-2}</math></td><td>8,046</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,1\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td>1,506</td><td>8,053</td></tr> </table>	Сатурн	Феба		$n \cdot 10^3$	$k=7$	$M_0/m_7$	$3,495 \cdot 10^3$	8,026	$95,2m_3$	$r/r_3$	$8,643 \cdot 10^{-2}$	8,046	$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	1,506	8,053
Юпитер	Ио		$n \cdot 10^3$																																
$k=6$	$M_0/m_6$	$1,047 \cdot 10^3$	2,651																																
$317,8m_3$	$r/r_3$	$2,818 \cdot 10^{-3}$	2,654																																
$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$4,846 \cdot 10^{-3}$	2,655																																
Сатурн	Феба		$n \cdot 10^3$																																
$k=7$	$M_0/m_7$	$3,495 \cdot 10^3$	8,026																																
$95,2m_3$	$r/r_3$	$8,643 \cdot 10^{-2}$	8,046																																
$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	1,506	8,053																																
5	<table border="1"> <tr><td>Уран</td><td>Ариэль</td><td></td><td><math>n \cdot 10^4</math></td></tr> <tr><td><math>k=9</math></td><td><math>M_0/m_9</math></td><td><math>2,279 \cdot 10^4</math></td><td>3,861</td></tr> <tr><td><math>14,6m_3</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>1,283 \cdot 10^{-3}</math></td><td>3,839</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,3\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td><math>6,899 \cdot 10^{-3}</math></td><td>3,832</td></tr> </table>	Уран	Ариэль		$n \cdot 10^4$	$k=9$	$M_0/m_9$	$2,279 \cdot 10^4$	3,861	$14,6m_3$	$r/r_3$	$1,283 \cdot 10^{-3}$	3,839	$\delta=0,3\%$	$T/T_3$	$6,899 \cdot 10^{-3}$	3,832	6	<table border="1"> <tr><td>Нептун</td><td>Тритон</td><td></td><td><math>n \cdot 10^4</math></td></tr> <tr><td><math>k=10</math></td><td><math>M_0/m_k</math></td><td><math>1,940 \cdot 10^4</math></td><td>5,650</td></tr> <tr><td><math>17,15m_3</math></td><td><math>r/r_3</math></td><td><math>2,371 \cdot 10^{-3}</math></td><td>5,656</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,1\%</math></td><td><math>T/T_3</math></td><td><math>1,610 \cdot 10^{-2}</math></td><td>5,659</td></tr> </table>	Нептун	Тритон		$n \cdot 10^4$	$k=10$	$M_0/m_k$	$1,940 \cdot 10^4$	5,650	$17,15m_3$	$r/r_3$	$2,371 \cdot 10^{-3}$	5,656	$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$1,610 \cdot 10^{-2}$	5,659
Уран	Ариэль		$n \cdot 10^4$																																
$k=9$	$M_0/m_9$	$2,279 \cdot 10^4$	3,861																																
$14,6m_3$	$r/r_3$	$1,283 \cdot 10^{-3}$	3,839																																
$\delta=0,3\%$	$T/T_3$	$6,899 \cdot 10^{-3}$	3,832																																
Нептун	Тритон		$n \cdot 10^4$																																
$k=10$	$M_0/m_k$	$1,940 \cdot 10^4$	5,650																																
$17,15m_3$	$r/r_3$	$2,371 \cdot 10^{-3}$	5,656																																
$\delta=0,1\%$	$T/T_3$	$1,610 \cdot 10^{-2}$	5,659																																
7	<table border="1"> <tr><td>Поверх. Солнца</td><td>цикл 27 дней</td><td></td><td><math>n \cdot 10^4</math></td></tr> <tr><td><math>k=0</math></td><td><math>M_0/m_{27d}</math></td><td><math>0,555 \cdot 10^5</math></td><td>4,685</td></tr> <tr><td><math>5,996 m_3</math></td><td><math>r_0/r_3</math></td><td><math>4,650 \cdot 10^{-3}</math></td><td></td></tr> <tr><td></td><td><math>T_{27d}/T_3</math></td><td><math>7,467 \cdot 10^{-2}</math></td><td></td></tr> </table>	Поверх. Солнца	цикл 27 дней		$n \cdot 10^4$	$k=0$	$M_0/m_{27d}$	$0,555 \cdot 10^5$	4,685	$5,996 m_3$	$r_0/r_3$	$4,650 \cdot 10^{-3}$			$T_{27d}/T_3$	$7,467 \cdot 10^{-2}$		8	<table border="1"> <tr><td>Поверх. Земли</td><td></td><td></td><td><math>n_3 \cdot 10^6</math></td></tr> <tr><td><math>3,44^*</math></td><td><math>M_0/m_3^*</math></td><td><math>9,676 \cdot 10^7</math></td><td>1,074</td></tr> <tr><td><math>10^{-3}m_3</math></td><td><math>r^*/r_3</math></td><td><math>4,263 \cdot 10^{-5}</math></td><td></td></tr> <tr><td></td><td><math>T^*/T_3</math></td><td><math>2,738 \cdot 10^{-3}</math></td><td></td></tr> </table>	Поверх. Земли			$n_3 \cdot 10^6$	$3,44^*$	$M_0/m_3^*$	$9,676 \cdot 10^7$	1,074	$10^{-3}m_3$	$r^*/r_3$	$4,263 \cdot 10^{-5}$			$T^*/T_3$	$2,738 \cdot 10^{-3}$	
Поверх. Солнца	цикл 27 дней		$n \cdot 10^4$																																
$k=0$	$M_0/m_{27d}$	$0,555 \cdot 10^5$	4,685																																
$5,996 m_3$	$r_0/r_3$	$4,650 \cdot 10^{-3}$																																	
	$T_{27d}/T_3$	$7,467 \cdot 10^{-2}$																																	
Поверх. Земли			$n_3 \cdot 10^6$																																
$3,44^*$	$M_0/m_3^*$	$9,676 \cdot 10^7$	1,074																																
$10^{-3}m_3$	$r^*/r_3$	$4,263 \cdot 10^{-5}$																																	
	$T^*/T_3$	$2,738 \cdot 10^{-3}$																																	
9	<table border="1"> <tr><td>Атом водорода</td><td>электрон</td><td></td><td><math>n \cdot 10^{20}</math></td></tr> <tr><td></td><td><math>M_0/m_H</math></td><td><math>1,188 \cdot 10^{57}</math></td><td>4,206</td></tr> <tr><td><math>\delta=0,3 \%</math></td><td><math>a_0/r_3</math></td><td><math>3,537 \cdot 10^{-22}</math></td><td>4,234</td></tr> <tr><td></td><td><math>\tau_0^*/T_3</math></td><td><math>4,813 \cdot 10^{-24}</math></td><td>4,244</td></tr> </table>	Атом водорода	электрон		$n \cdot 10^{20}$		$M_0/m_H$	$1,188 \cdot 10^{57}$	4,206	$\delta=0,3 \%$	$a_0/r_3$	$3,537 \cdot 10^{-22}$	4,234		$\tau_0^*/T_3$	$4,813 \cdot 10^{-24}$	4,244	10	<table border="1"> <tr><td><math>m_H/\Gamma</math></td><td><math>1,674 \cdot 10^{-24}</math></td></tr> <tr><td><math>M_0/\Gamma</math></td><td><math>1,989 \cdot 10^{33}</math></td></tr> <tr><td><math>v_0 /m/c</math></td><td><math>2,189 \cdot 10^6</math></td></tr> <tr><td><math>a_0/m</math></td><td><math>5,292 \cdot 10^{-11}</math></td></tr> <tr><td><math>\tau_0/c</math></td><td><math>1,151 \cdot 10^{-16}</math></td></tr> </table>	$m_H/\Gamma$	$1,674 \cdot 10^{-24}$	$M_0/\Gamma$	$1,989 \cdot 10^{33}$	$v_0 /m/c$	$2,189 \cdot 10^6$	$a_0/m$	$5,292 \cdot 10^{-11}$	$\tau_0/c$	$1,151 \cdot 10^{-16}$						
Атом водорода	электрон		$n \cdot 10^{20}$																																
	$M_0/m_H$	$1,188 \cdot 10^{57}$	4,206																																
$\delta=0,3 \%$	$a_0/r_3$	$3,537 \cdot 10^{-22}$	4,234																																
	$\tau_0^*/T_3$	$4,813 \cdot 10^{-24}$	4,244																																
$m_H/\Gamma$	$1,674 \cdot 10^{-24}$																																		
$M_0/\Gamma$	$1,989 \cdot 10^{33}$																																		
$v_0 /m/c$	$2,189 \cdot 10^6$																																		
$a_0/m$	$5,292 \cdot 10^{-11}$																																		
$\tau_0/c$	$1,151 \cdot 10^{-16}$																																		

*Поверхность Земли.* Следуя принятой логике, поверхность планеты также можно формально подчинить соотношениям (5). В ячейке 8 приведена соответствующая оценка для Земли. Позиция  $M_0/m_3^* = 9,676 \cdot 10^7$  посчитана по (5) согласно  $r^*/r_3$  и  $T^*/T_3$ . Однако интерпретировать полученное значение  $m_3^*/m_3 = 3,44 \cdot 10^{-3}$  затруднительно. Возможно, оценка имеет смысл для начального этапа эволюции планеты, когда континентальная кора Земли (сейчас – её верхняя твёрдая и тонкая оболочка) была подвижной.

*Атом водорода.* Соотношения (6) трактуются как относящиеся к атому водорода. В качестве  $K$  выбрана константа, задающая [3] отношение сил в атоме водорода:

$$K = \frac{e^2}{Gm_H m_e} = 2,30 * 10^{39}, \quad (7)$$

где  $m_H$  и  $m_e$  массы атома водорода и электрона,  $e$  – заряд электрона,  $G$  - универсальная постоянная.

Исходные данные приведены в ячейке 10, где  $a_0$  - радиус первой борховской орбиты, а  $\tau_0$  – время обращения по ней электрона,  $v_0=c/137,036$  - его скорость, где  $c$  - скорость света, а  $1/137,036$  - постоянная тонкой структуры.

До сих пор мы опирались на представление о круговом характере движения, к которому следует приспособить новые характеристики. Нетрудно убедиться, что в названном приближении имеет место соотношение

$$\tau_0^* = \frac{2\pi a_0}{v_0} = \frac{2\pi a_0 * 137,036}{c} = 4,816 * 10^{-24} T_3 = 1,519 * 10^{-16} c, \quad (8)$$

где позиция  $\tau_0^*$  представляет собой условный (эффективный) период обращения электрона, позволяющий объединить данные ячейки 10 в круговом приближении. При этом выполняется

$$\frac{\tau_0^*}{\tau_0} = \frac{2\pi a_0}{v_0 \tau_0} = 1,320 \quad (9)$$

Результат представлен в 9 ячейке, где использованы, во-первых, нормировки на  $T_3$  и  $T_3$ , а, во-вторых,  $\tau_0^*$  из (8).

Процедура вычисления трёх значений  $n$  соответствует описанной выше для ячеек 1-6. Рассогласование  $\delta$  не превышает здесь 0,3%. При использовании позиций (6), (7) и  $n=4,231*10^{-20}$  скорость согласно (9) имеет величину

$$v_0 = \frac{2\pi a_0}{\tau_0^*} \frac{r_3}{T_3} = \frac{2\pi}{n\alpha} \left( \frac{m_H K}{M_0} \right) \frac{r_3}{T_3} = 4,640 * 10^2 \frac{r_3}{T_3} = 2,201 * 10^6 \frac{M}{c}, \quad (10)$$

т.е. в пределах 0,5% соответствует позиции  $v_0$  в ячейке 10.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В работе предложен способ совместного рассмотрения спектров разрешенных состояний для сложных самоорганизующихся систем разного масштаба.

В абстрактной системе выделены три уровня иерархии, а именно *I (система) – II (подсистема) – III (предельный случай)*. Система размещена на семи отдельных уровнях, представленных в геометрической форме. В качестве основы моделирования выбраны выявленные ранее [7] для протоструктуры соотношения (1), которые связывают параметр порядка системы  $n_k$  и подчинённые ему первичные характеристики. При этом принята нормировка на  $k=3$ , удобная для приложения. Дополнительно введён в рассмотрение  $m$ -уровень, предназначенный для размещения масштабных коэффициентов вида  $m_k/m_3$ ; максимальная позиция в пределах указанного

уровня обозначена как  $M_0/m_3$ . Спектр масштабных коэффициентов охарактеризован как набор отношений, позволяющих использовать подобные аналитические выражения для описания разнородных систем.

В приложении масштабные коэффициенты вида  $m_k/m_3$  и  $M_0/m_3$  интерпретированы как массы планет и Солнца при традиционной нормировке на  $m_3$  - массу Земли. Уровень  $m$ - особенно интересен как объект анализа, поскольку он один описывает материальные объекты Солнечной системы. Полученные модельные соотношения проверены при использовании в (5) и (6) известных данных для Солнечной системы, а также характеристик атома водорода соответственно. Соотношения (1) – (5) – (6) можно охарактеризовать как триаду, которая сформирована от крыла (1). База (5) может быть преобразована либо в крыло (1) при условии  $m_k=M_0$ , либо в крыло (6) при использовании характеристик атома водорода, в частности, при добавлении отношения  $K$  согласно (7).

С нашей точки зрения, результаты моделирования связей являются вполне удовлетворительными, поскольку исследуемые объекты разнородны, а разница в анализируемых отношениях достигает многих порядков. Добавим, что ранее нами [10, 11] отмечалось структурное сходство сценариев формирования для микро- и макро- систем. Поскольку сейчас [12] в теории относительности и в квантовой теории наблюдается значительный дефицит взаимно согласованных позиций, постольку даже небольшие области, в которых такой совместимости удастся добиться, могут оказаться полезными.

Уточнение модели возможно при включении в анализ (см. рис.3а)  $a$ -уровня, позиции которого под осью [7] интерпретируются в приложении как набор ускорений, а также  $f$ -уровня, узлы которого можно использовать для представления сил.

*Основное достижение.* Но основе структурных соображений для объединения сложных самоорганизующихся систем предложены аналитические выражения (5) и (6). Они характеризуют связи между узлами в триаде *система - подсистема - предельный случай*. В рассмотрение включены масштабные коэффициенты вида  $M_0/m_k$ , позиции параметра порядка  $n_k$ , а также подчинённые ему характеристики. В предельном случае (6) использован дополнительный коэффициент  $K$ . Разномасштабные структуры представлены как сеть, наделённая общими связями.

В приложении показано, что связи (5) по позициям  $n_i$  соответствуют реальным ситуациям в пределах 0,13%, а связи (6) – в пределах 0,3%. При переходе от Солнечной системы к атому водорода роль коэффициента  $K$  играет отношение электрических и гравитационных сил в названном атоме. Приведены соображения, указывающие на то, что: а) исходная масса Солнца составляет  $M_0^{\max}/m_3=10^7\alpha^7=344418,58$  и б) расщепление узла  $n_3$  для орбиты Земли непосредственно связано с текущей массой Солнца.

На основе проведённого анализа могут быть поставлены две задачи, а именно: а) определение спектра  $m_k/m_3$  в интервале  $k=1-10$  (в приложении – планетные массы) и б) выявление спектра  $n_i$  (в приложении – пространственно-временные характеристики спутников). Связи (5), возможно, будут полезными для согласования и уточнения результатов наблюдений спутниковых тел.

Подчеркнём, что соотношения (1) – (6) исходно не относятся к каким-либо конкретным системам и, по-видимому, их использование возможно в разных областях знания. На наш взгляд, полученные результаты подтверждают правильность исходного представления как о протоструктуре, так и о параметре порядка. Нам неизвестны работы, в которых Солнечная система и атом водорода рассматриваются как элементы единой сети на основе структурных соображений.

В заключение автор выражает искреннюю признательность В.Ю. Александровой и Ю.В. Томашевичу за помощь при подготовке рукописи к публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альвен Х, Аррениус Г. Эволюция Солнечной системы. – М.: Мир, 1979. – 500 с.
2. Вигнер Ю. Симметрия и законы сохранения // Успехи физических наук. –1964. – Т. LXXXIII. – Вып. 4. – С. 729-739.
3. Дэвис П. Случайная вселенная. – М.: Мир, 1985. – 160 с.
4. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. – М.: Мир, 1985. – 232 с.
5. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979. – 154 с.
6. Смирнов В.Л. Анализ эволюции дискретных спектров для сложных систем различной природы // Сложные системы. – 2016. – № 2(19). – С. 70-83.
7. Смирнов В.Л. Формирование параметра порядка при эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2016. – № 3 (20). – С. 79-92.
8. Смирнов В.Л. Формирование комплекса в процессе эволюции сложной самоорганизующейся системы // Сложные системы. – 2016. – № 4 (21). – С.72-85.
9. Смирнов В.Л. Интерпретация комплекса, сформированного в сложной самоорганизующейся системе // Сложные системы. – 2016. – № 4 (21). – С. 86-98.
10. Смирнов В.Л. Образование константы  $1/137$  в процессе эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2017. – № 4 (25). – С. 43-56.
11. Смирнов В.Л. Эволюция двух элементов спектра разрешенных состояний в неспецифической сложной системе // Сложные системы. – 2017. – № 4 (25). – С. 57-72.
12. Стюарт И. Истина и красота. Всемирная история симметрии. – М.: Астрель, 2010. – 464 с.
13. Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
14. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 383 с.
15. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition // Journal for General Philosophy of Science. – 2000. – Vol. 31, № 1. – P. 57-73.
16. [http://www.allplanets.ru/solar\\_sistem.htm](http://www.allplanets.ru/solar_sistem.htm)
17. <http://www.everyday.com.ua/myplanet/sats.htm>

#### SCALE FACTORS FOR COLLECTIVE DESCRIPTION OF THE VARIOUS NATURE SELF-ORGANIZED SYSTEMS

**Smirnov V. L.**

*St. Petersburg, Russia*

*VladimirL.Smirnov@yandex.ru*

**Abstract.** The paper attempts to specify the contents of the level of symmetry principles introduced by E. Wigner. Analytic expressions are proposed to unite three levels of the hierarchy: *the system - the sub-system - the extreme*, which allows us to consider diverse systems of relationships of various scales as a construction having common connections. The simulations is made based on the previously proposed proto-structure which is represented on the numerical axis and is understood as a

tool for analyzing self-organization processes (transition from one type of order to another one). In a *system*, the allowed states are formed with the help of a proto-structure and form separate levels. The most significant of them is the level of the order parameter. The connections between the positions of the order parameter and its subordinate characteristics, as identified for the *system*, extend over the *subsystem* and the *extreme* using scale factors that are constructed on the basis of structural considerations.

The established connections can be verified through the example of the Solar system on the ecliptic plane. The relative angular momentum serves as the order parameter. Applicability of the identified connections for the planetary *system* and satellite *sub-systems* is demonstrated through the reference to the known relative characteristics of the planets and the Sun. In this case, the ratios of the masses of the planets and the sun are considered as scale factors. The hydrogen atom is treated as an *extreme* when using an additional scale factor represented by the force ratio in the hydrogen atom. The model data is consistent with observable inputs up to a tenth of a percent.

**Keywords:** self-organization, order parameter, scaling, Solar system, hydrogen atom.

### REFERENCES

1. Alfvén H., Arrhenius, G. Evolution of the Solar System. NASA Sp-345, Washington, D.C. 1976.
2. Wigner E. Symmetry and Conservation Laws. *Physics Today*, 1964, vol. 17, no. 34, pp. 34-40.
3. Davies P.C.W. The Accidental Univers. Cambridge University Press, 1982, 152 p.
4. Careri G. Order and Disorder in Matter. N.Y.: The Benjamin/Cummings Inc, 1984, 162 p.
5. Minsky M. Frames for knowledge representation. N.Y.: Ed. H. Winston, McGraw-Hill, 1975, 76 p.
6. Smirnov V.L. Analysis of Discrete Spectra of Evolution Paths for Various Complex Systems. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2016, no. 2(19), pp. 70-83.
7. Smirnov V.L. Orderparameter Derivation from Evolution of Non-Specific Complex System. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2016, no. 3 (20), pp. 79-92.
8. Smirnov V.L. Formation of a Complex During Evolution of a Complex Self-Organized System. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2016, no. 4 (21), pp. 72-85.
9. Smirnov V.L. Interpretation of a Complex Formed in Complex Self-Organized System. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2016, no. 4 (21), pp. 86-98.
10. Smirnov V.L. Formation of 1/137 Invariant During Evolution of Non-Specific Complex Structure. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2017, no. 4 (25), pp. 43-56.
11. Evolution of Two Elements of Allowed States Range in Non-Specific Complex System. *Slozhnye sistemy – The Complex systems*, 2017, no. 4 (25), pp. 57-72.
12. Stewart Ian. Why Beauty is Truth: A History of Symmetry. Basic Books, 2007, 304 p.
13. Feynman, R. The Character of physical laws. A series of lectures recorded by the BBC at Cornell University USA. L.: Cox and Wyman LTD, 1965, 173 p.
14. Haken H. Synergetics. N. Y.: Springer-Verlag, 1983, 356 p.
15. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition. *Journal for General Philosophy of Science*, 2000, vol. 31, no. 1, pp. 57-73.
16. [http://www.allplanets.ru/solar\\_sistem.htm](http://www.allplanets.ru/solar_sistem.htm)
17. <http://www.everyday.com.ua/myplanet/sats.htm>